



TECNOLOGÍA
en marcha

Revista trimestral
Octubre 2020
Volumen 33
ISSN-E 2215-3241

Número especial
Movilidad estudiantil 8

ET
Editorial Tecnológica
de Costa Rica

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Publicación y directorio en catálogos

latindex

Dialnet
DOAJ

Scielo

REDIB
Red Iberoamericana
de Innovación y Conocimiento Científico

Comisión Editorial

Ana Ruth Vílchez Rodríguez. Directora.
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Juan Antonio Aguilar Garib
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Autónoma de Nuevo León.
México

Carlos Andrés Arredondo Orozco
Facultad de Ingenierías
Universidad de Medellín. Colombia

Lars Köhler
Experimenteller Botanischer Garten
Georg-August-Universität Göttingen.
Alemania

Jorge Solano Jiménez
Instituto Costarricense del Cemento
y del Concreto

Edición técnica

Alexa Ramírez Vega

Revisión filológica

Esperanza Buitrago Poveda

Diseño gráfico

Felipe Abarca Fedullo

Diagramación

Leila Calderón Gómez

Diseño de cubierta

Felipe Abarca Fedullo

Datos de catalogación en publicación

Tecnología en Marcha / Editorial Tecnológica
de Costa Rica. - Vol. 33, especial. Octubre
(2020) –Cartago: la Editorial, 2020 –
Trimestral
ISSN-E 2215-3241

1. Ciencia y Tecnología –
Publicaciones periódicas CDD:600

**TEC** | Tecnológico
de Costa Rica

Apdo 159-7050 Cartago, Costa Rica
Tel.:(506) 2550-2297, 2550-2618
Correo electrónico: editorial@itcr.ac.cr
Web: editorial.tec.ac.cr
http://revistas.tec.ac.cr/tec_marcha

**TEC** | Tecnológico
de Costa Rica

La Editorial Tecnológica de Costa Rica es una dependencia especializada del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Desde su creación, en 1978, se ha dedicado a la edición y publicación de obras en ciencia y tecnología. Las obras que se han editado abarcan distintos ámbitos respondiendo a la orientación general de la Institución.

Hasta el momento se han editado obras que abarcan distintos campos del conocimiento científico-tecnológico y han constituido aportes para los diferentes sectores de la comunidad nacional e internacional.

La principal motivación de la Editorial es recoger y difundir los conocimientos relevantes en ciencia y tecnología, llevándolos a los sectores de la comunidad que los requieren.

La revista *Tecnología en Marcha* es publicada por la Editorial Tecnológica de Costa Rica, con periodicidad trimestral. Su principal temática es la difusión de resultados de investigación en áreas de Ingeniería. El contenido de la revista está dirigido a investigadores, especialistas, docentes y estudiantes universitarios de todo el mundo.

Publicación y directorio en catálogos



Revista trimestral
Octubre 2020
Volumen 33

ISSN 0379-3982 / ISSN-E 2215-3241

TECNOLOGÍA *en marcha*

Contenido

Diseño de un Interferómetro Heterodino de Microondas para la Medición de la Densidad Electrónica del Plasma en el SCR-1 Jorge Sánchez-Castro, Ivan Vargas	4
Utilización de un dispositivo electrónico de última generación para la determinación experimental del coeficiente de convección de una placa plana de aluminio Luis Diego Ramírez-González, Luis Parras-Anguita, Carlos del-Pino-Peñas.....	11
Teletrabajo y su impacto en la productividad empresarial y la satisfacción laboral de los colaboradores: tendencias recientes Randal Ulate-Araya.....	23
Developing a cloud based system for bird nests environment and behavior data monitoring and analysis, following the Internet of Things paradigm Alexis Gamboa-Soto.....	32
Estudio de la complejidad del Español para la simplificación textual Randall Araya-Camposa, Paula Estrella, José Arguedas-Castillo, Walter Alvarez-Grijalba.....	45
Parqueo automático de un carro modelo a escala José Pablo Chaves-Rodríguez.....	64

Producción inteligente: Diseño de un modelo para el proceso de implementación de Cadenas de Suministros Inteligentes Eliécer Villegas-Jiménez, Johanna Madrigal-Sánchez, Johannes Dirnberger.....	73
Design and implementation of a 6 degrees of freedom controller for the GRACE system William Jesús Retana-Calvo.....	83
Desarrollo de correlaciones para determinar el potencial a licuefacción mediante la aplicación del ensayo de penetración estática de piezocono (CPTu) en una cámara de calibración (CC) Sebastián Rodríguez-Rodríguez.....	91
Estudio comparativo de facilidades y obstáculos de las mipymes exportadoras en el estado de Guanajuato de México y en la provincia de limón de Costa Rica Kenishia Peart-Harris.....	104
Design and Implementation of an Autofocusing Algorithm for the Goniometric Robotic Apparatus for Compound Eye Mariana Guzmán-Fonseca.....	113
Escaneo tridimensional y detección de objetos para una subsecuente manipulación por un robot colaborador Alejandro Alpizar-Cambronero.....	128
Optimización de máquinas reconfigurables CNC por medio de interfaz de control inteligente Manuel Sanabria.....	141
Comparative Clouds Kyle Flaherty, Rebecca Hack, Alina Pacheco	155
Reconocimiento gestual con Kinect para detectar comportamientos inseguros en conductores Diana Esquivel-González.....	166
Implementación de sensores 3D para la navegación de robots móviles y vehículos autónomos Sergio Valverde-Moreno	176
Optimization of a portable nanoparticle detection device Oscar O. Soto-Rivera	187

Visualización de datos de movilidad en la Ciudad de México, Santa Fe

Sleyter Angulo-Chavarría 203

Modificación de librería de control para mejorar interacción de robot con el entorno

José Antonio Ruiz-Jara..... 215

**Influencia de la consolidación secundaria en la rigidez
dinámica de un suelo compresible (arcillas)**

Jordi Iván García-Quirós Alexandra Ossa-López, Mario Flores-Guzmán,
Ivannia Solano-Aguilar 227

Diseño de un Interferómetro Heterodino de Microondas para la Medición de la Densidad Electrónica del Plasma en el SCR-1

Jorge Sánchez-Castro¹, Ivan Vargas²

Sánchez-Castro, J; Vargas, I. Diseño de un Interferómetro Heterodino de Microondas para la Medición de la Densidad Electrónica del Plasma en el SCR-1. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Octubre, 2020. Pág 4-10.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5470>



1 *Laboratorio de Plasmas para Energía de Fusión y sus Aplicaciones*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

Correo electrónico: jore.sanchez146@gmail.com

2 *Laboratorio de Plasmas para Energía de Fusión y sus Aplicaciones*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: ivargas@tec.ac.cr

Palabras clave

Interferómetro; Heterodino, SCR-1; Densidad Electrónica; Microondas; PLL; Stellarator; Frecuencia.

Resumen

El Stellarator de Costa Rica 1 (SCR-1) es un dispositivo pequeño de confinamiento magnético de tipo stellarator modular que se emplea para la investigación de plasmas de alta temperatura y baja densidad, el primero de América Latina. [1]. El propósito de este trabajo es diseñar un dispositivo capaz de medir experimentalmente, de forma precisa, la densidad electrónica del plasma. Es por esto que se pretende diseñar un interferómetro heterodino de microondas, uno de los primeros diagnóstico experimentales que se utilizan para medir este parámetro, debido a su alta fiabilidad. [2] En este documento, se calcula la frecuencia óptima de operación, junto con su respectivo desfase máximo. Además, se presenta un diagrama de bloques del sistema, que da hincapié a la especificación de cada uno de los componentes del diseño y a su vez será soporte para realizar un balance de potencia y un análisis del comportamiento teórico de la señal a lo largo del sistema. Se concluyó que el sistema cumple con los requerimientos necesarios para su implementación.

Introducción

El 29 de junio de 2016, el Stellarator de Costa Rica 1 (SCR1) produjo su primer plasma de hidrógeno, convirtiéndose en uno de los pocos Stellarator operativos en el mundo. [3] Hito que dio paso a la necesidad de implementar diferentes diagnósticos que contribuyan con la caracterización del plasma de alta temperatura (15eV) y baja densidad ($7,45 \cdot 10^{16} \text{m}^{-3}$) confinado en este dispositivo. Actualmente el proyecto cuenta con un Espectrometro óptico, una Sonda Langmuir y un Sistema de Mapeo Magnético como diagnósticos experimentales operativos.

Por otra lado, la interferometría de ondas electromagnéticas es uno de los primeros diagnósticos que se utilizan para medir la densidad electrónica de plasma, dado a su alta fiabilidad; [2]. Esta técnica se basa en el principio de superposición de dos o más ondas coherentes (con amplitud y fase iguales) que se propagan por diferentes medios, desde su fuente hasta su punto de detección. El estudio de las alteraciones que sufren estas señales al propagarse, permite determinar parámetros físicos del medio. [4]

Un interferómetro está compuesto por tres elementos principales: un oscilador, que permita generar una señal de entrada; un acople direccional, que divide esta señal en dos caminos diferentes (un camino de referencia y otro que será sometido al medio de estudio); y un mezclador (detector) que da como resultado una función dependiente de ambas entradas. [3] Dependiendo del diseñador y del tipo de interferómetro se le agregan otros componentes como guías de onda, antenas, aisladores, desfases, atenuadores; que no solo mejoran la exactitud de la medición, sino que también cumplen funciones de protección contra potencias reflejadas.

Cálculos previos

Frecuencia de operación

Al diseñar un interiormente uno de sus factores por definir es su frecuencia de operación. Esta se calcula mediante la utilización de los conceptos de densidad de corte (n_c) y densidad electrónica esperada (n_e), que se relacionan matemáticamente de la forma:

$$n_c = A \cdot n_e \quad (1)$$

Según [5], Un buen criterio de diseño es lograr que la densidad de corte sea 3 o 4 veces mayor que la mayor densidad electrónica esperada. Por otro lado, la ecuación 13 referida de [6]; permite obtener el índice de refracción para una onda. Con la expresión:

$$N^2 = 1 - \frac{\omega_{pe}^2}{\omega^2} \quad (2)$$

donde ω_{pe} es la frecuencia de oscilación del plasma, dada por:

$$\omega_{pe} = \sqrt{1 - \frac{n_e e^2}{\epsilon_0 m_e}} \quad (3)$$

La densidad crítica de electrones se obtiene cuando $N = 0$, es decir, cuando ocurre un corte en el plasma (donde se da la reflexión de la onda), por lo que al sustituir (2) en (3), se tiene que:

$$n_c = \frac{\epsilon_0 m_e \omega^2}{e^2} \quad (4)$$

La frecuencia angular de la onda la reescribimos en términos de la frecuencia y tenemos que:

$$n_c = \frac{4\pi^2 \epsilon_0 m_e f^2}{e^2} \quad (5)$$

Finalmente de (1) y (5) encontramos la frecuencia de operación definida como:

$$f = \left(\frac{e^2}{4\pi^2 \epsilon_0 m_e} n_e \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Por lo tanto, al tener una densidad electrónica teórica (n_e) de $7,45 \times 10^{16} \text{m}^{-3}$ en el SCR-1, el interferómetro debe tener una frecuencia de operación (FO) cercana a 5 GHz (banda C).

II-B. Desfase máximo

El desfase máximo se define, según [6], con la ecuación:

$$\Delta\phi = \frac{\omega}{2cn_c} \int n_c dl \quad (7)$$

Al considerar la densidad constante a lo largo de todo el plasma y al sustituir en (7), la ecuación (5)

$$\Delta\phi = \frac{e^2 n_e \Delta Z}{4\pi^2 \epsilon_0 m_e c f} \quad (8)$$

En el caso de que el haz de microondas atraviese la columna de plasma a lo largo de su diámetro menor, se tiene que $\Delta Z \approx 0,11 \text{m}$ y entonces el desfase sería aproximadamente de $1,7 \text{rad} \approx 98^\circ$

Diseño del sistema

Existen diferentes tipos sistemas de interferometría, algunos de ellos son: *Interferómetro Básico*, *Detección por cuadratura*, *Sistema Homodino*, *Sistema Heterodino*. Estos se ven diferenciados por su simplicidad, sensibilidad y ambigüedad. Según [4] el sistema heterodino es la forma mas confiable para determinar las alteraciones en la fase; por lo tanto, en este documento vamos a obviar los otros tres posibles diseño.

Un sistema de detección heterodino, se basa en la idea de permitir un cambio de la frecuencia de entrada (cambio de banda de FO). Esto se logra, al combinar la señal de entrada (RF) con una señal coherente en fase (LO), en un elemento no lineal que convierte las señales de entrada, de una frecuencia dada, en una señal de salida con una frecuencia intermedia (IF). [4] El objetivo principal es tener una señal de salida con una frecuencia mucho menor a la frecuencia de operación del interferómetro, para así facilitar el procesamiento de la misma.

El diagrama de bloques que presenta en la figura 1 representa al diseño propuesto.

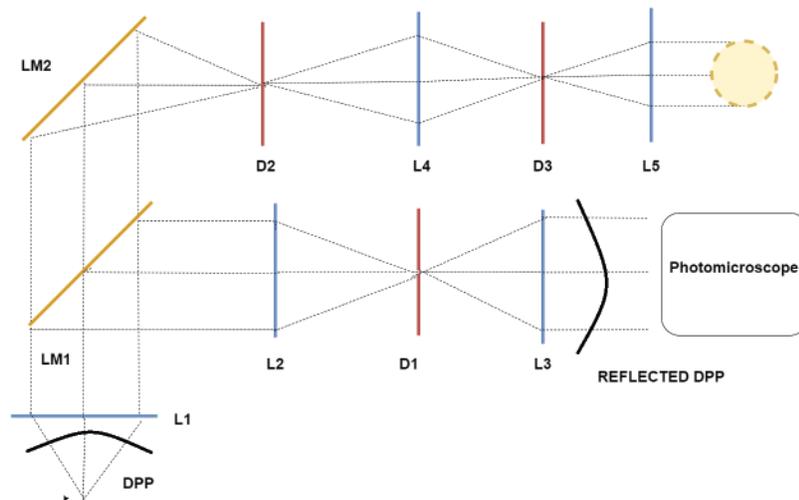


Figura 1: Diagrama de Bloques del Interferómetro Heterodino de Microondas Propuesto.

A. Equipos y componentes

Los osciladores locales se encargan de generar una señal de entrada de la forma $\text{Acos}(wt)$; sin embargo, como ambos osciladores necesitan tener la misma fase, con el objetivo de simplificar el procesamiento de la señal de salida, se emplea un sistema PLL de referencia externa, para enlazar ambos osciladores. Además, estos deben de presentar una pequeña diferencia en su frecuencia de operación para no tener una salida completamente continua en los mezcladores. Específicamente para este diseño se empleara un PLL con las características mostradas en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características del PLL.

Parámetro	Valor
Frecuencia central	5 GHz
Potencia	25dBm
Referencia	Externa 100 MHz @ 0dBm

Los mezcladores son elementos no lineales que se encargan de convertir las señales de entrada RF y LO en un señal de frecuencia intermedia (IF). Específicamente, se utilizan mezcladores balanceados (equilibrados), donde se trabajara con el producto de intermodulación correspondiente a la resta resta de ambas señales. Las característica específicas de estos mezcladores se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Características del Mezclador.

Parámetro	Valor
Calibración en RF	-10dBm
Potencia en LO	[11,15] dBm

Se detallan únicamente las características y funcionamiento de los osciladores y mezcladores debido a su grado de importancia en el diseño. En el cuadro 3 se presenta la lista completa de componentes con su respectivo código de proveedor y una pequeña descripción del mismo, se excluyen las guías de onda.

Cuadro 3. Lista de equipos y componentes.

Componente	Código	Descripción
Oscilador	QPL-0525ES	Oscilador tipo PLL
Aislador	QIF-A00000	Protección
Mezclador	QMB-0528AS	Mezclador balanceado
Acople direccional	QDC-EA1000	Divisor de señales
Antena	QRR-A00P30	Antena piramidal
Medidor de potencia	QEA-05FBAP	Protección
Atenuador fijo	QAF-A20000 QAF-A04000	Atenuador de 20dB Atenuador de 4dB

B. Análisis del Comportamiento de la Señal

Basándose en los puntos marcados en la figura 1, se analizara de forma teórica los procesos o cambios que sufre la señal a lo largo del circuito. Es así como, la señal que se propaga por el punto "A", tiene como objetivo servir de referencia para los PLL´s y de tal forma que logran enlazar la fase de ambos osciladores.

$$S_A = k_1 \cos(2\pi f_1 t) \quad (9)$$

Donde k_1 corresponde a la amplitud de la señal y f_1 a su frecuencia ($\approx 100\text{MHz}$). En los punto B y B' se propagan las señales de entrada RF y LO respectivamente del primer mezclador, estas son las salidas directas del PLL.

$$S_B = k_r \cos(2\pi f_r t) \quad (10)$$

$$S_{B'} = k_L \cos(2\pi f_l t) \quad (11)$$

Por otro lado, en el punto C, la señal ya se a propagado por el plasma ocasionado que esta sufra un desfase.

$$S_c = k_r \cos(2\pi f_r t + \phi) \quad (12)$$

La ecuación (13) expresa la salida de los mezcladores.

$$S_1 = (S_B + S_{B'})^2 \quad (13)$$

$$S_2 = (S_C + S_{C'})^2 \quad (14)$$

Sustituimos la ecuación (10) , (11) y (12) en las ecuaciones (13) y (14) respectivamente. Se aplica un filtro paso bajo que elimine todos los términos con frecuencias superiores a f_l ($f_r - f_l \approx 10\text{MHz}$); además, se elimina la componente continua y se obtiene la expresión simplificada (15) y (16).

$$S_1 = k_r k_L \cos(2\pi f_l t) \quad (15)$$

$$S_2 = k_r k_L \cos(2\pi f_l t + \phi) \quad (16)$$

C. Balance de Potencias

En el cuadro 4 se muestran los resultados del balance de potencia, en esta tabla se indica el valor de entrada (P_{in}), salida (P_{out}) y de consumo (P_{cs}) de potencia de cada componente, excluyendo a los mezcladores y las antenas.

Basado en la ecuación de transmisión de Friis (17), se calcula las pérdidas de potencia entre antenas.

$$P_{cs} = P_t + D_t + D_r + 20\log(4\pi d\lambda) \quad (17)$$

Simulando la propagación por el plasma como si esta fuera una propagación por el vacío y al establecer que ambas antenas son iguales y que poseen una ganancia de 10dB, se estima que la pérdida por propagación es aproximadamente 32.28 dB

Cuadro 4. Balance de Potencias.

Componente	P_{in} (dBm)	P_{out} (dBm)	P_{cs} (dBm)
Osciladores PLL		25	
Aisladores	25	23,7	1,3
Acoples direccionales	23,7	22,7 / 12,7	1
Atenuador fijo RF	12,7	-7,3	20
Atenuador fijo LO	22,7	12,7	10

La potencia de entrada de las señales RF y LO de los mezcladores se presentan en el cuadro 5:

Cuadro 5. Potencia de entrada en los mezcladores.

Componente	RF(dBm)	LO (dBm)
Mezclador S1	-7,3	12,7
Mezclador S2	-9,5	12,7

Conclusiones

Se concluye que el diseño cumple con los requerimientos necesarios para su implementación, permitiendo hacer una comparación simple entre ambas señales (S_1 y S_2) para determinar el desfase producto de la propagación de la onda en el plasma, y de esta forma mediante la ecuación (8) se calcularía la densidad electrónica experimental. Se recomienda implementar un sistema que digitalice y analice las señales de salida, con el objetivo de obtener un resultado mas preciso. La frecuencia de operación del interferómetro queda sujeta a su implementación, aunque debe quedar claro que esta frecuencia tiene un impacto directo en la sensibilidad y exactitud del sistema.

Referencias

- [1] V.I. Vargas, *et al.* .Engineering overview of the Fusion Research in Costa Rica: SCR-1 Stellarator and Spherical Tokamak MEDUSA-CR."27th IEEE Symposium on Fusion Engineering (SOFE), Shanghai, China (2017).
- [2] T. G. Marques *et al.*, Real-time digital heterodyne interferometer for high resolution plasma density measurements at ISTTOK, *ev. Sci. Instrum.*, vol. 79, (10), pp. 10E711, 2008. Available: <https://doi.org/10.1063/1.2956875>. DOI: 10.1063/1.2956875.
- [3] Solano-Piedra, R., Vargas, V. I., Köhn, A., Coto-Vílchez, F., SánchezCastro, J., López-Rodríguez, D., ...& Asenjo, J. (2017). Overview of the SCR-1 Stellarator. In 23rd IAEA Technical Meeting on the Research Using Small Fusion Devices.
- [4] T. Guerra, Real-Time measurement of the plasma electron density at ISTTOK and study of the ISTTOK hydrogen injection system "Instituto Superior Técnico, Universidad Tecnica de Lisboa , 2008.
- [5] J. Iraburu, "Comentarios sobre el interferómetro propuesto para el Stellarator SCR-1." [Inédito]. 2014.
- [6] Krämer-Flecken, A.(2006). Microwave and far infrared diagnostics. *Transactions of fusion science and technology*, 49:387-394. Alemania.
- [7] H. J., G. T. and H. M., "Heterodyne methods in millimetre wave plasma diagnostics with applications to ECE, interferometry and reflectometry," *IOPlasma Science.*, vol. I, no. PII: S0741-3335(97)61467-0, pp. 4-20, 1997.

Utilización de un dispositivo electrónico de última generación para la determinación experimental del coeficiente de convección de una placa plana de aluminio

Use of last generation electronic device for the experimental computation of the convection coefficient over a flat aluminum plate

Luis Diego Ramírez-González¹, Luis Parras-Anguita²,
Carlos del-Pino-Peñas³

Ramírez-González, L; Parras-Anguita, L; del-Pino-Peñas, C.
Utilización de un dispositivo electrónico de última generación para la determinación experimental del coeficiente de convección de una placa plana de aluminio. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 11-22.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5471>



- 1 Estudiante Ing. Electromecánica con énfasis en Mantenimiento Industrial, Insituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: lramirez@ieee.org
- 2 Profesor contratado Doctor, Universidad de Málaga (UMA), España. Correo electrónico: lparras@uma.es
- 3 Subdirector de Posgrado e Investigación Universidad de Málaga (UMA), España. Correo electrónico: cpino@uma.es

Palabras clave

Dispositivo electrónico de última generación; transferencia de calor; coeficiente de convección.

Resumen

Este artículo considera un chorro de aire a una temperatura menor al ambiente, que impacta una placa plana de aluminio colocada sobre una matriz de sensores capaces de medir la temperatura en el área de impacto. Posteriormente, mediante un procesamiento de los datos se encuentran curvas características para cada relación adimensional entre la altura y el diámetro de salida del chorro (H/D). Se determina el coeficiente de convección o película utilizando la relación entre la pendiente de la gráfica resultante de la evolución temporal de la temperatura y las propiedades físicas del aluminio.

El objetivo principal del trabajo es la comprobación de la funcionalidad del dispositivo electrónico, el cual se realiza con éxito. Además, se utilizan técnicas de visualización para comprobar el comportamiento del chorro de aire fresco al impactar la placa. Tanto el dispositivo, como la utilización de chorros de aire tienen amplias funcionalidades en la industria (refrigeración, calefacción, procesos de secado, limpieza, entre otros) y algunas más específicas para el dispositivo como la medición a tiempo real de temperaturas en dos dimensiones en zonas de difícil acceso.

Keywords

Last generation electronic device; heat transfer; convection coefficient.

Abstract

This article deals with a jet of air at a lower temperature than the environment, which discharges onto a flat aluminum plate located over a matrix of sensors that measures the temperature in the area of impact. Subsequently, characteristic curves are found for each height and diameter ratio of the jet (H/D), through data processing. The coefficient of convection is determined using the relationship between the slope of the graph together with the result from the temporal evolution of the temperature.

The main objective of the work is the verification of the functionality of the advanced electronic device, which is carried out successfully. Also, and using visualization techniques the behavior of the jet is analyzed. Both the electronic device and the use of air jets have great interest in the industry (refrigeration, heating, drying processes, cleaning among others). In the case of the advance electronic device it is possible to provide data regarding real-time temperature measurement in areas of difficult access.

Introducción

El impacto de chorros de diferentes fluidos, principalmente de agua o aire, tiene gran importancia en aplicaciones industriales, normalmente se utilizan chorros turbulentos debido a su capacidad calorífica. Sin embargo, en casos específicos se llegan a utilizar flujos en régimen laminar [1]. Se tienen diferentes ejemplos de chorros impactando sobre diferentes superficies. Así, por ejemplo, hay aplicaciones en las que chorros impactan a gran escala sobre el suelo como los utilizados en el avión VTOL [2]. También hay unos a menor escala como los utilizados en la obtención de la fuerza cortante que sufre el tejido vascular en el estudio de la aterogénesis

[3]. La utilización de chorros laminares está limitada para aspectos más específicos, ya que la relación H/D (H distancia entre la superficie de impacto y el chorro, D el diámetro de salida del chorro) debe oscilar en valores bajos, por lo que montajes grandes o de alta velocidad normalmente no lo permiten [4].

Los primeros experimentos realizados en este tema datan de 1964, en el cual se hace un estudio para chorros laminares y turbulentos, los resultados son vigentes aún para nuestros experimentos. En cambio, estos primeros estudios se limitaron para un chorro perpendicular a la placa y sin variaciones de temperatura, si bien posteriormente se realizaron más estudios para diferentes ángulos de impacto.

En el experimento realizado en la Universidad de Málaga (UMA) se recrea una experiencia similar a la mencionada anteriormente, un chorro de aire fresco que impacta perpendicularmente sobre una placa de aluminio que se encuentra a mayor temperatura. Se analiza este caso con un gradiente de temperatura con respecto a la ambiental por su interés industrial. Para la medición de la temperatura se utiliza un dispositivo electrónico diseñado y ensamblado en la Escuela de Ingenierías Industriales de la UMA que permite calcular cuantitativamente el cambio de temperatura que se produce a lo largo de la placa.

Este dispositivo permite mediciones altamente precisas sin ser intrusivo y con una filosofía de tecnología electrónica que aumenta la lectura de múltiples sensores con un canal de datos minimizados. Además, es una solución para condiciones de medición complicadas, tal y como lo mencionan los creadores de la placa, como, por ejemplo, medir la temperatura de un asiento en un vehículo cuando hay una persona sentada, entre otros casos [5]. Existen otros tipos de placas para la medición de temperatura en arreglos similares a la utilizada en el experimento. Sin embargo, la electrónica utilizada hace de este dispositivo la mejor opción, ya que las otras placas similares para 64 sensores utilizan 128 cables y hacen la toma de datos en aproximadamente un minuto [6], mientras que el dispositivo utilizado tiene un arreglo de sensores que lo hace ser muy eficiente, utiliza pocos cables (3 cables de datos, 3 de alimentación) y la toma de datos se realiza en un tiempo del orden de milisegundos, todo esto a un coste bajo [5].

La técnica de visualización más utilizada en experimentos con aire se basa en las partículas trazadoras de la técnica PIV (Particle Image Velocimetry), que está diseñada para determinar el campo instantáneo de velocidades en el plano del fluido. En este experimento la introducción de partículas visibles se realizó con un burbujeador de aceite dando lugar a una emulsión de aceite y aire fresco con un tamaño de sus partículas del orden de un micrómetro y con una densidad similar a la del aire. Estos dos aspectos hacen que la técnica sea no intrusiva, aspecto a considerar cuando se esté realizando mediciones con la técnica de visualización. Si bien es cierto que el objetivo principal del PIV no es la observación cualitativa, al hacer incidir un plano láser sobre el fluido con las pequeñas partículas de aceite permite la visualización de las mismas, y así comprobar que para los parámetros utilizados (relaciones H/D, la temperatura de salida y de la placa, caudal, presión del ambiente) el fluido es laminar, inestable o turbulento antes y después del impacto [1].

Siendo capaces de realizar mediciones de temperatura a lo largo de la placa en tiempo real se puede realizar el estudio de la transferencia de calor que ocurre cuando la superficie sufre el impacto del chorro. La termodinámica reconoce como métodos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. En el caso de radiación (método en el cual se da la transferencia de calor desde el Sol hasta la Tierra), las partículas transfieren el calor a otras antes de chocar. Estos mecanismos de transferencia son más eficientes en ambientes vacíos y con pocos obstáculos. Por este motivo, en algunos casos se puede obviar la radiación ya que su aporte es insignificante, ingenierilmente, con respecto a la transferencia por convección o conducción [8].

La convección, estrictamente hablando, es un transporte de energía por el movimiento en el medio. En ingeniería se suele asociar el término a la transferencia de calor que se da entre un fluido en movimiento y un cuerpo sólido. Existen dos tipos de convección, forzada y natural. La primera se refiere a un flujo que se destina para este fin, ya sea mediante un sistema de bombeo o impulsión, gravedad o procesos externos, mientras que la segunda se da por diferencias de densidades. Como se comentaba anteriormente, los flujos más utilizados en ingeniería para la transferencia de calor son turbulentos. En este régimen la convección forzada se suele aprovechar porque utilizan números de Reynolds elevados. No obstante, los fluidos laminares también son funcionales, según sea la aplicación [9].

Para casos de fluidos laminares principalmente (también pasa con flujos turbulentos, pero en menor medida), se da la condición de no deslizamiento mediante la cuál el fluido se adhiere a una superficie no porosa, como una placa de aluminio y se convierte en una película sobre el sólido. Se dice que en fluidos turbulentos se da en menor medida por la recirculación del fluido. En la figura 1, Cengel ejemplifica el perfil de velocidades, los tamaños de las películas y las direcciones del fluido. En el experimento de este artículo se utilizó un fluido laminar, lo que corresponde a la primera parte del diagrama presentado en la figura 1. Se puede observar que la velocidad en la zona cercana a la placa es cero y en las zonas más alejadas es más alta, mientras que en fluidos turbulentos las velocidades lineales son menores, pero las capas más pegadas a la placa tienen más velocidad que en el caso laminar.

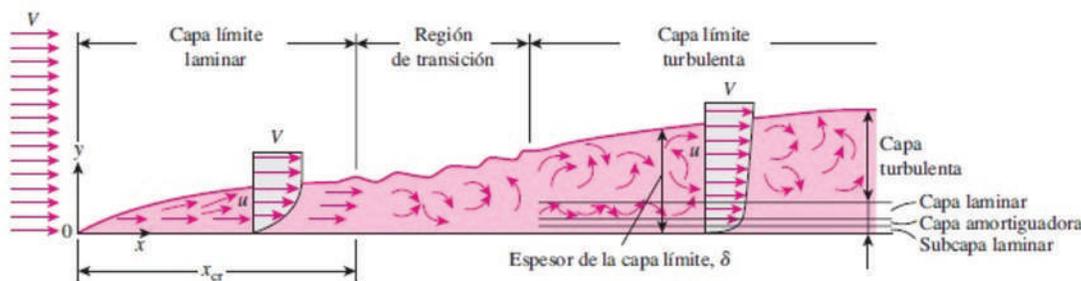


Figura 1. Desarrollo de la capa límite en una placa plana. [9]

La medición del efecto de película en muchos casos se convierte en una tarea complicada, por lo que obtener valores de coeficientes de convección es una tarea difícil. Se han obtenido rangos o valores típicos, como los presentados en el libro de Transferencia de Calor [9] para casos genéricos en donde se habla de un sólido impermeable y un gas o un líquido mediante convección libre o forzada. Para la combinación de convección libre, gas-sólido, se da un rango de $[2-25] \text{ W/m}^2 \text{ K}$, para convección libre, líquido-sólido el rango es de $[50-1000] \text{ W/m}^2 \text{ K}$, para convección forzada, gas-sólido, se da un rango de $[2-250] \text{ W/m}^2 \text{ K}$, para convección forzada, líquido-sólido el rango es de $[50-2000] \text{ W/m}^2 \text{ K}$. El caso del experimento corresponde a convección forzada, en una interacción de gas-sólido.

En caso de no existir el efecto película, o que no tenga una aparición significativa, las mediciones deben de considerarse con una fricción cero. En este caso tanto la capa superior como inferior en un fluido laminar tienen la misma velocidad [10]. Esto quiere decir que, para el experimento realizado en este artículo, en caso de que no se haga presente el efecto de la viscosidad, los contornos de velocidad deben ser concéntricos y la temperatura aumenta desde el centro de la placa hasta que llegue a equipararse con la temperatura ambiente.

Montaje experimental

El montaje experimental se realiza en la Universidad de Málaga, España. Se utilizó un cilindro de metacrilato con un diámetro de 400 mm, y 1000 mm de alto esto con el fin de aislar y proteger de perturbaciones al chorro de aire, ya que éste puede verse influenciado por las corrientes de aire del laboratorio. Dentro del cilindro se ha colocado una mesa de elevación para la placa, con la finalidad de que el aire frío baje, se desplace por la parte inferior del cilindro y no interfiera con las mediciones del dispositivo. En la figura 2 se puede observar una fotografía del montaje experimental.

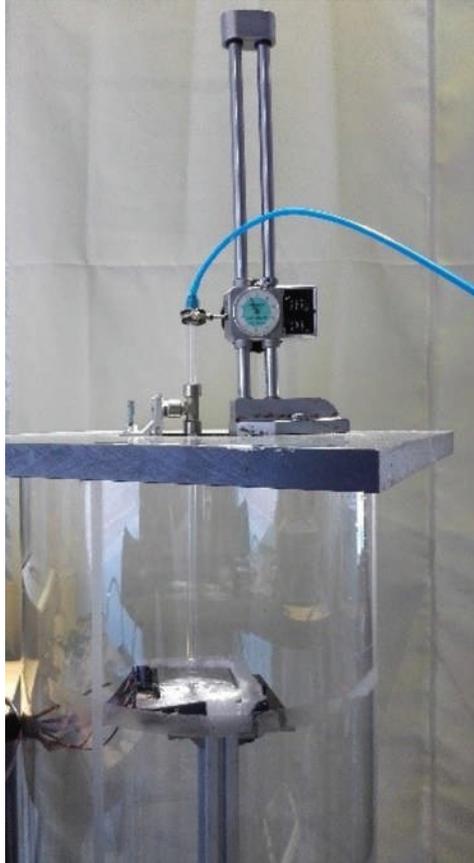


Figura 2. Montaje experimental.

En la parte superior del cilindro se coloca una tapa por donde se introduce el aire frío a una temperatura (T_1) menor a la ambiental dentro del cilindro (T_2). Para la inyección del fluido es necesario utilizar un compresor. Desde la salida del tanque de almacenamiento hasta el conducto de salida, la línea neumática debe pasar por un proceso de secado y enfriamiento. Es importante colocar el enfriador luego del secado porque al retirarle humedad la temperatura del fluido disminuye.

El tubo de salida tiene un diámetro interior de 6.87 mm y se utiliza un micrómetro de la marca *Mitutoyo*, el cual se presenta en la figura 3 (en conjunto con el soporte del tubo), para garantizar una relación H/D bastante precisa, ya que se puede modificar el valor de H con una tolerancia de la centésima de milímetro. La zona de impacto es una superficie cuadrada de $140 \times 140 \text{ mm}^2$, el diámetro del círculo circunscrito en el área de impacto es 20 veces mayor que el diámetro de salida del chorro, por lo que su relación es suficientemente grande para realizar el estudio deseado.



Figura 3. Micrómetro marca Mitutoyo.

En el montaje se debe asegurar la perpendicularidad del chorro con respecto a la placa, además el nivelado de la placa. Para este fin, se utilizó la ayuda de un nivel digital de $\pm 0.1^\circ$ de precisión y $\pm 0.2^\circ$ de exactitud.

Para comprobar que el montaje permite flujos laminares se utiliza la ayuda de un láser continuo verde de 532 nm con una potencia máxima de 2W. El láser se hace pasar por un juego de lentes para abrir en un plano bidimensional, el cual debe incidir con el centro del tubo en la salida del chorro y se hacen observaciones cualitativas, en las cuales fue necesario la utilización de un burbujeador de aceite, el cual puede generar tanto humo que crea una mezcla homogénea sin cambiar la densidad del aire. Además, las partículas no son tóxicas por lo que no requiere equipo de seguridad. El burbujeador se presenta en la figura 4, en donde se puede observar el aceite vegetal, sin estar burbujeadando, un tubo de PVC en el recipiente cerrado, la entrada y salida de aire con sus respectivas válvulas. La producción de burbujeo es estrictamente proporcional a la cantidad de aire inyectado, además es un productor de partículas continuo lo que facilita las visualizaciones.



Figura 4. Burbujeador de aceite.

El montaje del dispositivo de medición se puede observar en la figura 5. Como se pretende medir la temperatura y con la idea de aislarlo aún más del entorno se coloca corcho blanco en su perímetro. El cableado de alimentación y datos sale por un orificio ubicado en cilindro. Fuera del cilindro se tiene un ordenador para la recolección de datos de la placa de sensores que son traducidos por una placa Nexys 3, además una fuente de alimentación de ± 5 V.



Figura 5. Montaje del dispositivo de medición.

Con el fin de tener una diferencia de temperaturas entre el chorro y la ambiental se utiliza un termostato de inmersión JP Selecta, además de un secador de aire ya que el dispositivo no tiene protección contra la humedad. Se llegan a diferencias de temperatura de 4 K.

El siguiente paso antes de realizar las mediciones es ajustar el cero del micrómetro *Mitutoyo* en el punto de contacto con la placa, el cual debe ser en el centro de la matriz de 8x8 sensores de medición, no en el centro geométrico, porque se tendrían valores desplazados y los programas de procesamiento de datos no tendrían resultados reales. A partir de este cero se hacen las mediciones de H. En la figura 6 se presentan los dos esquemas del montaje, con la especificación de las cotas correspondientes a H y D.

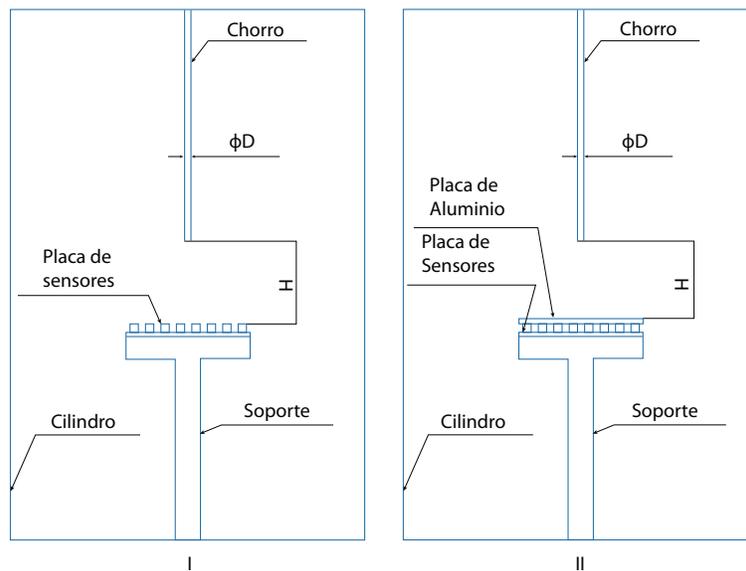


Figura 6. Esquema del montaje sin placa de aluminio (I), con placa de aluminio (II).

Resultados

Los resultados de las visualizaciones se pueden observar en la figura 7, para las relaciones de H/D límites (H/D=1, H/D=5), se puede observar que ambos flujos están en régimen laminar después del impacto para la configuración del montaje II. En el caso H/D=1 se observa más concentración de aire en la placa ya que la distancia de impacto es menor, mientras que en para H/D=5 la visualización del impacto muestra una mayor dispersión al abrirse el chorro antes del impacto. También se observan eventuales patrones de turbulencia a medida que nos alejamos de la zona de impacto, especialmente para H/D=5.

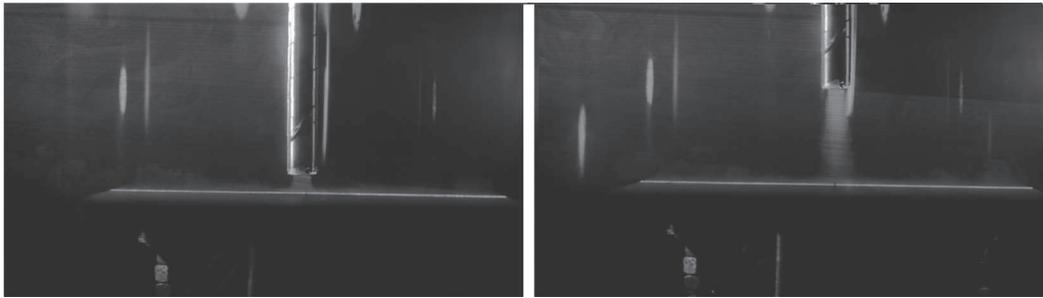


Figura 7. Visualizaciones del comportamiento del chorro a $H/D=1$ y $H/D=5$.

Las primeras mediciones se realizaron sin la placa de aluminio, con el fin de obtener la simetría en las mediciones de temperatura desde el punto de impacto (similares a anillos concéntricos) y comprobar la funcionalidad de la placa. En la figura 8 se muestran los anillos concéntricos de temperatura para relaciones de $H/D= 1,2,3,4,5$ y un $\Delta T=4K$.

Debido al diseño de la placa, el efecto película no es visible, ya que los sensores están por encima de la placa. En los casos donde el chorro está más cerca de la placa las temperaturas frías están más concentradas en el centro. Sin embargo, se observa en la figura 8 que la diferencia entre gráficas es muy pequeña. Estos datos corresponden al montaje I de la figura 6.

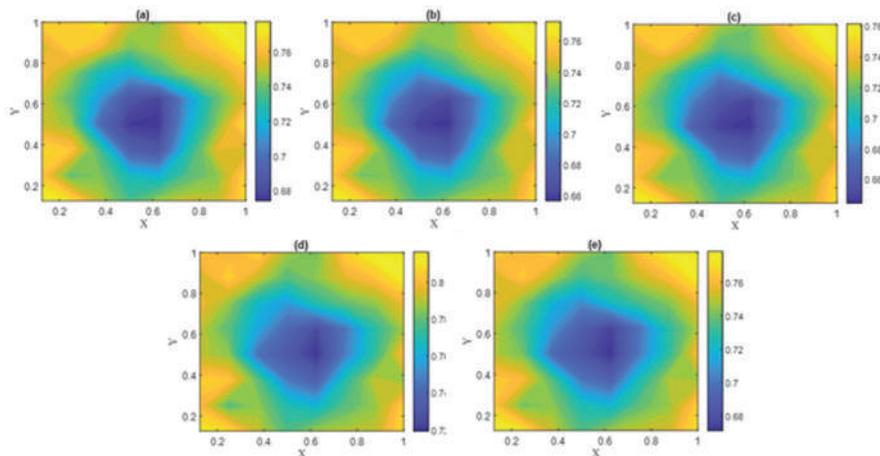


Figura 8. Anillos concéntricos de temperatura para un $\Delta T=4^{\circ} C$, $H/D=1$ (a), $H/D=2$ (b), $H/D=3$ (c), $H/D=4$ (d), $H/D=5$ (e). En la configuración I.

Cuando se hacen las mismas mediciones para las mismas relaciones de H/D , pero agregando la placa de aluminio sobre los sensores (montaje tipo II de la figura 6), el efecto película aparece y hace que las dianas se vean invertidas, estando la parte más caliente en centro y las más frías en los extremos. Las velocidades en las zonas de impacto son casi cero, por lo tanto, la transferencia de calor por convección en esas zonas es muy baja y se obtienen los patrones que se muestran en la figura 9.

Para cada relación de H/D , se obtiene una curva característica de temperatura promedio entre temperatura inicial en función de un tiempo característico t_0 , este se conoce con la siguiente fórmula:

$$e p c_p = \frac{d\bar{T}}{dt} = h(\bar{T} - T_2)$$

Además, teniendo en cuenta que

$$\theta = \frac{\bar{T} - T_1}{T_2 - T_1}; \quad \theta_0 = \frac{\bar{T}_{t=0} - T_1}{T_2 - T_1}$$

y despejando matemáticamente h se obtiene:

$$h = e p c_p m$$

donde m es la pendiente de la siguiente ecuación

$$\ln\left(\frac{\theta}{\theta_0}\right) = m \cdot t + a$$

Este valor de m se encuentra con la línea de mejor ajuste para cada uno de los datos tomados experimentalmente que corresponden a la evolución temporal de la temperatura.

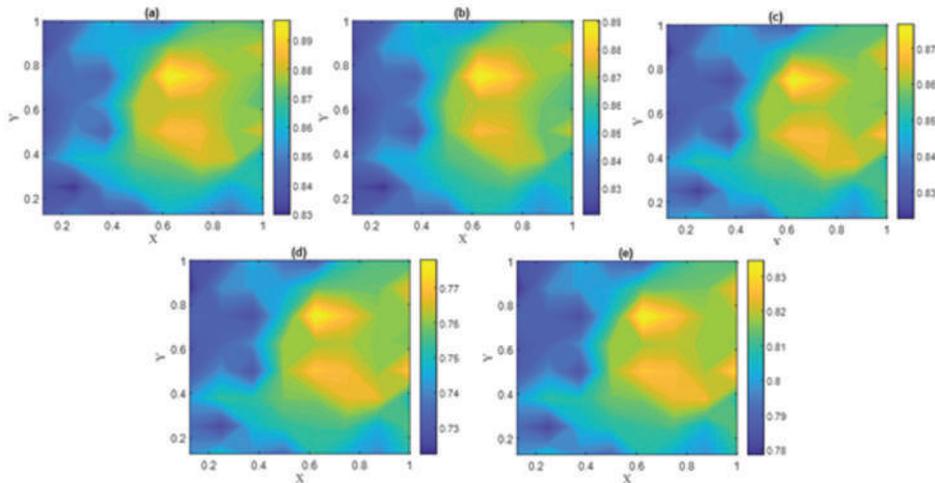


Figura 9. Anillos de temperatura para un $\Delta T=4K$, $H/D=1$ (a), $H/D=2$ (b), $H/D=3$ (c), $H/D=4$ (d), $H/D=5$ (e). En la configuración II.

En la figura 10 se presentan las líneas de mejor ajuste (las líneas continuas) y los valores experimentales (diferentes formas). La dispersión entre los datos para una misma relación H/D es mínima lo que da certeza de la precisión en las mediciones, garantizando la bondad de los datos experimentales.

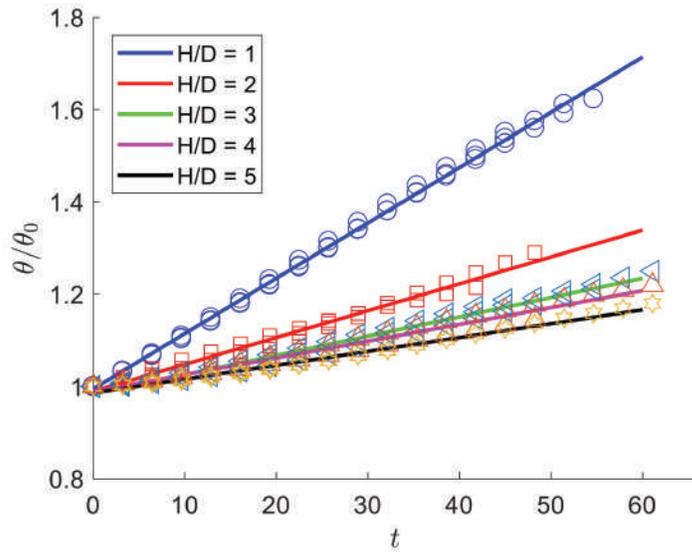


Figura 10. Relaciones de en función del tiempo adimensional t para las diferentes relaciones de H/D .

Tomando los valores de densidad del aluminio laminado y el calor específico del aluminio del libro de Transferencia de Calor, tabla A-2 [9] se calculan los valores de h para cada experimento, se obtiene un valor promedio por relación de H/D . El resultado se muestra en la figura 11.

Según la teoría los valores de h , para relaciones de gas-sólido en convección forzada no podían pasar de $250 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ y no podía ser menor a $2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, los valores obtenidos en el modelo experimental rondan un rango de 60 a $220 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, por lo que se considera exitoso, tanto el experimento como el funcionamiento del dispositivo electrónico.

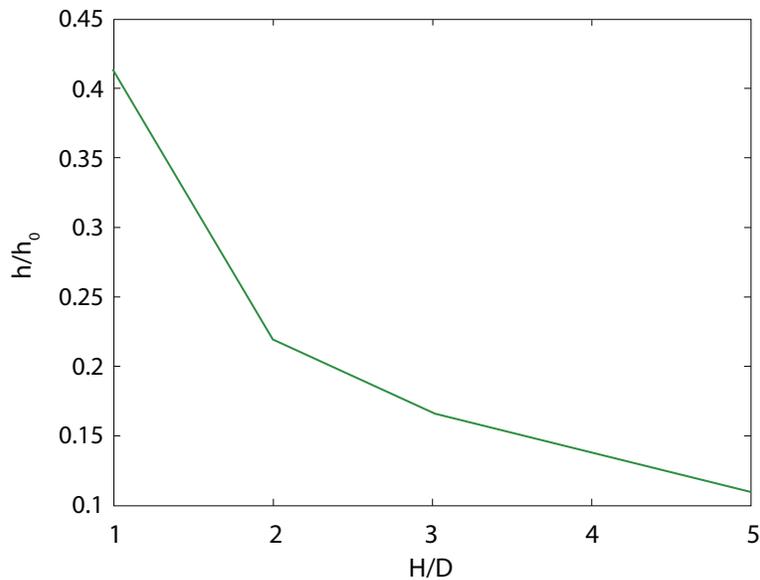


Figura 11. Valores de h/h_0 contra relaciones de H/D .

Conclusiones y recomendaciones futuras

Se ha montado un experimento para ensayar una placa de sensores de temperatura mediante una metodología electrónica de última generación, la cual dio resultados satisfactorios ya que se han encontrado valores de coeficiente de convección forzada en un rango de [60 a 220] W/m² K, el cual está dentro de lo aceptado por la literatura. Además, las mediciones del dispositivo sin la placa de aluminio concuerdan con lo esperado y descrito en la teoría. Para relaciones mayores a H/D=5 los resultados no presentan variaciones significativas, de H/D=1 a H/D=2 es donde se produce la mayor disminución de h , probablemente asociado a un cambio de régimen en la zona de impacto. Las desviaciones entre los resultados para un mismo H/D permiten afirmar que los resultados son precisos y repetibles. Se estima oportuno relacionar en futuros trabajos los patrones de las visualizaciones (y el régimen laminar o turbulento del flujo) con el coeficiente h calculado, así como aumentar el rango de diferencia de temperaturas a valores superiores a 4K.

Agradecimientos.

Se agradece profundamente a Sergio Pinazo y Alexandro Díaz por la ayuda brindada en el montaje experimental, a Raquel Fernández, José Hidalgo, Jorge Romero, José Martín y Francisco Ríos por permitir la utilización del dispositivo electrónico de medición. A la Universidad de Málaga (UMA) y al Tecnológico de Costa Rica (TEC) por la ayuda recibida para la estancia de movilidad, las instalaciones y los medios facilitados.

Referencias

- [1] P. G. Castillo, *Estudio experimental del impacto sobre una superficie plana de un chorro frío*, Málaga, España: Universidad de Málaga, 2011.
- [2] J. M. Bergthorson, K. Sone, T. W. Mattner, P. E. Dimotakis, D. G. Goodwin y D. I. Meiron, *Impinging laminar jets at moderate Reynolds numbers and separation distances*, Pasadena, California 91125, USA: California Institute of Technology, 2005.
- [3] J.-J. Shu y G. Wilks, *Heat Transfer in the Flow of a Cold, Axisymmetric Vertical Liquid Jet Against a Hot, Horizontal Plate*, Singapore: School of Mechanical and Aerospace Engineering, 1996.
- [4] J. Baonga, H. Louahila-Gualous y M. Imbert, *Experimental study of the hydrodynamic and a heat transfer of free liquid jet impinging a flat circular heated disk*, Belfort, France: Femto ST, 2005.
- [5] J. A. Higoalgo Lopez, J. Romero Sanchez, R. Fernandez Ramos, J. Mantín Canales y J. Ríos Gómez, *A low-cost, high-accuracy temperature sensor array*, Málaga, Spain: Departamento de Electrónica, Universidad de Málaga, 2018.
- [6] Liu, Chang, Cascioli, Heusch y McCarthy, *Design and development of a thermal imaging system based on a temperature sensor array for temperature measurements of enclosed surfaces and its use at the body-seat interface*, California, USA: Measurement, 2017.
- [7] R. Bardera Mora, *Aplicación del PIV a la medida del coeficiente de resistencia aerodinámica*, Madrid, España: Facultad de Ciencias Físicas, 2005.
- [8] J. G. Marroquín, *Determinación experimental de coeficientes de transferencia de calor para convección libre y forzada*, Nuevo Leon: Nicolas de los Garza, 1998.
- [9] Y. A. Cengel, *Transferencia de Calor*, México DF: McGraw-Hill, 2004.
- [10] J. Coberan y R. Royo, «Mecánica de Fluidos,» Universidad Politécnica de València, 16 Junio 2006. [En línea]. Available: <http://www.upv.es/ul/U0296621.pdf>. [Último acceso: 1 Junio 2018].

Teletrabajo y su impacto en la productividad empresarial y la satisfacción laboral de los colaboradores: tendencias recientes

Teleworking and its impact on business productivity and job satisfaction of employees: Recent trends

Randal Ulate-Araya¹

Ulate-Araya, R. Teletrabajo y su impacto en la
productividad empresarial y la satisfacción laboral de los
colaboradores: tendencias recientes. *Tecnología en Marcha*. Vol.
33, especial Movilidad estudiantil. Pág 23-31.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5477>



¹ Estudiante de Administración de Empresas de la Sede San Carlos. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: tecrandal@gmail.com

Palabras clave

Teletrabajo; satisfacción laboral; productividad.

Resumen

Durante los últimos años no se puede perder de vista el interés por el estudio del teletrabajo desde diferentes campos de la economía y la dirección de empresas. Esta investigación, mediante una exhaustiva revisión de literatura sobre el tema, se ha dirigido hacia dos líneas primordiales: la primera es la afectación del teletrabajo en la calidad de vida laboral de los colaboradores que realizan sus deberes mediante esta modalidad de trabajo, y la segunda es la afectación del teletrabajo en la productividad de las empresas que implementan dicha metodología de trabajo.

Se indagaron determinantes del éxito y rendimiento de los modelos de aplicación de teletrabajo. Para cada una de ellas se identifica el enfoque teórico dominante, se sistematizan e integran las principales aportaciones realizadas, y se analizan sus posibilidades de desarrollo futuro.

Keywords

Teleworking; job satisfaction; productivity.

Abstract

In recent years it has been observed a growing interest in the study of teleworking from different fields of economics and business management. The research has been directed toward two main lines, the first is the involvement of telework in the quality of working life of employees who perform their duties with this type of work and the second is the involvement of telework on productivity of firms implement it. This research is theoretical.

Were studied the determinants of success and performance models for implementing telework. For each of them the dominant theoretical approach is identified, systematizes and integrates the main contributions, and the possibilities for future development.

Introducción

Como solución a las dificultades que surgen en un mundo tan globalizado como el de hoy, el desarrollo de la sociedad de la información, los problemas estructurales del empleo, las crecientes diferencias en el coste laboral entre los países, el elevado precio de los medios de transporte, los problemas medioambientales en las grandes ciudades, la despoblación de las zonas rurales y la dotación de mayores y mejores infraestructuras de telecomunicaciones, son detonantes que indican que hay que cambiar el obsoleto modelo de trabajo imperante, por una herramienta más dinámica y que a su vez ayude en la disminución de costos en las organizaciones. El Teletrabajo entonces parece atractivo.

Esta idea la ratifica Nilles [1], cuando afirma que “las personas podrían teledesplazarse usando comunicaciones remotas basadas en las tecnologías de la información”. El Teletrabajo es un tema que se observa con mucho interés, por eso es que el objetivo de este artículo es observar el impacto de la aplicación del Teletrabajo sobre una variable de interés para las empresas (productividad) y sobre una variable de interés para los colaboradores (su satisfacción laboral), en ambos casos desde la óptica de la literatura relacionada con el tema.

El Teletrabajo se origina en los años 70, con la crisis del petróleo, como respuesta a la gran escasez presentada en dicha época de productos procedentes del petróleo, porque el desplazamiento de los colaboradores al sitio de trabajo representaba un gran consumo de combustibles fósiles. Además, a partir de ese momento se da un gran salto en las telecomunicaciones a nivel mundial, cada vez más integradas a los procesos organizacionales de las empresas, principalmente multinacionales, debido a que su uso propiciaba menor coste y mayor flexibilidad.

Desde entonces se han divulgado varios trabajos defendiendo las ventajas o visibilizando los inconvenientes del Teletrabajo. Una de las desventajas que más recalcan los investigadores acerca del Teletrabajo es el aislamiento de los teletrabajadores. Por otra parte, las experiencias en las empresas al respecto han sido muchas y variadas.

Durante los años 80 el Teletrabajo fue tomado con una forma de autoempleo, debido a apremios personales para perdurar por un mayor tiempo en el hogar con la familia o también fue una gran oportunidad para las personas que tenían un espíritu emprendedor, las cuales querían empezar un negocio propio. Se puede inferir entonces que el incremento del Teletrabajo puede deberse tanto al acrecentamiento del espíritu emprendedor, aunado esto a un clima político que favorecía el crecimiento de la economía de una manera diferente e innovadora.

Para Dvorak & Anis [2] existen cuatro aspectos que ayudan al éxito de un programa de Teletrabajo, los cuales son:

- Ambiente de descentralización empresarial.
- Recorte de gastos.
- Agilización de servicios.
- Búsqueda de una mayor amplitud geográfica por parte de las empresas.

Tomando en cuenta estos aspectos, hoy en día se abren como nunca para el desarrollo sostenible del Teletrabajo una gran cantidad de medios que se pueden usar para comunicarse a larga distancia. Debido precisamente a todo este caudal de investigaciones realizadas, parecía éste un momento oportuno para revisar esta literatura, con la finalidad de sistematizar los avances experimentados en el conocimiento de estas prácticas y, a la luz de los resultados obtenidos, plantear sugerencias sobre las futuras investigaciones sobre esta temática.

Antecedentes y características del teletrabajo

El Teletrabajo inició a partir de una idea de realizar labores evitando el traslado de los trabajadores al centro de trabajo en los Estados Unidos de América, durante la década de los 70 del siglo XX, por medio del norteamericano Jack Nilles, quien en el año 1973, en plena crisis petrolera, comenzó a pensar en formas de optimización de los recursos no renovables. Una de las principales preocupaciones mundiales era el abastecimiento de combustible y, en consecuencia, el transporte.

Según Camara [3] existen dos elementos esenciales para poder explicar qué se entiende por Teletrabajo. El primero se origina de la definición etimológica de la palabra: el prefijo *tele* que proviene del término griego “telos” (a distancia), indica que el Teletrabajo es trabajo realizado lejos del centro físico de trabajo habitual, donde se ubica el empleador. El segundo elemento esencial lo constituye el hecho de que por Teletrabajo se entiende trabajo a distancia, pero además con un uso intensivo de las tecnologías informáticas y de comunicación. Estas dos características singulares sólo son aplicables en la práctica introduciendo profundas modificaciones en la forma de organizar el trabajo.

Con el paso del tiempo el teletrabajo se ha ido afianzando en los núcleos de muchas organizaciones, logrando que algunos puestos sean ocupados por empleados que desempeñan sus labores a distancia. Algunos de estos puestos pueden ser actividades ligadas con la generación, la difusión, el análisis y el procesamiento de información, tales como tareas administrativas y de organización, servicios de traducción, programación y diseño, que se perfilan como ámbitos naturales para el Teletrabajo por las características de los mismos, comprobando lo dicho por Ortiz Chaparro [4], quien señala que el sector donde más ha crecido el Teletrabajo es en el de los trabajadores de la información, ya sea desde la introducción de datos hasta las funciones más complejas de investigación y desarrollo.

Desde un principio parecía una técnica restringida al sector de la información, en ocupaciones de secretariado, profesionales y de gestión, por ejemplo programación para el apoyo o para el desarrollo de software, pero también ha tenido aplicaciones en áreas que en su concepción se consideraban impensables.

Mejores prácticas en teletrabajo

Para el adecuado proceder de un modelo estable de teletrabajo en una organización se debe entender fundamentalmente que el Teletrabajo se basa básicamente en una relación de confianza, y por otra parte el control pasa a un segundo plano. Asimismo, una comunicación efectiva y asertiva genera una cultura de corresponsabilidad que repercute de manera positiva en la organización, así como la calidad de vida y desarrollo del teletrabajador.

Con base en lo anterior, Catillo [5] menciona una serie de buenas prácticas cuando se tiene una relación de teletrabajo, las cuales recomienda fortalecer e implementar en cada organización que posea un programa de teletrabajo:

1. Definiciones o políticas internas empresariales (voluntad o decisión gerencial). Luego llegarán las decisiones estatales y de política pública como producto del avance particular.
2. Definir contractualmente las responsabilidades que tendrán los teletrabajadores, para que con base en ello se determinen los objetivos por cumplir y métricas sobre las cuales se les hará el seguimiento. Entender claramente el sentido y filosofía del Teletrabajo: no es un esquema en donde se deba vigilar y controlar hora a hora a las personas.
3. Insertar el Teletrabajo dentro del reglamento interno de trabajo. Tener en cuenta los riesgos que el Teletrabajo propicia y diferenciar tanto accidentes y enfermedades de trabajo, como accidentes y enfermedades que pueden generarse en el hogar.
4. Generar códigos de ética para los teletrabajadores.
5. Comunicación y realimentación excelentes (tanto aspectos positivos como negativos), de manera oportuna.
6. Elección de unos buenos canales de comunicación, mediados por una buena tecnología.
7. Capacitación permanente de los teletrabajadores sobre los elementos más importantes para poder realizar una buena gestión.
8. Planificación de sus actividades o responsabilidades, con claros y concretos indicadores de gestión que respondan a objetivos y metas organizacionales. En otras palabras, conductas orientadas a metas o logros.
9. Cuidar de los teletrabajadores, como se cuida de una persona presencial. Las áreas de salud ocupacional cobran importancia en este sentido.

10. Desarrollar las competencias que requiera cada persona teletrabajadora para que pueda tener un buen desempeño.
11. Mantener una estrecha relación entre teletrabajador e inmediato superior, y con las demás dependencias de la organización.
12. Tratar de tener contactos sincrónicos, preferiblemente mediante canales audiovisuales, por lo menos una vez a la semana; esto incide positivamente en la mejora de aspectos psicológicos de las personas.
13. Involucrar a los teletrabajadores en todas las actividades institucionales, para lo cual es necesario definir estrategias y contar con los medios necesarios para ello.

Teletrabajo y productividad

La productividad es un concepto que ha estado presente en el análisis de muchos economistas y que se ha desarrollado históricamente. Así, la primera vez que se hizo referencia a este concepto fue en la obra de Quesnay [6], economista francés que afirmó que “la regla de conducta fundamental es conseguir la mayor satisfacción con el menor gasto o fatiga”, es decir, esto es el concepto básico de la productividad, según la Real Academia Española [7] se define productividad como la “relación entre lo producido y los medios empleados, tales como mano de obra, materiales, energía, entre otros”.

Para Smith [8] se encuentran los conceptos de productividad y competitividad cuando analiza las causas y repercusiones de la división del trabajo, de las características de los trabajadores, del desarrollo tecnológico y la innovación. Al respecto señala que la división del trabajo es la causa más importante del progreso en las facultades productivas del trabajo, de manera que la aptitud, la destreza y la sensatez con que este se realiza, es una consecuencia de la división del trabajo.

Así mismo, indica que de la división del trabajo se fundamenta en la creación de destrezas de los trabajadores y el ahorro de tiempo, debido a que no se tiene que cambiar de actividad.

Ahora bien, tomando estos dos conceptos, podemos elaborar un concepto propio que define productividad de la siguiente forma: relación que existe entre la cantidad de productos obtenida por un sistema productivo y los recursos empleados para obtener dicha producción. Así también se puede decir que es la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos: cuanto menor sea el tiempo que lleva obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema.

Uno de los ámbitos en los que la irrupción de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ha sido más estudiada es el laboral. Las TIC han favorecido la aparición de nuevas formas de organización del trabajo; en este caso es un insumo primordial para la aplicación de una técnica de teletrabajo en las empresas y seguramente la más importante es el trabajo en red.

En el fondo, y tal y como nos recuerda Castells [9], Internet es la forma de organización más habitual de la actividad humana a pequeña escala. Todo el mundo forma parte de alguna red: nuestro trabajo, nuestra familia, nuestros amigos, etc. Todas son, en potencia y en la práctica, nuestras mejores redes de apoyo. El surgimiento de Internet ha permitido la aparición de nuevas formas de trabajo y de coordinación a gran escala, y ha sustituido las cadenas de mando lineales y centralizadas por un trabajo autoprogramable caracterizado por la ocupación formada, flexible y con capacidades de autoorganización [10].

De esta manera, el teletrabajo implicaría el paso de un contexto caracterizado por la estabilidad laboral y salarial a un sistema productivo y de trabajo basado en la flexibilidad. Esta flexibilidad,

los modelos de trabajo variable, la diversidad en las condiciones de trabajo y la individualización de las relaciones laborales son las características principales del mercado de trabajo en la sociedad de la información y del conocimiento [11].

Uno de los signos más característicos de la sociedad contemporánea es, sin duda alguna, la preocupación explícita por la calidad, la productividad y los costos en todos los ámbitos de la economía internacional. Sin embargo, esta preocupación ha adquirido diferentes matices en función del sector de la economía en cuestión y del contexto nacional del que se trate.

En tanto que, por ejemplo, en los Estados Unidos existe una enorme preocupación por el desmesurado y galopante incremento en los costos de los servicios de salud, en los países latinoamericanos, donde el tradicional papel benefactor del Estado se encuentra en plena transición, se empieza a observar también una preocupación por los costos, si bien por una razón diferente. En el primer caso se habla con mayor frecuencia de “contención de costos”; en el segundo, de “productividad”.

En el caso de la calidad, la preocupación se ha hecho también muy evidente en el nivel internacional. Las razones también difieren en función de los diferentes contextos. En los países con alto grado de industrialización podría citarse la influencia de varios factores; educativos y culturales que facilitan la implementación de programas de teletrabajo con altos estándares de calidad. La propia preocupación por la contención de costos ha hecho notable la necesidad de proteger la calidad de los servicios. Pero, por otra parte, se ha aceptado que las estrategias para garantizar niveles adecuados de calidad, conducen hacia una mayor eficiencia y productividad, con lo cual se contribuye también, y de una manera mucho más racional, a la contención de los costos [12].

Después de dos décadas de lento crecimiento de la productividad en los países desarrollados, intentaron demostrar que esta aceleración se debía a las Tecnologías de la Información (TI). En general, la mayoría de estos trabajos toma como base la teoría económica, y en particular la función de producción, según la cual distintas combinaciones de *inputs* pueden utilizarse para producir un determinado nivel de *output*.

En este contexto, las TI son consideradas como un factor productivo más, siendo consideradas como un *input* más y por tanto susceptible de contribuir a la producción del *output*. La idea subyacente es que las TI pueden contemplarse como “tecnologías de propósito general” [13], esto es, tecnologías que pueden utilizarse en muy diversas nuevas aplicaciones, y en particular combinándolas con otras inversiones complementarias como nuevas estrategias, o nuevos procesos de negocio [14].

Por ejemplo, las Tecnologías de Información tienden a reducir los costes de comunicación en las organizaciones, lo que permitiría a las empresas acceder a sistemas organizativos menos centralizados donde trabajadores asumiesen mayores niveles de responsabilidad y libertad a la hora de tomar sus propias decisiones. Por otro lado las Tecnologías de Información permiten el traslado de sistemas ortodoxos de producción en masa, hacia sistemas de producción más flexibles, al posibilitar la existencia de grupos de trabajo autogestionados, mayores niveles de descentralización en la toma de decisiones, menores inventarios de trabajo en proceso, mayor capacidad de introducir cambios en las líneas de producción, etc.

Se ha comprobado en estudios a nivel mundial que el ahorro por espacio al implementar un programa de teletrabajo puede alcanzar hasta el 45%, esto según Sage [15]. Con esto se comprueba que el teletrabajo es una opción para el uso adecuado de los recursos empresariales. Ahora bien, por ejemplo, el 73% de las empresas españolas consideran que realizar trabajos en la oficina en lugar de aplicar una metodología de teletrabajo les aumenta los costes de producción [16]. Otros estudios reportan un incremento de un 35% de la productividad de las organizaciones que utilizan teletrabajo [17].

Teletrabajo Y Satisfacción Laboral

La satisfacción laboral es un aspecto que ha sido ampliamente estudiado desde que Hoppock [18], abarcando amplios grupos de población, desarrollara los primeros estudios sobre esta temática.

Locke [19], definió la satisfacción laboral como un “estado emocional positivo o placentero de la percepción subjetiva de las experiencias laborales del sujeto”. En general, las distintas definiciones de diferentes autores han aportado desde supuestos teóricos; no siempre coincidentes, la mezcla de una gran gama de variables que pueden intervenir en la satisfacción laboral de los colaboradores de las organizaciones.

En esa dirección también se ha subrayado que los modelos de actitud hacia el trabajo han servido a los *managers* para manipular las actitudes y a través de ellas la motivación y el desempeño con la finalidad de mejorar los resultados obtenidos por la organización, esto según Gallagher y Einhorn [20].

Estas características personales son las que acabarán determinando los umbrales personales de satisfacción e insatisfacción. Aspectos como la propia historia personal y profesional, la edad o el sexo, la formación, las aptitudes, la autoestima o el entorno cultural y socioeconómico, las necesidades y aspiraciones respecto a las áreas personal y laboral, son variables que van a ir delimitando las expectativas sobre el trabajo y el lugar de trabajo dentro del marco individual de los colaboradores de las organizaciones.

La satisfacción laboral ha sido estudiada en relación con diferentes variables en un intento de encontrar relaciones entre aquella y éstas. Diferentes estudios han hallado correlaciones positivas y significativas entre satisfacción laboral:

- Un buen estado de ánimo genera actitudes positivas en la vida laboral y privada.
- La insatisfacción laboral se correlaciona de forma negativa con alteraciones psicósomáticas diversas, como el estrés.
- Se han encontrado correlaciones positivas entre insatisfacción laboral con el ausentismo al centro de trabajo, rotación de personal, retrasos en las metas y objetivos de puesto.

El modelo planteado por Herzberg [21] señala que la satisfacción laboral sólo puede venir generada por los factores intrínsecos a los que Herzberg llamó “factores motivadores”, mientras que la insatisfacción laboral sería generada por los factores extrínsecos a los que Herzberg dio la denominación de “factores higiénicos”.

Tomando en cuenta los factores mencionados por Herzberg podemos decir que el Teletrabajo tiene un gran potencial para afectar de una manera positiva en la Satisfacción Laboral de los empleados siempre y cuando se aplique normas y controles adecuados en su implementación.

En relación a la satisfacción laboral el teletrabajo puede presentar un impacto abrumador, creando como consecuencia un personal altamente motivado y satisfecho emocionalmente. Un ejemplo es la investigación realizada por la Cámara de Comercio de Navarra, España, que arrojó como resultado que el 90% de los teletrabajadores se encuentran satisfechos o muy satisfechos. La valoración del funcionamiento del programa resultó satisfactoria o muy satisfactoria en el 100% de los encuestados [3].

Otros estudios internacionales que respaldan esta tendencia, consideran en un 28% al teletrabajo como una recompensa o un benéfico por sí mismo [22]. Asimismo, el 95% de los empresarios consideró que el teletrabajo tiene un alto impacto en la relación con sus colaboradores, según Lister & Harnish [17]. En esta última investigación se utilizó como medio de recolección de datos el American Community Survey (ACS), una encuesta a nivel nacional realizada anualmente

por la Oficina del Censo de EE.UU. Dicha encuesta utilizó una población de más de 65.000 teletrabajadores. El ACS se dividió en 5 ejes básicos de investigación: Preguntas de información básica, Consultas de información social, Interrogaciones de información económica, Consultas acerca de información financiera y Test psicológicos.

Perspectivas futuras del teletrabajo

Al desarrollar la investigación sobre el Teletrabajo y su efecto en la productividad empresarial y la satisfacción laboral de los colaboradores, desde una perspectiva de la literatura, florecen una serie de posibles proposiciones o hipótesis que incitan a ser tratadas con una profundidad mayor. Entre ellas se presenta por ejemplo la relación del Teletrabajo y el sedentarismo. Según la Organización Mundial de Salud (OMS) [23] “al menos un 60% de la población mundial no realiza la actividad física necesaria para obtener beneficios para la salud. Esto se debe en parte a la insuficiente participación en la actividad física durante el tiempo de ocio y a un aumento de los comportamientos sedentarios durante las actividades laborales y domésticas. El aumento del uso de los medios de transporte “pasivos” también ha reducido la actividad física”.

Además, se presenta la interrogante del impacto del Teletrabajo en relación a una alimentación más saludable de los teletrabajadores. Según la OMS el promedio medio de compras anuales de comida rápida por habitante aumentó de 26,61% a 32,76% en el último año [23].

Por otro lado, es importante investigar la afectación del teletrabajo en relación con los padecimientos crónicos de la salud, males que pueden ser causados por la postura corporal inadecuada durante largas jornadas laborales, como lumbalgia, síndrome del túnel carpiano, entre otros males.

Otro tema que sería de vital importancia investigar sería la afectación psico-educativa que se presenta en un niño cuyo padre realiza sus labores por medio del teletrabajo, siendo posible comprobar que el teletrabajo no solo beneficia al teletrabajador sino también a las personas que conviven con él.

Por otra parte sería interesante indagar la afectación del teletrabajo sobre la tasa de divorcios, que en la actualidad según los datos del Tribunal Supremo de Elecciones de Costa Rica, en la última década se han inscrito 174.389 matrimonios civiles y 66.927 católicos, mientras los divorcios en ese periodo ascendieron a 102.685. Es decir alrededor del 42,55% de los matrimonios de la última década se han divorciado.

En conclusión, el teletrabajo es efectivo con respecto a la satisfacción laboral, siempre y cuando el teletrabajador sienta un compromiso hacia su organización; es decir que se sienta parte de la empresa. También pareciera que el teletrabajo afecta positivamente la productividad de los teletrabajadores. Dichas organizaciones, que aplican programas de teletrabajo, deben tener normas éticas y de calidad adecuadas para ejercer un control maduro sobre los teletrabajadores. Pese a lo anterior, los estudios consultados no son concluyentes, por lo que este es un campo de estudio en pleno desarrollo y con enorme potencial de investigación.

Referencias

- [1] J. M. Nilles, *Managing Telework: Strategies for Managing the Virtual Workforce*. New York: Wiley. 1998.
- [2] J. C. Dvorak, & N. Anis, *Dvorak's Inside Track to DOS and PC Performance*. McGraw-Hill. 1992.
- [3] C. Camara, *El teletrabajo: un indicador de cambio en el mercado de trabajo*. Universidad Complutense de Madrid. 2008.
- [4] F. Ortiz Chaparro, Teletrabajo y nuevas oportunidades de empleo. El mercado de trabajo en España II. *Revista Nro. 3 del Instituto de Estudios Económicos, Madrid*, p. 109. 1999.
- [5] E. Catillo Builes, *Teletrabajo, una opción de productividad y eficiencia*. Revista Virtual Universidad Católica del Norte. 2010.
- [6] Quesnay, Dialogues sur le commerce et les travaux des artisans. *Physicrates*. 1846.
- [7] RAE. (30 de 01 de 2014). *Diccionario de la RAE*. Obtenido de <http://lema.rae.es/drae/?val=productividad>
- [8] A. Smith. (1776). *The Wealth of Nations*.
- [9] M. Castells, La sociedad red. *La era de la información, vol. 1. Madrid: Alianza*. 1997.
- [10] I. Vilaseca, & J. Requena, El teletreball a Catalunya: Conceptes, tipologies, mètriques i. *Barcelona: Generalitat de Catalunya, Consell de Treball, Econòmic i Social de Catalunya*. 2004.
- [11] M. Castells, (2001). *La Galaxia Internet*. Barcelona: Plaza y Janés.
- [12] E. Ruelas, Calidad, productividad y costos. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, pag. 298-304. 1993.
- [13] T. Malone, Is Empowerment Just a Fad? *Sloan Management Review*, vol.38, núm. 2, invierno, pág. 53-64. 1997.
- [14] P. F. Drucker, The Coming of the New Organization. *Harvard Business Review*, vol. 66, núm. 1, Enero-Febrero, pág. 45-53. 1988.
- [15] Blog Sage Experience. (18 de 12 de 2010). *El teletrabajo: tan positivo y tan peligroso*. Obtenido de <http://blog.sage.es/economia-empresa/el-teletrabajo-tan-positivo-y-tan-peligroso/>
- [16] Open Mart. (2010). *El teletrabajo en España está por debajo de la media en la UE*. Obtenido de <http://open-mart.es/teletrabajoeuropa/>
- [17] K. Lister, & T. Harnish, The State of Telework in the U.S. How Individuals, Business, and Government Benefit. Telework Research Network. 2011.
- [18] R. Hoppock, Job satisfaction. New York, Harper & Row. 1935.
- [19] E. Locke, What is job satisfaction? *Organizational Behavior and*, Vol. 4. 1969.
- [20] W. Gallagher, Motivation Theory and Job Design. *Journal of Business*, Vol. 49. 1976.
- [21] F. Herzberg, *Work and the nature of man*. Oxford, England: World. 1966.
- [22] The WorldatWork. (2011). Total Rewards Model. *Journal, and Compensation Conundrum*.
- [23] Organización Mundial de la Salud. (2014). Guerra a la comida rápida: el plan de la OMS para prevenir la obesidad.
- [24] Organización Mundial de la Salud. (2014). Inactividad física: un problema de salud pública mundial.

Developing a cloud based system for bird nests environment and behavior data monitoring and analysis, following the Internet of Things paradigm

Desarrollo de un sistema basado en la nube
para el monitoreo de un nido de aves, su
ambiente y comportamiento, siguiendo el
paradigma del Internet de las Cosas

Alexis Gamboa-Soto¹

Gamboa-Soto, A. Developing a cloud based system for bird nests environment and behavior data monitoring and analysis, following the Internet of Things paradigm. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 32-44.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5472>



¹ Computer engineer. Email: agamboa@tum.de München, Germany Master of Data Analysis and Engineering at the Technical University of Munich. Germany.

Keywords

NodeJS; IoT; Cloud Computing; API; Bird Nests Monitoring; animal behavior; environment monitoring; smart environments; wren bird; Artificial Intelligence.

Abstract

This work presents the design and development of a cloud based system prototype for monitoring birds in the wild, following the Internet of Things paradigm principles and tendencies. The behavior and population of birds represent an important metric to measure the health of an ecosystem, becoming a very important tool to study the climate change influence on the environment. The system is built using NodeJs for the backend and a Cloud Computing Platform as a Service technology is utilized for the deployment to enhance the accessibility and scalability, while reducing operation and deployment costs. For this project, it is assumed the challenge of deploying the prototype without any monetary investment. The research main purpose is to set a real time bird nest monitoring web system, for environment and animal behavior data collection and analysis, designed to define a communication standard for the integration from custom made devices utilized to collect the data, allowing for a better integration of different contraptions built to obtain wildlife data with minimum interference and giving enough dynamism with stateless communication protocols to handle new data types from a wide variety of sensors. The standardization and centralization aims to solve the current issue of remotely collecting data from monitoring devices and the ability to share raw data among wildlife researchers, offering worldwide availability through a web portal for the users to access the collected data.

Palabras clave

NodeJS; Internet de las cosas; Computación en la nube; interfaz de programación de aplicaciones (API); monitoreo de vida salvaje; comportamiento animal; entornos inteligentes; reyezuelo; inteligencia artificial.

Resumen

Este trabajo presenta el diseño y desarrollo de un prototipo basado en la nube para monitorear aves en su entorno natural, siguiendo los principios y tendencias del paradigma de Internet de las Cosas. El comportamiento y las poblaciones de aves representan una útil métrica para medir la salud de un ecosistema, volviéndose así en una importante herramienta para estudiar las repercusiones del cambio climático en el medio ambiente. El sistema se construye utilizando NodeJs para el backend y se despliega utilizando una plataforma de computación en la nube como servicio a fin de mejorar la accesibilidad y la escalabilidad, mientras se reducen los costos de implementación y operación. Para este proyecto, se asume el reto de cero inversión en la implementación del prototipo. El objetivo principal de la investigación es establecer un sistema web de monitoreo de nidos de aves en tiempo real, para recopilar y analizar datos sobre el comportamiento animal y ambiental, diseñado para definir un estándar de comunicación para la integración de dispositivos personalizados utilizados para recopilar los datos, permitiendo una mejor integración de diferentes artilugios contruidos para obtener datos de vida salvaje con la mínima interferencia y dotar de suficiente dinamismo a los protocolos de comunicación para manejar nuevos tipos de datos obtenidos de una amplia variedad de sensores. La estandarización y centralización tiene como objetivo resolver el problema actual de recopilación remota de datos de dispositivos de monitoreo y la capacidad de compartir datos entre investigadores de vida salvaje, ofreciendo disponibilidad mundial a través de un portal web para que los usuarios accedan a los las lecturas recolectadas en distintos entornos.

Introduction

Climate change becomes more relevant with the increasing global warming effect accelerating during the last decades [1], and the research of its repercussions on the ecosystems worldwide is vital to get a better understanding of the consequences and find solutions to help mitigate the current and projected harm on the environment. Birds in specific, are vital for the ecosystems and for their migratory nature, serve as a very good metric to measure the health of different ecosystems, like the impact from the climate change in the populations [2] and the relationship between the birds behavior and their vital role within the ecosystems [3]. Monitoring wildlife and its interaction with a given environment, grants the researchers valuable information to find correlations between environment, the animal behavior and their ecosystem.

Given the importance of data acquisition of natural habitats and animal populations, the mechatronic department of the cooperative University of Baden Wurttemberg Karlsruhe (DHBW Karlsruhe) developed different monitoring devices, but the external communication and the management of data limited the value that all the projects could have given to the researchers biologists -specifically birds research for this project-, and the lack of a standardize communication between devices disable any integration with old systems.

The IoT (Internet of Things) paradigm revolves around connectivity and how new smaller and simpler devices, can connect to a network and work simultaneously for a common purpose, generating each time more data about our environment and creating a new way to relate collected digital data with the surroundings, discovering useful information and patterns and allowing for a better digital interpretation of the physical world. On the challenges met by the researchers working on the monitoring devices, the IoT paradigm presents a structure for a platform where devices can communicate on one common language and data can be collected, analyzed and published under one standard, while keeping the flexibility for new devices and data structures to be integrated into the whole platform ecosystem. A prototype for this cloud base system for the integration of sensing devices, data storage and data presentation for the real time monitoring of bird nests is developed on this research, and its name is Cloud Nest.

Related Work

Implementations to utilize electronic sensors to monitor animals, collect and analyze data have been implemented on different scenarios, from poultry farm monitoring using Internet of Things and Wireless Sensor Networks [4], to wildlife image processing to automatically identify a specific species from a monitoring network [5]. On this research, the main scope is over data acquisition and sharing potential, by offering an open platform for researchers to upload, store and share data collected from their different studies. The Cloud Nest platform is specifically designed for birds monitoring, but might as well be expanded to include any other use case for animal monitoring. The idea of creating platform is to create a common ground for researchers to implement different analysis tools over the data, giving them the opportunity to easily reutilize historic records and incorporate other researchers data. A secondary attractive aspect of the project presented on this document, consist on develop a working prototype being able to be deployed and tested with no monetary investment.

DHBW Mechatronic department projects background

The Mechatronic department of the DHBW Karlsruhe have developed different monitoring devices for birds nests, among other data collecting devices for animal research, e.g. a squirrel feeder which takes samples and collect data about the animal and its surroundings. The collected data from the animal behavior and its environment, which involves animal pictures and video, environment temperature, light levels, animal weight, pressure and humidity levels, are very important for biologist research, and automatizing the sample data collection turns this monitoring devices, alongside other advantages like minimizing the human intervention into the animal environment, which can directly interfere with the metrics and the animal behavior, and the capacity to register anomalies in real time on a continue monitoring system, turns these devices into a powerful tool for the biologists and their research, since this could cover the Data Collection, Data Storage and the platform for the Data Analysis required for an animal monitoring plan [6].

One of the most recent project developed by the mechatronics department of the DHBW for this purpose is named "Control and registration of different parameters in a nesting box for birds" (*"Überwachung und Registrierung verschiedener Parameter in einem Nistkasten für Singvögel"*). It was developed by the students Florian Schopp and Steven Watterott on 2013 and was supervised by the professor Dr. Thomas Haalboom. The student project consists on a device, able to measure the birds weight, nest temperature, pressure levels, light levels, besides taking pictures and a temperature array of the interior of the nest, and save this data on a SD-Card or send them via bluetooth to be accessible for the end user. This project inspired the origin of the research and helped to shape different aspects, like communication constraints of the data collecting devices, the different hardware components available for device developers, the type of data and connectivity of the devices, the automatization of the systems to required the less human interaction and finally, the integration challenges and problems to use the appliance as part of a network. This problems can be solved on the IoT paradigm, term first coined by Kevin Ashton in 1999 in the context of supply chain management [7], which main goal is making a computer sense information without the aid of human intervention [8].

The project was intended to be used by the ornithologist Dr. Stefan Bosch, who equipped bird nests with IP cameras to make observations of birds and its behavior and required a more complete system to monitor the nests, nevertheless, it was tested and used just as a prototype, the data accessibility and system difficult operation, limited its use, and Dr. Stefan Bosch was not able to incorporate it on his monitored nests. This is not the first project which have the same ending, different past devices developed to monitor the nests were never incorporated into Dr. Stefan research. This scenario shows the importance of the automatization of the data collection process and the accessibility of the data, where a cloud centric application following the IoT paradigm structure can give collection process the automatization and the data the worldwide exposition [8] required to solve both issues.

General System Description

System design and description

The system, named Cloud Nest, is an online platform that uses a standard for the communication and for the data structures, which can be as complete to be used by different systems and devices, but as flexible to let different type of data to be sent and received, and can handle and display the data from any client with internet connection. The needed standard can be found on the representational state transfer (REST) software architectural style, under the HTTP protocol for the communication and JSON as an open format model for the data. This system designed to

standardize the transferred data, solves the problem of handling different data sets representing different measures, and the integration of different devices. This measure leads to an increasing potential with each device that joins the system and offers the researchers a tool to exploit all the generated data with no need to use new different applications for each new device, while gives them a remote access to analyze and manage the data collected from devices worldwide. The implemented system prototype consist on two main modules, one oriented to end-users, researchers and system managers (Web-application), and the other one to the device and hardware developers (Web-Service).

The backend, programed in NodeJs, backups the web-application and the external services, both through a REST-ful API. The authentication of the application is implemented by user sessions, stored in the database, and it is required to make any transaction with the API. This backend will handle all the incoming traffic from the devices, which can scale horizontally or vertically to support a heavier load of data, task that can be done within minutes thanks to its cloud service structure. All the model interactions form the devices and sensors are made under the API service of the application. The communication with the devices works under the REST architecture, selected by its potential on stateless (no sessions required) communication [9], and the authentication will work under a device key, which is a value stored in the Database to authenticate the device and allow the access just for the device and their sensors data.

The front-end is a minimalist web-application created with Angular framework, following Google Material Design pattern and a hierarchy Drill-Down user interface for the user interaction and navigation through the assets of the system.

Features

The main capabilities of the system are summarize on five features:

- Register and storage of Device reading data: Automated registry of data on the system from the sensor to the data base.
- Access and management of the collected data: Access to all the collected data registered from the devices sent data.
- Users, devices and sensors management: Capability to add, delete an edit users, devices and sensors in the system.
- Devices and sensors definition and configuration management: Capability to set individual attributes to each device and sensor, a long as being able to set the different configurations own attributes.
- Live view of devices readings: Display of live data from the selected devices as they are registered in the system.

More details and technical documentation can be found on the project repository: <https://github.com/agamboa23/CloudNest>

System Structure and Architecture Design

Architecture of the Model

The prototype consist on a client-server application. The server side of the system runs entirely on cloud technologies. For the application server, Heroku will be the cloud service running a NodeJs server and hosting the web application. The storage are also cloud provided. The

devices will communicate directly with the NodeJs server and the end user will use a web application which will be powered by the same NodeJs server. Both, system administrator and researchers roles, are handle by the back-office running on the same web application.

Backend structure

The backend of the system (see figure 1) is configured over three different cloud services, one for the application and two for the storage. Heroku is a cloud PaaS (Platform as Services) where the NodeJs server of the system prototype runs. The two services of storage are MongoLab -now called mLab- and Google Drive. Google Drive will store all the media and Blobs (Binary large objects) of the system, while mLab (Mongo Lab) will be the main data-base of the system. All the business logic data, the readings meta-data and the primitive type readings data will be store on mLab. The device interacts through the API service of cloudNest for data posting and configuration setting. When it has to upload a large file, like a media file, it has to post the meta-data of the file over the API service. The api will answer with one URI, already authenticated with he Google Drive service and with the metadata set, ready to upload. The upload then is made directly with the Google Drive Service as a Resumable Upload. The device then handles by its own the way it is going to upload the file, by chunks or the whole file. The URI is unique to the meta-data related to the file. This way, the prototype does not have to handle all the blobs uploads and downloads directly, which would consume most of the system resources in the case of handle them. This is a workaround to keep the costs of deployment at \$0, without the common restrictions from services like Amazon Web Services, where the free tier expires within 12 months and a valid credit card has to be registered. Nevertheless, on a production environment, it is strongly recommended to use a dedicated service for the storage, since Google Drive have limit on reads and post on their services which restrict scalability.

The whole system uses a framework named SailsJs. This framework emulates the Model View Controller pattern, like Ruby on Rails, but also provide different features to better suit Cloud Nest applications requirements, like data-driven APIs with a scalable, service-oriented architecture. The Front End of the system is powered by the backend API built from the SailsJs framework.

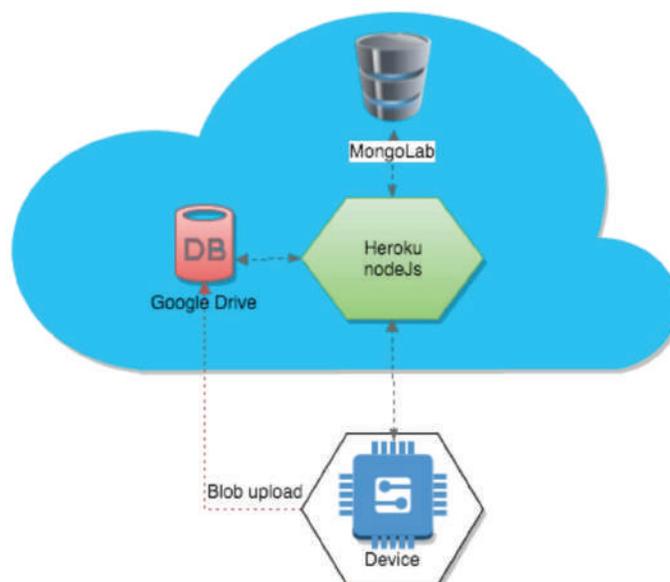


Figure 1. A model for the basic structure of the system.

Data Model

Mongo is used as the main database of the system, and Google Drive is limited for the storage of media and big files. Mongo is a documental, NoSql, scheme-less data base. The system is really flexible about the data models, but some of the critic attributes have to be set correctly to be successfully stored on the system, as the required attributes or the types of some specific attributes. The Models with the most flexibility are the configuration and the ModuleDataStructure collections, which allows any new attribute. The data model has a strong hierarchy pattern, but it allows the system to support different instances of the system independently from each other, using the organization as the root, which makes possible to offer the system like an Software as a Service (SaaS) solution. The navigation for the user interface is required to have a flexible and user-friendly drill-down pattern, so it can become intuitive and easy to use and understand for the end user.

Each entity is represented by a collection on the mongo data base. Here is a list with a description for each of the entities of the data model (see figure 2):

Organization: Symbolize an organization or institution, it is the highest hierarchy concept over the model is constructed. This approach allows a perspective of the system as a Saas (Software as a Service), allowing different organizations to use the same platform.

User: For every organization, a group of users are associated with it. Every organization has an unique set of users.

Region: Represents a geographic region. Each organization is related with one or more regions. Since the system is oriented to biology research, the regions are not constraint within political borders, since political and ecological borders hardly coincide. The region is highly abstract.

Location: Represents an specific location within a region. Each Region is related with one or more locations.

Spot: Represents an specific Spot within a location, usually related with a nest. Each Location is related with one or more spots. The Spot is more accurate and represents a geographical point, not an area like the last two.

Device: Represents an specific Device. A spot can be related with one or more devices.

Module: Represents a sensor or a group of electronic components within a Device designated to get one specific data measurement or metric. A Device can be related with one or more modules. The module must be based on the most atomic data reading unit the device get from the measurer module, regardless of the electronic components needed to collect it.

ModuleData: The measurements data or generated data is the representation of the modules sensors readings data sent from the device to the system.

Configuration:

Device Configuration: Each device has an individual configuration profile. The attributes can change from device to device.

Module Configuration: Each module within a device has an individual configuration profile. The attributes can change from module to module.

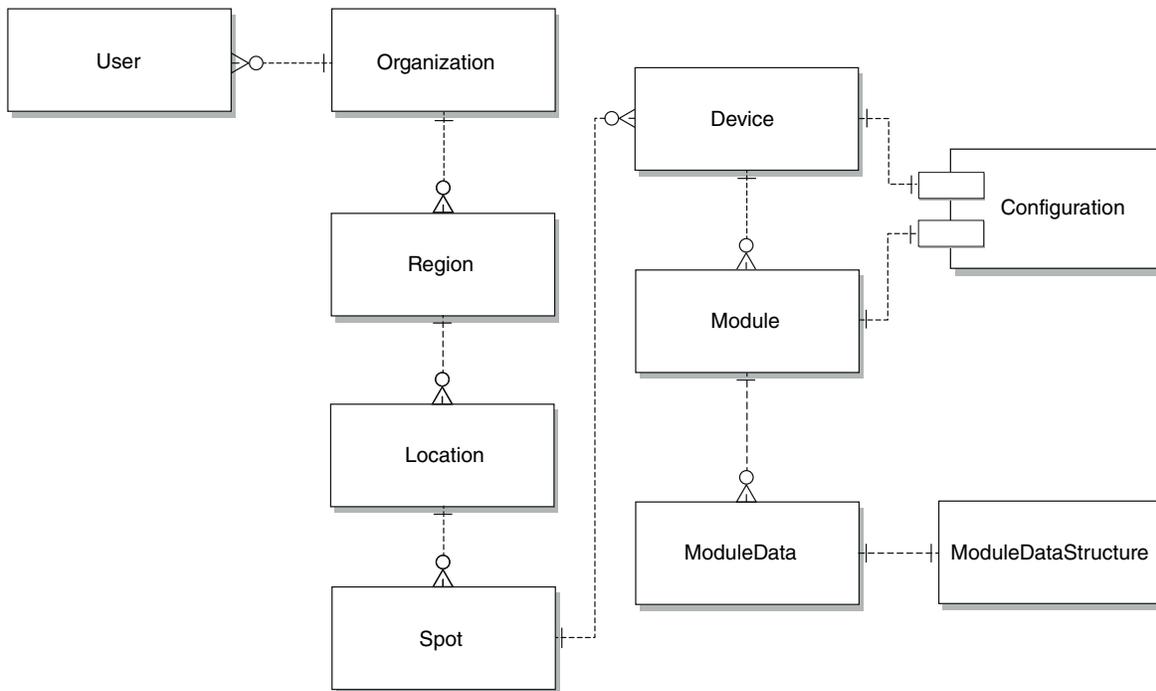


Figure 2. Domain Model.

IoT paradigm influence and technical decisions justifications

Cloud Nest Architecture

The technologies elected for the architecture and design of the system are based on the IoT paradigm and the proposed technologies are analyze and selected to better suit the requirements. One of the most difficult decision is how to base the communication and the architecture of the system. For the architecture there are two big choices, a first generation standard represented by Web Service Definition Language (WSDL), Simple Object Access Protocol (SOAP) and Universal Description, Discovery and Integration (UDDI) or a newer Representational State Transfer (REST) architecture. The software community tend to find REST architecture not only easier to learn and develop, but also more suitable to connect smart things, which is an elemental principles of the IoT paradigm, as research results have shown [10]. There are already different successful platforms developed for IoT applications using a REST architecture, as Sensor Network (<https://sensor.network.com/REST/login.jsp>) which is a global exchange for sensor information, or Pachtube (<https://www.pachtube.com>), now named “xively”, which REST architecture implementation evidences its suitability for an IoT platform [11].

Since there is to much flexibility on the REST architecture, the general structure of the service of Cloud Nest was developed using this protocol, keeping the communication stateless and the messages lightweight, two of REST’s strongest points. For similar scenarios where standardized communication among web components is required, big software companies support REST as a great alternative[12].

Cloud Nest DataBase

An IoT platform is planned to collect, store and transform a huge amount of data, and the scalability of the system is vital for its potential. Traditional databases, like SQL relational Data Bases, use a scheme for the data model and making multiple writes at the same set of data is not allowed, which causes a bottleneck when millions of registers need to be stored in the database. The SQL databases tend to have consistency at all time, which requires to block a table when data is written into it, and it becomes a problem when there are thousands of devices sending readings each second to be stored in the data base, limiting the concurrency. Some NoSQL databases, like the documental database MongoDB, have the flexibility to allow multiple writing operations simultaneously and work with a more granular locking system, on the premise that the consistency is not met at all time, but it temporary arrives. It may be a problem for critical systems like an internet banking application, but for an IoT platform with millions of register, to false-read one of the registers, have a minimum impact over the system and the results. The all-time consistency is a price to pay for the advantages of the NoSQL database, like its high speed access to mass data. One example is MongoDB, which can outperform MySQL by a factor of 10 accessing mass data sets that exceeds 50 GB [13].

For Cloud Nest, MongoDB was elected. It is scheme-less, and the attributes of the collections can change. It is one of the biggest advantages of this database, since the sensors and devices will use different data types and different attributes.

Cloud Nest Runtime and server engine

Traditional web server applications made in Java or .NET Core are well built for applications which requires heavy processing for the engines behind Java or C# languages, which can easily outperform javascript ones. Node.js is a JavaScript runtime built on Chrome's V8 JavaScript engine, this is why NodeJS is not ideal for heavy data processing but Node.js uses an event-driven, non-blocking Input/Output (I/O) lightweight and efficient model, which makes it a great choice for request handling and transferring data. The asynchronous event driven I/O feature, helps NodeJS with concurrent request handling, that is the reason why NodeJS outperform traditional Java or .Net web services at requests per second [14] and suits it better to handle multiple requests from a high amount of devices concurrently. NodeJS have other different advantages, like simplicity, big community of developers, which represent big amount of support and documentation, becoming a viable technology to be applied on Cloud Nest.

Cloud Nest Infrastructure

One of the challenges of the prototype was to deploy it without having any own computing infrastructure to install and run the system, for which using cloud services was not only a design decision from the IoT paradigm recommendations perspective, but was also an alternative to deploy an online prototype without the hardware infrastructure. Other of the advantages of using a cloud architecture is the deployment time, since all the environment is already set and the deployment consist on the environment configuration and upload of the system source code.

The cloud Infrastructure as a Service perspective is built around the configuration over the development of the infrastructure and the environment, simplifying the deployment and management of a whole platform, as shown on the figures from Heroku (figure 3), where all the tasks required to set up an infrastructure is abstracted into a service which only needs to be configure and managed. Heroku was selected as the cloud service to host Cloud Nest for its simplicity and low requirements. For storage, mLab, a cloud storage service for MongoDB, and Google drive, were elected. MLab offers a 500 MB storage free package, for all the business and collected data for the system, while Google Drive will handle all the media and large files, with a free tier limit of 10 Gigabytes.

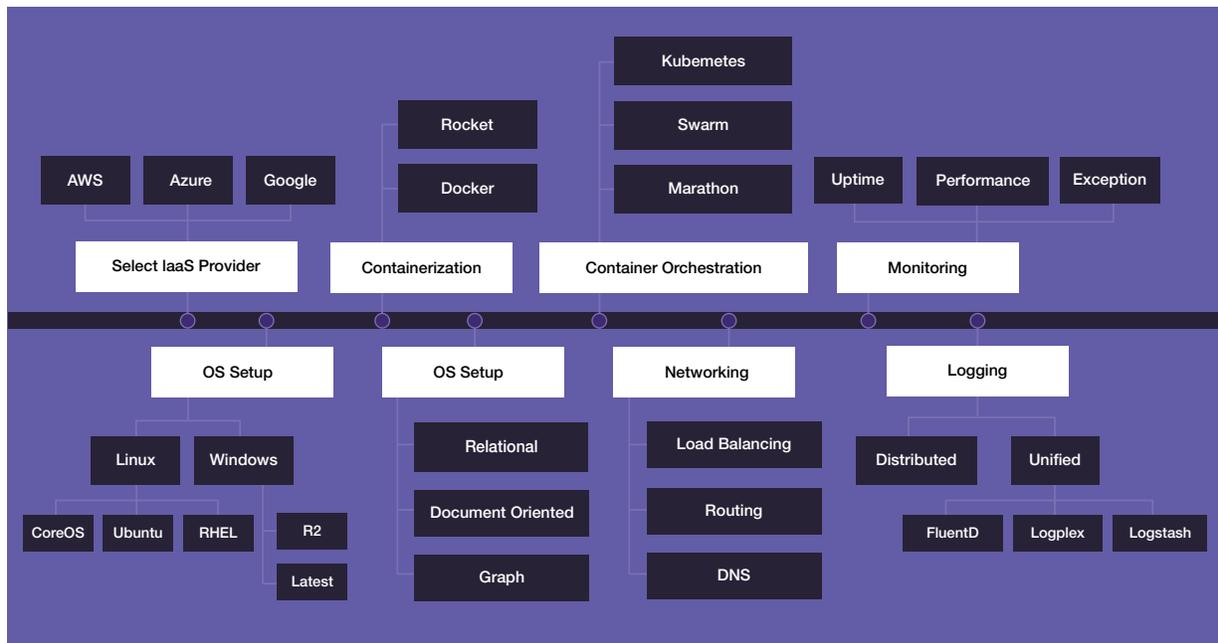


Figure 3. Structure of the Heroku service. Source: extracted from [15]

It is important to highlight that the increase of resources needed on an eventual increase of the active users of the system, have to be backed up by a payment proportional with the new resources required. Cloud services costs are based on the resources demanded.

Prototype and results

Deployment of the prototype

The system was deployed on a Heroku instance (a “dynamo”) and it is being used in the cooperative university of Baden-Wurttemberg as a prototype for further monitoring systems development. The repository of the system, alongside the API reference of CloudNest, can be both found in the following link: <https://github.com/agamboa23/CloudNest>. Some examples to post data are provided on the repository. The system is currently live on: <https://cloudnest.herokuapp.com/>. The deployment was successful. Data is successfully posted and retrieved from the device API web-services using the given token as identification, and the users can log in the web application and find all the assets related to their organization. A main administrator user can access the backend to handle new users and new organizations, which can work completely independently from each other. Data was posted from a raspberry pi running the data posting sample written on the programming language C available in the repository.

The web application allows the user to register organizations, locations, spots, devices and custom configuration for any device or module (see figure 4). An example for a registered spot with its corresponding geographic location and a registered device can be found on figure 5. For each device, a custom configuration can be set, allowing for custom data types to be stored and displayed on the system. Time series data is shown on a chart (figure 5), if the data type is not recognized, the raw data will be displayed.

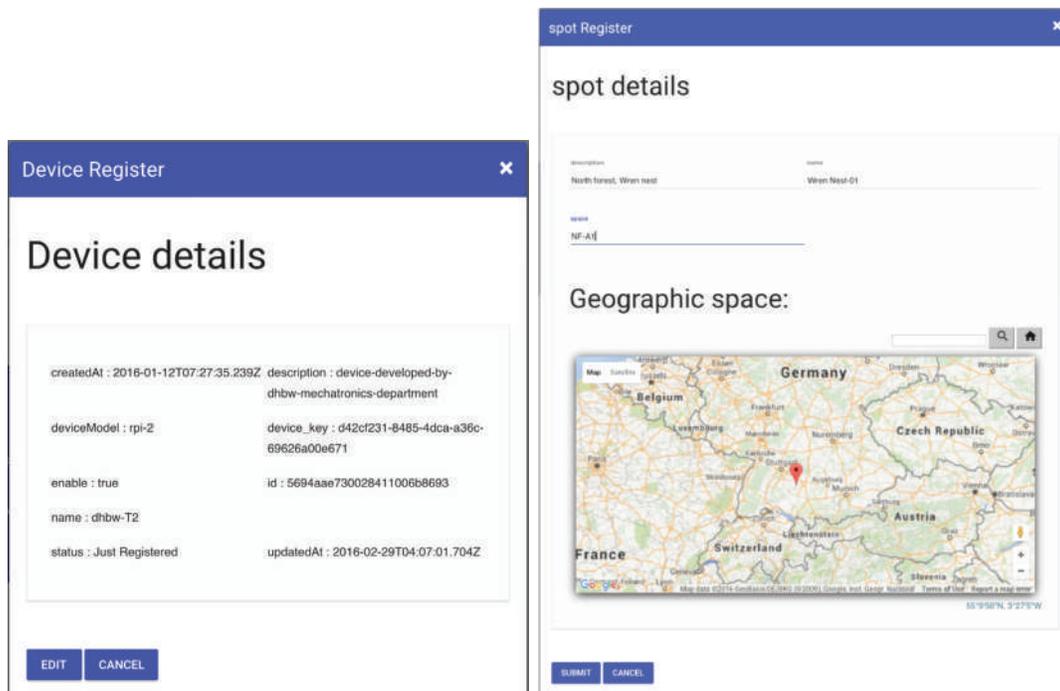


Figure 4. Examples of a registered spot and device on the system.

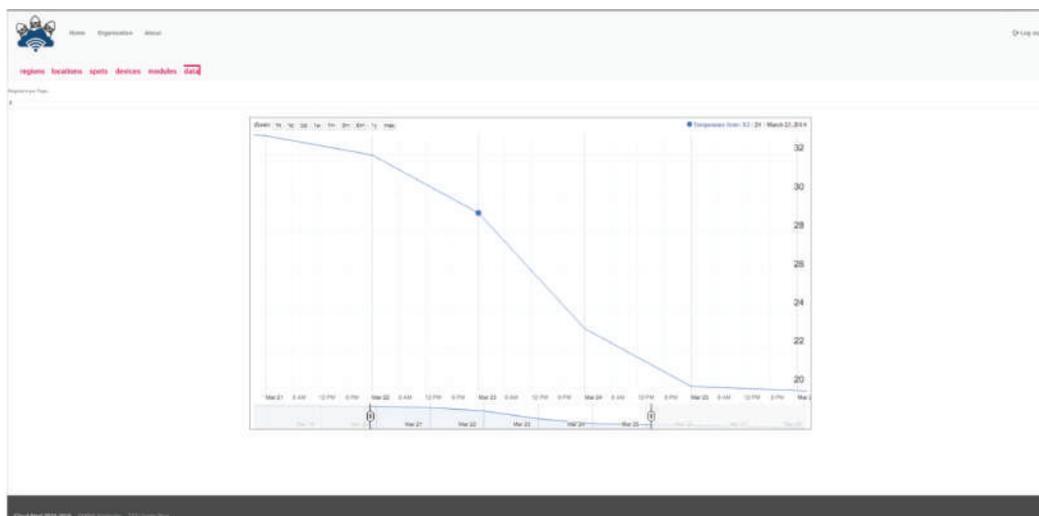


Figure 5. Example of a chart displaying readings from a module.

There were some aspects that could not be completed in the system. One, is the live-streaming of video, alongside the web-socket connection of the system to sustain the live-data view from the system. User is required to manually interact with the system to get the last stored data. Another aspect which was not completed were the users policies and users permissions, since for the moment, any validated user of the system, has permissions to run any query and access any web method of the API. Other than this issues, all the other features were successfully developed and deployed. Any device capable of making a HTTP request over the internet is able to post and read data form the system, once it is registered, and any user with a browser and internet connection can access the web application to manage and access the system remotely.

Conclusions and further work

Further work

Cloud Nest is just a functional prototype, it does not comply with the software quality requirements needed for a production system. It may present important bugs and need to be tested and maintained for its good operation. The live-stream modules need to be incorporated to the server side and the web socket need to be enabled for the web application to comply with the live-stream feature. The cloud services elected may not be the best to host the application depending on the needed scale, since Amazon web services could offer a better price package for higher resource requirements, it all depends on the budget and estimated resource usage. For a production system, a new process should be made to decide the best services to host the platform, considering the new variables of budget and planned users. The Module Data Readings should be redesign as time-series to have a better management of the readings and make it more suitable for analysis. An ETL (Extract, transform and load) module have to be integrated to the design of the system, since it is necessary for more complicated queries and data analysis. For the communication protocol, HTTP was selected, nevertheless, there are different benchmarks that show that different protocols to communicate the devices may be more efficient for an IoT platform, like the CoAP, an Internet Engineering Task Force (IETF) protocol providing a Low-power and Lossy Network (LLNs) with a RESTful architecture, which represent advantages for power consumption and performance over HTTP [16].

For the User-interface, a Tree map UI element could be more attractive and more easy for the user to interact with, instead of drilling down through a master-detail model, giving a better general perspective of all the assets of the system.

Conclusion

Cloud Nest is a functional prototype, free of deployment and testing costs, which proves that when building a cloud based platform to monitor and collect data of animals environments, like birds nest, an IoT platform running on cloud services and built using modern available technologies, is a suitable solution. Cloud Nest complies the requirements for an animal monitoring data collection system, allowing for real time and historical data access, measurement devices integration and remote monitoring of the studied environment. Cloud Nest solves the data integration problem setting a standard for the communication, based on the IoT paradigm, establishing HTTP as protocol and JSON as data structures to send and receive data using a REST architecture, enabling further monitoring devices to become part of the system and not leaving old devices obsoletes, centralizing all the collected data and giving the end user, like the biology researchers, an user friendly platform to analyze and access the monitoring data remotely from any web browser, without any installation required.

Acknowledgment

I would like to thank professors Thomas Haalboom from the DHBW Karlsruhe and Cesar Garita from the ITCR for all the support before, during and after the whole research, making possible to accomplish the development of the Cloud Nest prototype. I would also like to thank the university ITCR and the Baden Wurttemberg *Stiftung* for granting the financial support for the research, and finally I would to thank the DHBW Karlsruhe for allowing me to work with them in the project, giving me access to all the resources required for its development.

References

- [1] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- [2] Both, C., Bouwhuis, S., Lessells, C. M., & Visser, M. E. (2006). Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature*, 441(7089), 81.
- [3] Pejchar, L., Pringle, R. M., Ranganathan, J., Zook, J. R., Duran, G., Oviedo, F., & Daily, G. C. (2008). Birds as agents of seed dispersal in a human-dominated landscape in southern Costa Rica. *Biological Conservation*, 141(2), 536-544.
- [4] Mahale, R. B., & Sonavane, S. S. (2016). Smart Poultry Farm Monitoring Using IOT and Wireless Sensor Networks. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 7(3).
- [5] Elias, A. R., Golubovic, N., Krintz, C., & Wolski, R. (2017, April). Where's the Bear?-Automating Wildlife Image Processing Using IoT and Edge Cloud Systems. In *Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI), 2017 IEEE/ACM Second International Conference on* (pp. 247-258). IEEE.
- [6] Morrison, M. L. (2013). *Wildlife restoration: techniques for habitat analysis and animal monitoring* (Vol. 1). Island Press.
- [7] Ashton, K. (2009). RFID Journal, 1. *That 'Internet of Things' Thing*. Recovered from <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- [8] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. & Palaniswami, M. (September 2013). *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions* *Future Generation Computer Systems*, 29, 1645-1660. doi: 10.1016/j.future.2013.01.010
- [9] Fielding, R. T. (2000). *Architectural styles and the design of network-based software architectures* (Doctoral dissertation, University of California, Irvine).
- [10] Guinard, D., Ion, I., & Mayer, S. (2011, December). *In search of an internet of things service architecture: REST or WS-*? A developers' perspective*. In *International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking, and Services* (pp. 326-337). Springer Berlin Heidelberg.
- [11] Zhang, X., Wen, Z., Wu, Y., & Zou, J. (2011, May). *The implementation and application of the internet of things platform based on the rest architecture*. In *Business Management and Electronic Information (BMEI), 2011 International Conference on* (Vol. 2, pp. 43-45). IEEE.
- [12] Rodriguez, A. (2015). *Restful web services: The basics*. IBM developerWorks. Recovered from <https://www.ibm.com/developerworks/library/ws-restful/index.html>
- [13] Tauro, C. J., Aravindh, S., & Shreeharsha, A. B. (2012). *Comparative study of the new generation, agile, scalable, high performance NOSQL databases*. *International Journal of Computer Applications*, 48(20), 1-4.
- [14] Doglio, F. (2015). *Pro REST API Development with Node.js*. Apress. Recovered from <https://www.apress.com/gp/book/9781484209172#otherversion=9781484209189>
- [15] Rockford, M (2017). *8 Reasons This Salesforce Developer Loves Heroku*. Recovered from <https://medium.com/@GoRadialspark/8-reasons-this-salesforce-developer-loves-heroku-60159426d167>
- [16] Colitti, W., Steenhaut, K., & De Caro, N. (2011). *Integrating wireless sensor networks with the web. Extending the Internet to Low power and Lossy Networks* (IP+ SN 2011).

Estudio de la complejidad del Español para la simplificación textual

Randall Araya-Camposa¹, Paula Estrella², José Arguedas-Castillo³,
Walter Alvarez-Grijalba⁴

Araya-Camposa, R; Estrella, P; Arguedas-Castillo, J;
Alvarez-Grijalba, W. Estudio de la complejidad del Español
para la simplificación textual. *Tecnología en Marcha*.
Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 45-63.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5478>



- 1 Escuela de Ingeniería en Computación. Centro Académico de Alajuela. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Alajuela, Costa Rica. raraya@ic-itcr.ac.cr
- 2 Facultad de Lenguas y FaMAF. Universidad Nacional de Córdoba Córdoba, Argentina. pestrella@famaf.unc.edu.ar
- 3 Escuela de Ingeniería en Computación. Centro Académico de Alajuela. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica. joarguedas@ic-itcr.ac.cr
- 4 Escuela de Ingeniería en Computación. Centro Académico de Alajuela. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica. walvarez@ic-itcr.ac.cr

Palabras claves

Lectorabilidad; métricas de complejidad; simplificación textual; evaluación.

Resumen

La mayoría de los trabajos en el área de la simplificación textual se realizan sobre el idioma inglés por contar con más recursos lingüísticos y sobre el género periodístico. Sin embargo, por nuestro contexto, en este trabajo nos concentramos en estudiar y automatizar las métricas existentes para medir complejidad léxica para el español, como paso previo a la identificación de frases complejas y su subsiguiente simplificación. Otro aspecto novedoso de este trabajo es la utilización de corpus relacionados a los derechos humanos, concretamente de la Organización para las Naciones Unidas y del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados. Los aportes más significativos son: la creación de una herramienta de código abierto, que genera un informe sobre la complejidad de un texto dado con el fin de dar soporte a quien esté interesado en simplificar ese texto, y la propuesta de una nueva métrica para medir la complejidad de manera multifacética. Los resultados obtenidos en los distintos experimentos realizados son prometedores y en muchos casos confirman las hipótesis planteadas.

Introducción

El décimo Objetivo de Desarrollo Sustentable de la Organización de las Naciones Unidas (ONU o UN por sus siglas en inglés) es *Reducir inequidades*⁵. Aunque parezca tan ajeno a nosotros o tan ambicioso, este objetivo incluye aspectos de lo cotidiano, como por ejemplo el acceso a la información, el cual es un derecho humano básico en una democracia moderna [1] y, a pesar de la masividad de información disponible en diversos formatos y medios, aún existen personas que no logran acceder a ella por falta de comprensión de la misma. Algunos de los motivos son la generación de textos no apropiados para ciertas edades (por ejemplo, un niño de 10 años seguramente no comprenda un informe médico), la presencia de alguna patología (por ejemplo, enfermedades que afecten la memoria, dislexia, afasia, etc) o un nivel de alfabetización no adecuada. En el peor de los casos, esto resulta en personas a las que se les violenten sus derechos ya que no pueden comprender los textos (leyes, reglamentos, constituciones, etc) que los protegen.

Una posible solución al acceso a la información es la adaptación de los textos a la audiencia que van dirigidos. Por ejemplo, un cuento para niños en edad pre-escolar debe tener estructuras sintácticas y un vocabulario sencillos, mientras que un artículo científico debe tener un vocabulario técnico y específico del área. Esta adaptación puede realizarse en forma manual o (semi-)automática y tiene como fin último mejorar la lectorabilidad de los textos. Aunque este término *lectorabilidad* no existe formalmente en el diccionario de la Real Academia Española, en este trabajo hemos decidido utilizarlo como un calco de la palabra en inglés *readability*, cuyo significado es el índice de facilidad que tiene un texto para ser comprendido por los lectores. De esta definición se desprende que la lectorabilidad es inversamente proporcional a la complejidad textual, es decir, necesitamos reducir la complejidad de los textos para ganar lectorabilidad⁶

La adaptación en forma automática (o semi-automática) es denominada *simplificación textual* (ST) y es una rama del Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) que tiene como objetivo

⁵ Más información disponible en <https://www.ar.undp.org/content/argentina/es/home/sustainable-development-goals.html>

⁶ Más información disponible en <http://www.cuadernointercultural.com/lectorabilidadlegibilidad-comprension-lectora/>

convertir un texto complejo en un texto más simple preservando su significado e idea principal, así aumentando su lecturabilidad. La ST puede suceder a distintos niveles: a nivel léxico (identificando y reemplazando ciertas palabras por sinónimos más comprensibles), sintáctico (descomponiendo estructuras compuestas de una frase en una o más estructuras simples), semántico (identificando y explicando conceptos abstractos y/o ambiguos) o discursivo (explicitando toda información que pueda aparecer tácitamente y/o referenciando a otros elementos según las reglas del idioma). En esta forma de adaptar textos es necesario combinar diversas áreas del PLN para las cuales no siempre se cuenta con los recursos necesarios. De hecho, uno de los recursos más escasos son los corpus anotados para tareas como resolución de anáforas, identificación de palabras complejas o para aprendizaje automático (supervisado). Esta es la principal limitación para el desarrollo de sistemas de ST completamente automáticos y lo suficientemente generales como para aplicarse a textos de cualquier género en un idioma.

Una etapa previa a la ST es la identificación de las partes de un texto que afectan negativamente su lecturabilidad. Esta tarea ha cobrado importancia en los últimos años a tal punto que la prestigiosa SemEval (International Workshop on Semantic Evaluation)⁷ ha incluido una tarea específica de identificación de palabras complejas apuntando a la simplificación léxica por primera vez en 2016 [2] y al momento de escribir este artículo se encuentra en curso la segunda edición de esta tarea⁸.

Como describiremos en la siguiente sección, la mayoría de los trabajos en este área se realizan sobre el idioma inglés por contar con más recursos lingüísticos y sobre el género periodístico. Sin embargo, por nuestro contexto, en este trabajo nos concentramos en estudiar y automatizar las métricas existentes para medir complejidad léxica para el español, como paso previo a la identificación de frases complejas y su subsiguiente simplificación. Otro aspecto novedoso de este trabajo es la utilización de corpus relacionados a los derechos humanos, concretamente de la Organización para las Naciones Unidas (ONU) y del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR).

Este artículo se organiza de la siguiente manera: la Sección II describe los trabajos más relevantes en el área de interés; en la Sección III detallamos las herramientas y recursos utilizados en este estudio; en la Sección IV se describe la metodología empleada en los experimentos detallados en la Sección V; en la Sección VI se contrastan los resultados obtenidos automáticamente en la sección anterior con los obtenidos con anotadores humanos y la Sección VII ilustra la simplificación textual automática para el caso puntual de los números romanos; concluimos este trabajo con reflexiones y trabajo futuro en la Sección VIII.

Trabajos relacionados

Los primeros trabajos en el área de ST automática, como [3], [4] y [5], estaban enfocados a preprocesar el texto para otra aplicación del PLN. Sin embargo, estos trabajos son la base para el primer sistema de ST desarrollado para facilitar la comprensión lectora a personas con afasia en el marco del proyecto *Syntactic simplification in PSET* [6]. Este proyecto abordó la simplificación sintáctica en artículos periodísticos en inglés, basándose en un conjunto de reglas creadas manualmente para la re-escritura de cláusulas coordinadas y el cambio de voz pasiva a voz activa, y en WordNet [7] para la sustitución de palabras categorizadas como difíciles de comprender según la base de datos *Oxford Psycholinguistic Database* [8].

⁷ <https://en.wikipedia.org/wiki/SemEval>

⁸ Detalles de la campaña actual disponibles en <https://sites.google.com/view/cwisharedtask2018/home>

El trabajo sobre el idioma inglés se vio muy beneficiado con la creación de *SimpleWikipedia*⁹, que es una versión reducida de Wikipedia y escrita siguiendo reglas de producción de contenidos para que resulte fácil de comprender. Esto ha permitido crear recursos como corpus paralelos “inglés estándar” – “inglés sencillo” [9], que luego son empleados en la creación de sistemas de ST. Incluso es posible emplear técnicas que demandan un gran volumen de datos, por ejemplo, los siguientes trabajos han abordado la ST como una tarea de traducción tomando inglés complejo como fuente y generando inglés sencillo.

En [10] los autores se inspiran en la traducción automática estadística sintáctica [11] para realizar operaciones de borrado, separación de una oración en varias oraciones, reordenamiento y sustitución, las cuales en conjunto forman el modelo de traducción aprendido a partir de un corpus paralelo de más de 100 mil pares de frases extraídas de Wikipedia Simple y Wikipedia. Para evaluar su sistema utilizan la medida Flesch Reading Ease [12] y la perplejidad del modelo de lenguaje resultante del entrenamiento. Luego en [13], se agrega como recurso el historial de revisión de los artículos en Wikipedia Simple a los fines de aprender las partes de un artículo de Wikipedia (estándar) que deben ser simplificados. El formalismo empleado en este caso son las gramáticas quasi-síncronas que son la base de la generación del texto simplificado. En [14] se adopta un enfoque puramente estadístico, utilizando un corpus similar a los anteriores para entrenar un sistema de traducción automática por frases con la herramienta Moses [15]. Como esta herramienta no tiene ninguna característica enfocada a la ST, los autores generan las n mejores traducciones (lo cual sí es provisto por Moses) y heurísticamente seleccionan la que diverja más del texto fuente; la hipótesis es que mientras más diversa la traducción (inglés sencillo) al texto original (inglés estándar) más operaciones de simplificación se han producido. Los resultados de su evaluación no muestran mejoras significativas respecto de [10] por ejemplo.

Para el caso de otros idiomas que no cuentan con una fuente de textos paralelos como Wikipedia Simple, estos deben generarse manualmente o recolectarse de manera semiautomática. Los idiomas de interés regional son el español y el portugués (de Brasil), por lo que se describe a continuación el trabajo realizado en el marco de dos proyectos sobresalientes: PorSimples [16] y Simplext [17].

El proyecto PorSimples se ejecutó en Brasil entre los años 2007 – 2010 y generó una serie de recursos y herramientas para el Portugués de Brasil con el objetivo de beneficiar tanto a la población con bajo nivel de alfabetización como a los autores que deseen producir textos para estas audiencias. Los recursos y herramientas, detallados en [18], son:

- Un manual para la ST del Portugués (BR), donde se dan recomendaciones sobre cómo tratar ciertos fenómenos sintácticos.
- 9 corpora de 2 géneros distintos (noticias generales y artículos de ciencia popular); los artículos fueron simplificados manualmente por lingüistas especializados en ST.
- Un diccionario de palabras simples que contiene palabras frecuentes entre los jóvenes y en textos de noticias para niños, entre otras; este diccionario se utiliza para la tarea de identificación de palabras complejas.
- La herramienta de apoyo a la creación de textos simplificados *SIMPLIFICA*.
- Un sistema de asistencia a la lectura, llamado *FACILITA*, el cual aplica algunas estrategias de resumen y simplificación automática para ayudar a lectores en la web.

⁹ <https://simple.wikipedia.org/>

- Una herramienta de adaptación de contenidos, denominada *Educational FACILITA* que resalta contenido específico (como entidades nombradas, relaciones entre verbos, etc) que ayudan al lector a comprender mejor el texto.

El proyecto *Simplext*, a diferencia de *PorSimples*, tiene como objetivo ayudar a personas con algún impedimento cognitivo, como por ejemplo afasia. Este proyecto generó los siguientes productos:

- Un corpus paralelo del español, simplificando manualmente alrededor de 200 noticias cortas.
- Un módulo de simplificación léxica denominado *LexSis* que utiliza recursos libres para aplicar técnicas de sustitución léxica a base de un modelo vectorial basado en palabras, la frecuencia de las palabras y la longitud de las palabras [19].
- Un módulo de simplificación sintáctica que realiza algunas operaciones de transformación al nivel de la oración, según lo observado en el corpus paralelo, y algunas transformaciones basadas en reglas sobre frases idiomáticas y expresiones que no pueden simplificarse por mera sustitución de palabras, como por ejemplo las expresiones numéricas [20].

Una parte del proyecto se dedicó a la simplificación de expresiones numéricas, como cifras, porcentajes, estadísticas, etc, ya que pueden afectar la comprensión del texto por parte de lectores que no estén familiarizados con tales conceptos [21], [22]. Estos trabajos inspiraron una prueba de concepto realizada en este trabajo, detallada en la Sección VII.

En [23] se recopilan muchos de los trabajos en el área de la ST y se puede apreciar que la mayoría se enfoca en el idioma inglés y un aspecto poco explorado es la utilización de corpus que no provengan del género periodístico.

Recientemente se ha estudiado en detalle la performance de los sistemas que han participado en las tareas de identificación de palabras complejas (IPC) que participaron en *SemEval*, llegando a la conclusión de que los métodos que mejor funcionan son aquellos basados en listas de frecuencias y/o diccionarios y que las anotaciones manuales de los recursos son determinantes para el buen desempeño de los sistemas de IPC o ST [24]. Esto avala y refuerza nuestra decisión de trabajar con listas de frecuencias generadas a partir del corpus que se quiere simplificar.

Cabe destacar también que los trabajos relevados aquí, utilizan métricas para evaluar la facilidad de comprensión de un texto limitándose a usar las que existen para el idioma (principalmente si es inglés) o usan las adaptaciones existentes a otro idioma sin realizar un estudio del impacto que estas puedan tener en el idioma o dominio particular en que serán aplicadas, asumiendo que son apropiadas y coherentes. El objetivo principal de nuestro trabajo es justamente confirmar o descartar esa hipótesis.

Recursos utilizados

En esta sección detallamos los recursos y herramientas utilizados.

A. Corpus

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron extractos de las siguientes obras, las que consideramos tienen distintos niveles de lecturabilidad considerando como audiencia a adultos sin dificultades cognitivas y con un nivel medio de alfabetización:

- El Principito [25], es una novela clásica infantil y fantástica, originalmente escrita en Francés y luego traducida al Español; a pesar de los mensajes abstractos que posee (sobre conceptos como la infancia, la amistad, etc) es conocida popularmente como un cuento para niños por el uso de palabras de poca complejidad en su gran mayoría y estructuras sintácticas sencillas y explícitas. Esta obra consideramos que tiene la mayor lecturabilidad de las cuatro.
- Extractos de la página web del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR)¹⁰. Al igual que otras agencias de la ONU, estos documentos utilizan Español internacional, ya que son creados para el público hispanohablante en general, y tienen características de documentos administrativos legales. Este corpus tiene un índice de lecturabilidad intermedio a bajo.
- Corpus Multilingual UN (Multi-UN): este corpus ha sido compilado y alineado automáticamente para los 6 idiomas oficiales de la ONU y contiene más de 300 millones de palabras por idioma [26]. En él abundan nombres propios, definiciones políticas, referencias a legislación, etc, haciendo que resulte en un índice de lecturabilidad intermedio, similar al corpus de ACNUR pero a priori no se puede discernir cuál es de mayor lecturabilidad.
- Corpus paleontología: este texto, generado por el Laboratorio de Paleontología de la Universidad Nacional de Colombia¹¹ provee información sobre esponjas y cnidarios; para comprenderlo se necesita de un conocimiento especializado en este campo de la ciencia, ya se utilizan términos técnicos, por ejemplo “undulipodios” (prolongaciones citoplasmáticas muy finas hacia el exterior de la célula, y dotadas de movimiento gracias a su composición proteica).

B. Métricas de complejidad

Uno de los pasos previos a la ST es la identificación de palabras o frases complejas, que en la mayoría de los casos se hace de forma manual. Existen algunos índices de complejidad basados en ciertas características del texto y para esta investigación se estudiaron los índices “Spaulding’s Spanish Readability” (SSR) [27], “Lexical Complexity” y “Sentence Complexity Index” (SCI) [28], descriptos a continuación:

Spaulding’s Spanish Readability (SSR)

Esta fórmula mide la complejidad de un texto utilizando el promedio de palabras por línea y el porcentaje de palabras complejas según una lista creada por el autor, la cual contiene palabras que él considera poco frecuentes en el español (y por lo tanto complejas). A mayor complejidad mayor será el valor de retorno de esta fórmula. El autor propone contar algunas palabras que no se encuentran en la lista como si estuviesen en ella a los fines de simplificar tanto el cómputo del índice como la creación de la lista, y son:

- Nombres de meses y días de la semana.
- Nombres propios apegados a las reglas de los nombres propios para el español.
- Nombres de ubicaciones geográficas

La fórmula es la siguiente:

¹⁰ Agencia de la Organización para las Naciones Unidas (ONU) que trabaja para proteger y asistir a los refugiados en todo el mundo; más detalles en <http://www.acnur.org/que-hace/>

¹¹ Disponible en <http://www.paleounal.org/doku.php?id=esponjas:esponjas>

$$SSR = 1,609 \cdot \frac{|w|}{|s|} + 331,8 \cdot \frac{|rw|}{|w|} + 22,0 \quad (1)$$

- s es número de oraciones en el texto.
- w es el número de palabras en el texto.
- rw es el número de palabras raras, es decir aquellas que no se encuentran en la lista que oficie como “lista de palabras complejas”.

Spaulding acompaña la fórmula con una forma de interpretar los resultados obtenidos, como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Interpretación del puntaje obtenido con SSR

Puntaje SSR	Lectorabilidad
menos de 40	Material muy simplificado
40-60	Muy Fácil
61-80	Fácil
81-100	Dificultad moderada
101-120	Difícil
121 o más	Muy difícil

Lexical Complexity (LC)

Esta métrica también utiliza una lista de palabras para calcular el número de palabras de baja frecuencia, la cual se propone que sea la lista de frecuencia menor a 1000 del corpus Corpus de Referencia del Español Actual (CREA)¹². Además, toma en cuenta la cantidad y el contenido de las oraciones del texto a medir así como su diversidad léxica. Al igual que en SSR a mayor complejidad mayor será el valor de retorno de esta fórmula. La fórmula se presenta a continuación:

$$LC = \frac{LDI + ILFW}{2} \quad (2)$$

$$LDI = \frac{|dcw|}{|s|} \quad (3)$$

$$ILFW = \frac{|lfw|}{|cw|} \cdot 100 \quad (4)$$

Donde:

- LDI: Densidad Léxica Indexada

¹² Disponible en <http://corpus.rae.es/frecuencias.html>

- ILFW : Palabras de baja frecuencia indexada
- dcw: Número de diferentes palabras contenidas
- s: Número de oraciones.
- lfw: número de palabras de baja frecuencia (baja frecuencia en CREA ranking menor a 1000)
- cw: Número de tipos de palabras en las oraciones (verbo, sujeto, adjetivos y adverbios).

Sentence Complexity Index (SCI)

Propuesta por Anula (2007) [28], esta métrica mide la complejidad dados el promedio de palabras por oración, y el porcentaje de oraciones marcadas como complejas en el texto indexado. La dificultad al implementar la automatización de esta fórmula, recae en que *cs* (número de oraciones complejas) fue creada para catalogar una oración como compleja o no de $SSR=1$, forma manual. Esto es muy complicado de implementar ya que es un proceso cognitivo muy complejo de simular por medio de la programación, incluso si se contara con un gran corpus del que se pudiera aprender automáticamente.

$$SCI = \frac{ASL + ICS}{2} \quad (5)$$

$$ASL = \frac{|w|}{|s|} \quad (6)$$

$$ICS = \frac{|cs|}{|s|} \cdot 100 \quad (7)$$

- *w*: Número de palabras.
- *s*: Número de oraciones.
- *cs*: Número de oraciones complejas. Esta se calcula manualmente por un apuntador o serie de apuntadores.

C. Herramientas

Para agilizar el estudio de estas métricas es necesario automatizar su cómputo y para ello, es necesario contar con herramientas para el análisis sintáctico y morfológico del español. Luego de evaluar algunas herramientas open source, decidimos que la mejor opción es utilizar Apertium [29], un sistema de traducción automática basado en reglas y originalmente diseñado para lenguajes cercanos, por ejemplo aragonés – catalán, sueco – noruego, español – francés, etc.

Conceptualmente, en nuestro caso podríamos estar traduciendo de “español regular” a “español simplificado”. Sin embargo, en esta etapa exploratoria usamos la versión monolingüe de Apertium para análisis del español¹³ ya que ha mostrado mejor performance en términos

¹³ Disponible en <https://github.com/apertium/apertium-spa/>

de cubrimiento léxico, al incorporar un diccionario muy completo, y en términos de análisis morfológico, al contar con mucho conocimiento experto introducido en Apertium por los lingüistas que lo desarrollan.

Una de las principales necesidades para la automatización de métricas es obtener información morfológica de las palabras en las oraciones, para lo cual se utilizó `apertium-spa`, ya que su función `apertium spa-disam-tagger` analiza el texto identificando las palabras con tags, de si la palabra en la oración corresponde a un verbo (<v>), sustantivo (<n>), adjetivo (<adj>), etc.¹⁴. La figura 1 muestra una comparación de dos versiones de Apertium: la versión como traductor `en-es` y la versión monolingüe (`spa`); se puede ver que `spa` hace un análisis más correcto desde el punto lingüístico, ya que capta contenido de las oraciones (como <ij> para interjecciones), mientras que la versión para traducción tiene incorporadas reglas específicas para la traducción automática, por ejemplo, en figura 1 se ve que más se categoriza como pre-adverbios que luego utiliza para posicionar el aumentativo al momento de la generación en inglés, que podría ser “slower”.

Apertium	Resultado: Por favor hable más despacio.
en-es	<code>^Por favor<adv>\$ ^hablar<vblex><prs><p3><sg>\$ ^más<preadv>\$ ^despacio<adv>\$</code>
spa	<code>^Por favor<ij>\$ ^hablar<vblex><prs><p3><sg>\$ ^más<adv>\$ ^despacio<adv>\$^.<sent>\$</code>

Figura 1. Ejemplo de análisis con Apertium como traductor `en-es` y como herramienta monolingüe de análisis del español (`spa`).

La otra herramienta que ha sido utilizada es `PyStemmer`¹⁵, para encontrar la raíz de las palabras antes de su búsqueda en una lista. Esto dado que en los textos se encuentran verbos conjugados y sustantivos en diferentes géneros por ejemplo **correr**, **corrieron**, **hijos**, **hijas**. Al sacar la raíz de las palabras y buscar si esta se encuentra en el diccionario, facilita el encontrar si una palabra en cualquier conjugación o género se encuentra en la lista según la necesidad de cada métrica (SSR Spaulding list, LC lfw cuya definición fue mostrada en la parte III-B). Se pudo haber utilizado el lematizador de Apertium pero el enfoque de este no es sacar la raíz de las palabras sino buscar su forma en infinitivo para la traducción durante su pipeline (denominado `mode`), lo cual no resultó muy práctico para nuestro caso.

Metodología

En esta investigación se considera que la simplificación textual está dividida en 4 etapas, como se ilustra en la figura 2 La primera etapa, *Medición de complejidad*, se realiza sobre el texto total (o corpus de entrada), la segunda *Identificación de líneas complejas*, se realiza sobre cada línea del corpus, la tercera es la etapa de simplificación con ayuda de alguna metodología manual o automática y la cuarta, *Verificación de disminución de complejidad respecto al texto original*, es la etapa de evaluación de la efectividad del sistema de ST. En este trabajo abordamos las dos primeras etapas y realizamos una prueba de concepto de la tercer etapa, a los fines de validar los resultados de las etapas anteriores.

¹⁴ La lista completa de símbolos puede consultarse en http://wiki.apertium.org/wiki/List_of_symbols

¹⁵ Disponible en <https://pypi.org/project/PyStemmer/>

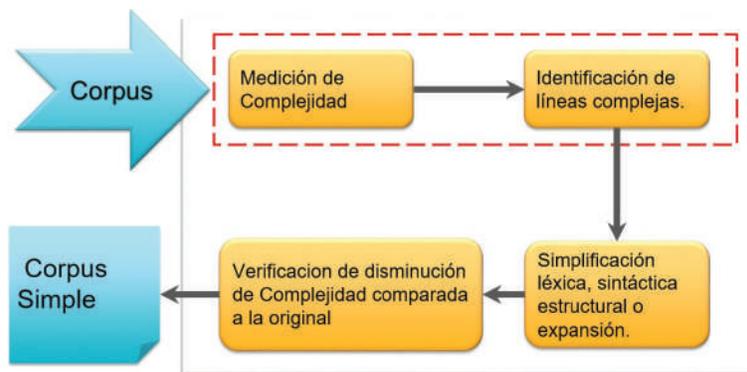


Figura 2. Proceso clásico para ST. Los pasos marcados con línea de puntos son los que se abordan en este trabajo.

Las métricas para medición de índices de complejidad fueron diseñadas originalmente para ejecutarse de forma manual pero con la cantidad de información que quisiéramos procesar no sería práctico realizarlo así. Es por ello, que la primer contribución de nuestro trabajo es la implementación de una solución en *Python* que automatiza las métricas y su aplicación¹⁶. De acuerdo a las definiciones dadas en la Sección III-B los ingredientes de cada métrica son:

Para SSR:

1. Contar oraciones del texto
2. Contar número, días, mes, lugares geográficos, nombres propios de palabras por oración.
3. Contar palabras raras (que no estén en la lista de Spaulding).

Para LC:

1. Contar número de palabras diferentes en la oración.
2. Contar número de oraciones.
3. Contar número de palabras de baja frecuencia (menor a 1000 en CREA)
4. Contar el contenido de las oraciones (sujetos, adjetivos, verbos y adverbios).

Toda esta información es posible conseguirla aplicando Apertium y PyStemmer al corpus de entrada y basando el análisis morfo-sintáctico en las listas de palabras (de Spaulding o del CREA). Una funcionalidad muy útil de Apertium para la identificación de palabras no tan comunes, es que en la salida puede marcar con *aquellas palabras que no están en su diccionario; si bien esto no garantiza que sean palabras raras o complejas, es un buen indicio dada la amplia cobertura léxica de Apertium.

La solución implementada es open source, toma como entrada un corpus y genera como salida un cuaderno de trabajo con 4 hojas de cálculo: un resumen y una para cada métrica. La primer hoja de resumen contiene tanto el valor global de los índices de lecturabilidad como los valores individuales para cada frase y, de ser pertinente, otras informaciones útiles para el usuario; en esta hoja se muestran los resultados de las primeras n líneas, siendo n ingresada por el usuario al ejecutar el script. La figura 3 muestra un ejemplo de la salida de nuestro sistema en el cual se fijó $n = 3$. En la segunda, tercera y cuarta hoja se muestran los ranking completo de las métricas SSR, LC y SSCRAW (definida más adelante), respectivamente.

¹⁶ Disponible en <https://git.tec.siu.ac.cr/ranaraya/SimplificacionTextualEspanol>

	A	B	C
1	Texto Analizado: textoApuntadores		
2	Complejidad LC Total	31.61634137	
3	Complejidad de SSR Total	74.42789474	
4	Top 3 SSR		
5	linea10	175.7113077	
6	linea3	96.06168293	
7	linea9	92.796	
8	Top 3 LC		
9	linea10	69.83333333	
10	linea8	54.5	
11	linea5	53.5	
12	Top 3 SSCRAW		
13	linea10	245.544641	
14	linea8	125.77	
15	linea3	125.5616829	

Figura 3. El resultado de aplicar las métricas a un texto se guarda en una hoja de cálculo conteniendo no sólo los valores sino información adicional que pueda servirle al usuario.

Una vez seleccionados los corpus e implementadas las métricas, la metodología adoptada fue la de medir extractos de los corpus y comparar los resultados iterativamente para comprobar que: las métricas implementadas funcionan debidamente, proveen resultados según la intuición de los investigadores (es decir que son coherentes con la complejidad aparente de los textos seleccionados) y que son capaces de reflejar apropiadamente los cambios producidos luego de operaciones de simplificación (es decir que pueden mantener la coherencia). Estos experimentos y sus resultados se detallan en la siguiente sección.

Experimentos y resultados

A. Estudio de SSR

Para verificar si las métricas reflejan resultados coherentes, es decir alineados con nuestra apreciación de lecturabilidad de cada corpus, se tomó un extracto de 400 palabras de cada uno de los corpus mencionados anteriormente. El cuadro 2 ilustra estos recursos con una oración de cada uno. La elección de estos corpus responde a que quisimos estudiar textos de distinta lecturabilidad considerando como lector final a un adulto con alfabetización media y sin ninguna patología diagnosticada.

Cuadro 2. Ejemplo de los corpus utilizados, que tienen distintos niveles de lecturabilidad.

Principito	Cnidarios	Multi-UN	ACNUR
Enseñé mi obra de arte a las personas mayores y les pregunté si mi dibujo les daba miedo.	Los coanocitos, conocidos también como células de collar, son células globulares provistas de un flagelo o undulipodio (pie oscilante).	Ya se ha establecido la Comisión Mixta de Cesación del Fuego y ya ha empezado a funcionar.	Esta información debe ser lo más detallada posible indicando fechas, lugares, hechos, entre otros.

El resultado de aplicar las métricas a los extractos de 400 palabras se muestra en el cuadro 3. Como se puede ver estos resultados confirman que hay una clara diferencia en la complejidad de los textos afirmando que las métricas brindan un resultado que va en línea con las hipótesis de lecturabilidad que tenemos de los corpus.

Cuadro 3. Cuadro de resultados SSR y LC.

Extracto	Principito	Multi-UN	ACNUR	Esponjas
SSR (Spaulding)	116.79	150.09	195.02	205.60

Un análisis más detallado del índice obtenido para cada corpus muestra que oraciones muy cortas (< 3 palabras) son altamente penalizadas si tienen alguna palabra desconocida según de la lista de Spaulding. Por ejemplo, frases del estilo *Artículo XI, inciso 1* resultan en baja lecturabilidad cuando en realidad es posible que no lo sean. Un caso extremo se muestra en el cuadro 4, donde se detectó que la frase *Ayer me compré un nuevo celular*. obtiene un índice de 86,95 solo por contener la palabra *celular*.

Cuadro 4. Ejemplo de oraciones que se ven penalizadas por ser cortas y tener una palabra que no está en la lista de Spaulding ("celular") versus la misma frase reemplazando la palabra desconocida por SSR por una conocida

Lista	Texto	Palabras complejas encontradas	SSR	LC
SSR (Spaulding)	Ayer me compré un nuevo celular.	celular	86.95	15.5
SSR (CREA)	Ayer me compré un nuevo carro.	–	31.65	15.5

SSR cataloga la palabra *celular* como compleja, pero llegamos a la conclusión de que esto sucede porque la lista de Spaulding fue creada en 1956, y el lenguaje español ha evolucionado con el paso del tiempo y estos avances lógicamente no son captados por SSR. Esto nos llevó a explorar formas de actualizar esta métrica como se detalla en siguiente sección.

B. Actualización de SSR

Dados los resultados de anteriores se procedió a cambiar la lista que se utiliza en el cómputo de SSR por la lista de frecuencias del CREA completo (descrita en la Sección III), para así enriquecer el diccionario de palabras conocidas y utilizar una versión actual del español. Los resultados de aplicar SSR con esta actualización se muestran en el Cuadro 5; se puede observar que los puntajes bajan mucho pero se mantienen las proporciones sobre la lecturabilidad de los corpus y a pesar del cambio de las listas que son utilizadas como diccionarios, siempre se mantuvo una diferencia marcada entre los documentos. Esto muestra que el cambio propuesto no va en detrimento de la métrica original sino que la adapta al estado actual del lenguaje.

Cuadro 5. Cuadro de resultados SSR: CREA VS. SPAULDING

Extracto	Principito	Multi-UN	ACNUR	Esponjas
SSR (Spaulding)	116.79	150.09	195.02	205.61
SSR (CREA)	45.46	79.82	89.67	101.92

También podemos confirmar nuestra hipótesis de que la lista original ha quedado obsoleta dada la evolución natural del lenguaje, especialmente en dominios tecnológicos y científicos. Se recalculó SSR con la nueva lista para la línea *Ayer me compré mi nuevo celular* y como se muestra en el cuadro 6, ya no hay diferencia entre oraciones que contengan palabras populares como carro o celular.

Cuadro 6. Ejemplo del celular con CREA (Iguala las dos frases)

Texto	Palabras complejas	SSR
Ayer me compré un nuevo celular.	–	31.65
Ayer me compré un nuevo carro.	–	31.65

C. Estudio de LC

Trabajando con las formulas SSR y LC, se pudo notar que SSR al tener una tabla de interpretación de resultados brinda con más claridad una respuesta de complejidad y además brinda mejores resultados al actualizar su diccionario. LC, por el contrario, no cuenta con tabla de interpretación de resultados y no es posible brindar un índice concreto y límite a partir del cual una oración pasa a ser compleja o no. Los resultados de LC se muestran en el cuadro 7. Si comparamos el ordenamiento de los corpus según estos índices de lecturabilidad, vemos que no siempre concuerdan: SSR orden por lecturabilidad descendente Principito < Multi UN < ACNUR < Cnidarios mientras que LC los ordena Principito < Cnidarios < ACNUR < Multi UN . Esta discrepancia nos llevó a una inspección manual de los extractos para verificar los resultados de LC. Pudimos comprobar que el corpus Multi-UN efectivamente está redactado de forma que contiene estructuras sintácticas más complejas (oraciones largas, con cláusulas subordinadas, muchos acrónimos, etc) que el corpus sobre Cnidarios, que a primera vista parece más complejo (incluso según SSR) por la terminología; sin embargo, como en la mayoría de los textos técnicos altamente especializados, las estructuras sintácticas son básicas y el contenido suele explícito y directo.

Cuadro 7. Resultados de aplicar LC comparados con los resultados mejorados SSR (CREA).

Métrica	Principito	MultiUN	ACNUR	Cnidarios
LC	20.34	35.13	28.76	26.73
SSR (CREA)	45.46	79.82	89,67	101.92

Ya que el objetivo de esta investigación es brindar ayuda en el paso previo a la ST, identificando las líneas más complejas de un texto en forma automática, decidimos explorar formas de fusionar los resultados parciales en uno final, como se describe en la siguiente sección.

D. Estudio intracorpous

Hasta ahora hemos aplicado las métricas para comparar lecturabilidad entre distintos corpus, pero también es necesario estudiar cómo se comportan las métricas entre oraciones de un mismo corpus (intracorpous); dado que se supone más homogeneidad entre ellas, surge la hipótesis de que tal vez no sea tan clara la diferencia entre las oraciones como lo fue entre los corpus.

El interés de un análisis intracorpous reside en que quisiéramos que nuestra solución provea un ranking de oraciones, donde el primer puesto es el de mayor complejidad (menor lecturabilidad) y el último el de menor complejidad, así el usuario podrá decidir qué oraciones simplificar, por ejemplo las top n.

El cuadro 8 muestra tres oraciones del corpus del ACNUR que tomaremos como ejemplo para ilustrar el estudio intracorpous y el cuadro 9 muestra el ranking generado por SSR y LC.

Cuadro 8. Oraciones del corpus del ACNUR que ilustran el estudio de complejidad Intracorpus.

Oración	ID
También quisiera expresar mi reconocimiento a la Misión Africana en Burundi por la destacada labor que lleva a cabo en ese país a pesar de los problemas monumentales que afronta.	A
He pedido al equipo de las Naciones Unidas en Burundi que continúe cooperando estrechamente con mi Representante Especial y coordinando sus actividades con él para ayudar eficazmente al Gobierno Provisional en sus respectivas esferas de competencia.	B
La Misión Permanente de la India ante las Naciones Unidas (Viena) saluda atentamente al Secretario General de las Naciones Unidas y tiene el honor de transmitirle, de conformidad con el artículo IV del Convenio sobre el registro de objetos lanzados al espacio ultraterrestre (resolución 3235 (XXIX) de la Asamblea General, anexo), información relativa al lanzamiento del satélite indio INSAT-3A y la degradación del satélite indio GSLV-D1-GS3 (véase el anexo).	C

Con este ranking, es claro que *C* es la oración de menos lecturabilidad y ambas métricas concuerdan, mientras que la lecturabilidad de la oraciones *A* y *B* difiere entre SSR y LC. Se puede observar que ambas tienen resultados muy cercanos con SSR pero la diferencia es más marcada en LC. Simplemente mirando el largo de *B* podríamos concluir que es más compleja que *A*, sin embargo SSR determinaría lo contrario influenciado.

Cuadro 9. Ranking de lecturabilidad de las oraciones A, B y C de acuerdo a SSR Y LC.

Ranking	SSR(x)CREA	LC(x)
1	142,63 (C)	55,55 (C)
2	81,33 (A)	43 (B)
3	79,92 (B)	29,16 (A)

por la cantidad de palabras desconocidas. Por otro lado, LC es menos sensible a las palabras desconocidas, cambiando de orden el ranking y posicionando *B* como menos comprensible que *A*, más en línea con la apreciación humana.

Teniendo en cuenta estos resultados y considerando que estamos construyendo una herramienta de ayuda a un usuario final deberíamos encontrar una manera de conciliar estos resultados para proveer un único ranking. Además, entendemos que la calidad es un concepto multifacético, por lo que es mejor medir distintos aspectos del mismo objeto para proveer una evaluación integral del mismo. Con esto en mente, evaluamos algunas maneras de combinar SSR y LC, llegando a la conclusión de que una manera sencilla pero eficaz de combinarlas es sumando ambos valores. A esta nueva manera de medir la lecturabilidad la llamamos “Spanish Sentence Complexity Ranking Assistant Work” (SSCRAW), dada por la siguiente ecuación:

$$\text{SSCRAW}(\text{texto}) = \text{SSR}(\text{texto}) + \text{LC}(\text{texto}) \quad (8)$$

Aplicando esta nueva métrica, el ranking producido se muestra en el cuadro 10 y se puede notar que el resultado es más objetivo y apegado a la realidad.

Cuadro 10. Ranking aplicando la métrica SSCRAW.

Ranking SSCRAW	SSCRAW(X)
SSCRAW(C)	198,18
SSCRAW(B)	122,92
SSCRAW(A)	110,49

Validación de resultados con anotadores humanos

Luego de verificar la coherencia de LC, SSR y SSCRAW, se realizó un estudio para determinar si efectivamente el resultado de SSCRAW coincide con la percepción de un potencial usuario final de nuestro sistema. Para ello, convocamos a tres revisores independientes (alumnos avanzados de computación del TEC, sin dificultades cognitivas diagnosticadas) para que evaluaran la lecturabilidad del extracto de 400 palabras del corpus Multi-UN utilizado en las secciones anteriores. Se les envió el texto por correo electrónico y les solicitamos que luego de leerlo identificaran las palabras, términos u oraciones que no conocieran o que les resultaran difíciles de comprender. Los resultados de los apuntadores se muestran en el Cuadro 11 y la figura 4 muestra la salida del sistema con los resultados globales de SSR, LC y SCRAW, así como el ranking conteniendo las top 3 oraciones más complejas según cada métrica. Aunque no se calculó ningún coeficiente de acuerdo entre evaluadores (como Kappa [30]) se puede notar un alto acuerdo ya que solo los términos de la tabla fueron señalados por los evaluadores y en todos los casos al menos dos de los tres están de acuerdo (*Mayoría*); más aún en el 40 % de los casos el acuerdo es entre los tres jueces (*Unanimidad*).

Cuadro 11. Términos señalados como complejos por los anotadores, algunos por unanimidad y otros por la mayoría de los anotadores. El número entre paréntesis es el número de oración en que se encuentra el término.

<i>Unanimidad (3 anotadores)</i>	<i>Mayoría (2 anotadores)</i>
glosario terminológico (4) – PARTEX (8) – moratoria (11) antipersonal (11) – ilícitos (12) – DC21320 (13)	marco regulatorio (2) – UNCCD (4) – marginación (3) – Adición (1) robustecer (6) – servidor (4) –rectificaciones (9) – prorrogó (11) – garantías del Pacto (9)

En las notas entregadas por los anotadores, uno de ellos indicó que la oración 10 le pareció compleja, no por las palabras en forma aislada, sino por la longitud y el estilo (tiempo verbal y entidades nombradas). En ese caso ambos análisis (automático y humano) coinciden en que la línea 10 (reproducida en el cuadro 12) es la más compleja ocupando el primer lugar del ranking.

Cuadro 12. Línea 10 extracto de apuntadore

Línea 10
Cabe señalar que, si el tema de la consolidación de la paz después de los conflictos se examinara con arreglo al formato de evaluación a fondo, serían necesarias evaluaciones separadas de los programas ejecutados por el Departamento de Asuntos Políticos, el Departamento de Operaciones de Mantenimiento de la Paz, la Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR), el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, la Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos y el Departamento de Asuntos de Desarme, entre otros.

Top 3 SSR	
linea10	175.7113077
linea3	96.06168293
linea9	92.796
Top 3 LC	
linea10	69.83333333
linea8	54.5
linea5	53.5
Top 3 SSCRAW	
linea10	245.544641
linea8	125.77
linea3	125.5616829

Figura 4. Resultado de SSR, LC y SCRAW para el extracto analizado por los anotadores humanos. El ranking SCRAW de las 3 oraciones más complejas contiene a la oraciones número 10, 8 y 3

Sin embargo, para el resto de las oraciones no hay acuerdo entre los resultados automáticos y humanos, ya que el ranking de las oraciones más complejas según los anotadores sería oración 10 > oración 11 = oración 4 > oración 9 (calculado contando la cantidad de veces que los anotadores señalaron cada oración como problemática). Esta falta de acuerdo posiblemente se deba a que la tarea no estuvo bien definida para los anotadores y se han enfocado principalmente en las palabras complejas, no tanto en la complejidad global de cada frase. Estos resultados requieren un análisis más profundo y una nueva rueda de evaluación humana.

Prueba de concepto: simplificación de números romanos

Luego de los estudios entre corpus, intra-corpus y de acuerdo entre resultados automáticos y humanos, decidimos realizar una prueba de concepto para ver el impacto en una tarea real de ST.

Entre las estrategias de simplificación están la *expansión*, que consiste en reemplazar contenido comprimido por una versión más descriptiva de tal contenido (por ejemplo reemplazando un acrónimo por las siglas completas) y la *reducción* del contenido problemático, que implica recortar partes del texto a través de distintas técnicas, por ejemplo de resúmenes automáticos. De ellas, la más apropiada para los textos del dominio que consideramos aquí (Multi-UN y ACNUR) es expansión, ya que no deseamos arriesgar pérdida de contenido en los textos.

Durante la revisión de trabajos relacionados (ver Sección II) se observó que la simplificación de expresiones numéricas tiene potencial para aumentar la lecturabilidad. En [21] y [22] proponen modificar las expresiones numéricas reemplazándolas por aproximaciones o expresiones similares aunque no sean exactas, por ejemplo en lugar de dejar *1,9 millones de hogares* lo cambian por *2 millones de casas*. Este tipo de operaciones no son aplicables directamente a nuestro dominio ya que no siempre se puede modificar las cantidades o cifras dado que son datos de tinte legal.

Por lo tanto se procedió a utilizar una estrategia de simplificación de expresiones numéricas sobre aquellos objetos que no den lugar a un cambio de sentido del contenido. En particular se identifican los números romanos y se los convierte en su versión decimal, reemplazando por ejemplo *Artículo X* por *Artículo 10*. La hipótesis subyacente es que esto facilita la comprensión del texto ya que los números romanos no necesariamente son conocidos por algunas personas con bajo nivel de alfabetización.

Para identificar los números romanos utilizamos Apertium, modificándole el diccionario interno y realizando algunas operaciones de post-procesamiento para asegurarnos de que ninguna palabra es confundida con un número romano y, por lo tanto, mal simplificada. El cuadro 13 muestra una frase de ejemplo, donde se toma el texto original del corpus MultiUN, se simplifican los números romanos y se genera un texto simplificado. Se puede observar también en el cuadro 14, que la complejidad se ve disminuida en términos de SCRAW, sugiriendo que estos cambios son positivos y no afectan el contenido de los documentos. Para una confirmación más formal de nuestra hipótesis será necesario realizar una tarea con anotadores humanos.

Cuadro 13. Ejemplo de simplificación de números romanos.

Texto original	Texto simplificado
La Conferencia acoge con beneplácito los resultados de la Conferencia sobre medidas para facilitar la entrada en vigor del Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares (Conferencia del artículo XIV), celebrada en septiembre de 2003, y la aprobación de 12 medidas prácticas concretas para promover la pronta entrada en vigor del Tratado.	La Conferencia acoge con beneplácito los resultados de la Conferencia sobre medidas para facilitar la entrada en vigor del Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares (Conferencia del artículo 14), celebrada en septiembre de 2003, y la aprobación de 12 medidas prácticas concretas para promover la pronta entrada en vigor del Tratado.

Cuadro 14. Revisión de complejidad luego de textos sin simplificar y simplificado

Original	Palabras complejas encontradas	SSCRAW
Simplificado	XIV	113.53
Texto_Simple	–	65.44

Conclusiones y trabajo futuro

En este trabajo abordamos la identificación de palabras y oraciones complejas como paso previo a la ST. Realizamos distintos experimentos para estudiar las métricas *SSR* y *LC* aplicables al español, que son las únicas disponibles dados los pocos recursos existentes para nuestro idioma. Nuestro primer aporte es una herramienta de código abierto y libremente disponible para ayudar a la ST. Esta herramienta permite la automatización de las métricas y genera una planilla de cálculo con los resultados globales más el ranking de las n oraciones más complejas para que el usuario decida cuáles simplificar (y en un futuro, posiblemente cómo). Creemos que este aporte es importante dado que, a pesar de haber varios trabajos sobre la ST del español que usan estas métricas, no existe según nuestro conocimiento una herramienta disponible para su cómputo. Para esto hicimos fuerte uso del sistema de traducción automática Apertium en su versión monolingüe para el español, dada su precisión y cubrimiento para el análisis morfo-sintáctico del español, lo cual aceleró considerablemente el trabajo.

Luego de un análisis detallado de los resultados, advertimos que la fórmula *SSR* se enfoca fuertemente en las palabras desconocidas según su diccionario original, el cual es obsoleto respecto al español actual. Esto motivó la propuesta de una forma de actualizar la *SSR* para que sea más sensible al español contemporáneo cambiando el diccionario por la lista CREA y se obtuvieron mejores resultados.

Al estudiar la métrica *LC* notamos que, al proveer información a nivel morfosintáctico, puede combinarse con *SSR* para dar una medida multifacética de la complejidad. Esta fusión en una nueva métrica la denominamos *SCRAW* y realizamos un pequeño estudio con anotadores humanos para contrastar los resultados automáticos con la mirada del potencial usuario final. Encontramos coincidencias entre las anotaciones humanas y las métricas automáticas para un

caso extremo de complejidad pero no para el resto de los casos anotados. Suponemos que el motivo es la informalidad con que se presentó la tarea a los anotadores y planeamos repetir la evaluación humana en un futuro cercano aplicando los ajustes correspondientes.

Finalmente, realizamos una prueba de concepto en una tarea real de ST para probar la herramienta y la métrica implementadas. Por la naturaleza del corpus utilizado decidimos un enfoque expansionista para el tratamiento de números romanos, los cuales son identificados y reemplazados por números decimales. Los resultados obtenidos son prometedores y constituyen la base para futuras estrategias de simplificación. Como trabajo futuro nos planteamos completar el análisis de *SSR* acompañando el cambio de su diccionario con un estudio de su tabla de interpretación para ver cómo varía, y si fuera necesario actualizarla, estudiar maneras de hacerlo. A pesar de que que las formulas con el uso de la lista CREA tienen un buen rendimiento, otra dirección a explorar en el futuro es la creación de listas especializadas y actualizadas específicamente para cada caso de uso, con el fin de cubrir el vocabulario especializado sobre la respectiva temática y así determinar si las métricas se ajustan mejor a cada dominio.

Referencias

- [1] Wikipedia, "Derecho de acceso a la información — wikipedia, la enciclopedia libre," 2018, [Internet; descargado 21-marzo-2018].
- [2] G. Paetzold and L. Specia, "Semeval 2016 task 11: Complex word identification," in *Proceedings of the 10th International Workshop on Semantic Evaluation (SemEval-2016)*, 2016, pp. 560–569.
- [3] R. Chandrasekar, C. Doran, and B. Srinivas, "Motivations and methods for text simplification," in *Proceedings of the 16th conference on Computational linguistics-Volume 2*. Association for Computational Linguistics, 1996, pp. 1041–1044.
- [4] R. Chandrasekar and B. Srinivas, "Automatic induction of rules for text simplification1," *Knowledge-Based Systems*, vol. 10, no. 3, pp. 183–190, 1997.
- [5] M. Dras, "Tree adjoining grammar and the reluctant paraphrasing of text," Ph.D. dissertation, Macquarie University Sydney, 1999.
- [6] J. Carroll, G. Minnen, Y. Canning, S. Devlin, and J. Tait, "Practical simplification of english newspaper text to assist aphasic readers," in *Proceedings of the AAAI-98 Workshop on Integrating Artificial Intelligence and Assistive Technology*, 1998, pp. 7–10.
- [7] C. Fellbaum, *WordNet*. Wiley Online Library, 1998.
- [8] P. T. Quinlan, *The Oxford psycholinguistic database*. University Press, 1992.
- [9] W. Hwang, H. Hajishirzi, M. Ostendorf, and W. Wu, "Aligning sentences from standard wikipedia to simple wikipedia," in *Proceedings of the 2015 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, 2015, pp. 211–217.
- [10] Z. Zhu, D. Bernhard, and I. Gurevych, "A monolingual tree-based translation model for sentence simplification," in *Proceedings of the 23rd international conference on computational linguistics*. Association for Computational Linguistics, 2010, pp. 1353–1361.
- [11] K. Yamada and K. Knight, "A syntax-based statistical translation model," in *Proceedings of the 39th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics*. Association for Computational Linguistics, 2001, pp. 523–530.
- [12] R. Flesch, "A new readability yardstick." *Journal of applied psychology*, vol. 32, no. 3, p. 221, 1948.
- [13] K. Woodsend and M. Lapata, "Wikisimple: Automatic simplification of wikipedia articles." in *Aaai*, 2011.
- [14] S. Wubben, A. Van Den Bosch, and E. Kraemer, "Sentence simplification by monolingual machine translation," in *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Long Papers-Volume 1*. Association for Computational Linguistics, 2012, pp. 1015–1024.

- [15] P. Koehn, H. Hoang, A. Birch, C. Callison-Burch, M. Federico, N. Bertoldi, B. Cowan, W. Shen, C. Moran, R. Zens et al., "Moses: Open source toolkit for statistical machine translation," in *Proceedings of the 45th annual meeting of the ACL on interactive poster and demonstration sessions*. Association for Computational Linguistics, 2007, pp. 177–180.
- [16] S. M. Aluisio, L. Specia, T. A. Pardo, E. G. Maziero, and R. P. Fortes, "Towards brazilian portuguese automatic text simplification systems," in *Proceedings of the Eighth ACM Symposium on Document Engineering*, ser. DocEng '08. New York, NY, USA: ACM, 2008, pp. 240–248.
- [17] H. Saggion, E. Gómez-Martínez, E. Etayo, A. Anula, and L. Bourg, "Text simplification in simplex: Making texts more accessible," *Procesamiento del lenguaje natural*, no. 47, pp. 341–342, 2011.
- [18] A. Candido Jr, E. Maziero, C. Gasperin, T. A. Pardo, L. Specia, and M. Aluisio, "Supporting the adaptation of texts for poor literacy readers: a text simplification editor for brazilian portuguese," in *Proceedings of the Fourth Workshop on Innovative Use of NLP for Building Educational Applications*. Association for Computational Linguistics, 2009, pp. 34–42.
- [19] S. Bott, L. Rello, B. Drndarevic, and H. Saggion, "Can spanish be simpler? lexis: Lexical simplification for spanish," *Proceedings of COLING 2012*, pp. 357–374, 2012.
- [20] B. Drndarevic, S. Štajner, S. Bott, S. Bautista, and H. Saggion, "Automatic text simplification in spanish: a comparative evaluation of complementing modules," in *International Conference on Intelligent Text Processing and Computational Linguistics*. Springer, 2013, pp. 488–500.
- [21] S. Bautista and H. Saggion, "Can numerical expressions be simpler? implementation and demonstration of a numerical simplification system for spanish." in *LREC*, 2014, pp. 956–962.
- [22] S. B. Blasco, "Un modelo computacional para la simplificación automática de expresiones numéricas," 2015.
- [23] M. Shardlow, "A survey of automated text simplification," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 4, no. 1, pp. 58–70, 2014.
- [24] M. Zampieri, S. Malmasi, G. Paetzold, and L. Specia, "Complex word identification: Challenges in data annotation and system performance," in *Proceedings of the 4th Workshop on Natural Language Processing Techniques for Educational Applications (NLPTEA 2017)*, 2017, pp. 59–63.
- [25] A. Saint-Exupéry, *El principito*, 2003.
- [26] A. Eisele and Y. Chen, "Multiun: A multilingual corpus from united nation documents," in *Proceedings of the Seventh conference on International Language Resources and Evaluation*, D. Tapias, M. Rosner, S. Piperidis, J. Odjik, J. Mariani, B. Maegaard, K. Choukri, and N. C. C. Chair, Eds. European Language Resources Association (ELRA), 5 2010, pp. 2868–2872.
- [27] S. Spaulding, "A spanish readability formula," *The Modern Language Journal*, vol. 40, no. 8, pp. 433–441, 1956.
- [28] A. Anula, "Tipos de textos, complejidad lingüística y facilitación lectora," in *Actas del Sexto Congreso de Hispanistas de Asia*, 2007, pp. 45–61.
- [29] M. L. Forcada, M. Ginestí-Rosell, J. Nordfalk, J. O'Regan, S. OrtizRojas, J. A. Pérez-Ortiz, F. Sánchez-Martínez, G. Ramírez-Sánchez, and F. M. Tyers, "Apertium: a free/open-source platform for rule-based machine translation," *Machine translation*, vol. 25, no. 2, pp. 127–144, 2011.
- [30] J. L. Fleiss, "Measuring nominal scale agreement among many raters." *Psychological bulletin*, vol. 76, no. 5, p. 378, 1971.

Parqueo automático de un carro modelo a escala

Automatic car parking for a scale model car

José Pablo Chaves-Rodríguez¹

Chaves-Rodríguez, J. Parqueo automático de un carro modelo a escala. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 64-72.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5479>



¹ Licenciatura en ingeniería electrónica. Componentes Intel Costa Rica. Correo electrónico: jpablochr@gmail.com

Palabras clave

Arduino; Puente H; Regulador; Sensor de proximidad Inductivo; Sensor ultrasónico; Servomotor.

Resumen

Existe una problemática para muchos usuarios de automóviles el cual es realizar la maniobra de estacionamiento del vehículo en parqueos ya sea en batería o en paralelo, con esto se da que muchas personas les tome mucho tiempo el estacionar, les genera estrés y en algunos casos les es imposible parquear, y los que lo logran pueden realizar esta maniobra de mal manera desperdiciando espacio y/o dejando a otros vehículos con la imposibilidad de salir de donde se encuentran parqueados. Debido a esto el *Department of measurement - Aeronautical Instrumentation Laboratory* de la Universidad Técnica Checa en Praga (*Czech Technical University in Prague*) ha decidido realizar un sistema de parqueo automático aplicado primero a un carro modelo a escala en donde este sistema sea capaz de reconocer donde se encuentra disponible un espacio de parqueo, una vez identificado este, el carro de forma autónoma debe realizar la maniobra de parqueo, sin ningún tipo de asistencia por parte del conductor.

Este sistema debe tomar en cuenta el control de la dirección del vehículo, el desplazamiento en cualquier dirección, al mismo tiempo debe ser capaz de reconocer la distancia que hay entre los objetos alrededor del vehículo, identificar cuando se encuentra al lado de un espacio lo suficiente para estacionar en forma paralela y por último debe ser capaz de evitar colisiones contra objetos u obstáculos que se le presenten al frente y detrás del vehículo y mantener una distancia mínima de seguridad contra estos.

Para lograrlo fue necesario el uso de un microprocesador para la lectura de las entradas y el control de las salidas, sensores ultrasónicos para medir la distancia del vehículo y los objetos alrededor, sensor de proximidad inductivo para medir el desplazamiento lineal del vehículo, un puente H para el control del motor de corriente directa y un servomotor para el control de la dirección del carro.

Keywords

Arduino; Inductive Proximity Sensor; H Bridge; Servo motor; Regulator and Ultrasonic Sensor.

Abstract

There is a problem for many car users which is to maneuver the vehicle is in parking either battery or in parallel, it is given that many people take a long time to park, generates stress and in some cases to them it is impossible to park, and those who fail can perform this maneuver so bad wasting space or leaving other vehicles with the inability to leave where they are parked. Because of this the Department of measurement - Aeronautical Instrumentation Laboratory of the Czech Technical University in Prague (*Czech Technical University in Prague*) has decided to make an automatic parking applied first to a scale model car where the system is able to recognize where is available parking space, once identified this, the car must perform autonomously parking maneuver without any assistance from the driver.

This system should take into account the directional control of the vehicle, the displacement in any direction, at the same time must be able to recognize the distance between the objects around the vehicle, identify when next to a space enough parking shaped battery and finally be able to avoid collisions with objects or obstacles that are presented in front and behind the vehicle and maintain a minimum safety distance against them.

To achieve this it was necessary to use a microprocessor for reading control inputs and outputs, ultrasonic sensors to measure the distance of the vehicle and objects around inductive proximity sensor for measuring the linear displacement of the vehicle, a bridge H for controlling the DC motor and a servomotor to control the carriage direction.

Introducción

Los conductores de vehículos automotores enfrentan a diario el reto de tener que estacionar sus vehículos entre dos objetos ya sea de forma paralela o batería (como se ilustra en la figura 1), y para esto se requiere de mucha práctica, agilidad y coordinación, y aun así, el resultado del estacionamiento no es siempre el mismo.

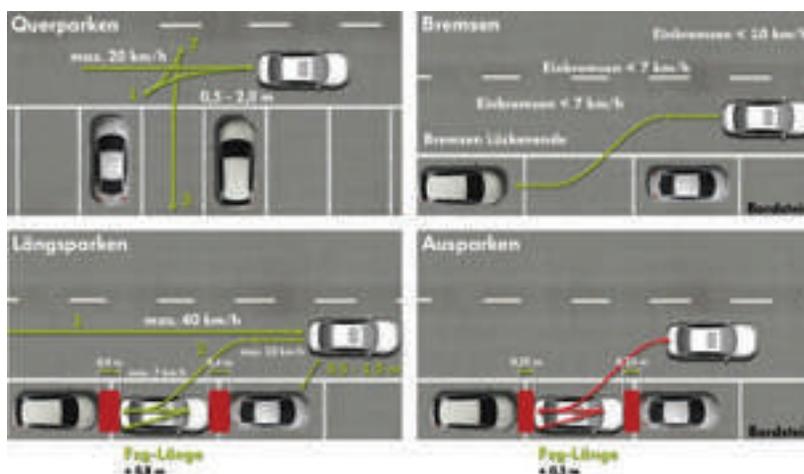


Figura 1. Ilustración de tipos de estacionamiento y maniobra para realizarlos, a la izquierda arriba estacionamiento en forma de batería y derecha arriba en forma paralela.

Es por esto que se cree en la necesidad de realizar un sistema automatizado que asista al conductor y le permita estacionar el vehículo sin la necesidad del usuario de intervenir. Aun no hace muchos años que llegaron los primeros sistemas a algunas marcas y aunque son cada vez más, no está tan generalizado.

Este artículo aborda los detalles en el diseño de un sistema de parqueo automático de un carro modelo a escala en posición paralela, donde se describirá todos los elementos necesarios, así como los algoritmos de control, donde lo que se busca es realizar un algoritmo de control automático retroalimentado con sensores que le permitan reconocer un espacio libre de parqueo batería, y estacionar el vehículo de forma autónoma evitando la colisión con objetos durante la maniobra.

Diseño de solución

Para el desarrollo del diseño se hizo una segmentación según los objetivos planteados, en el cual se dividió en 5 partes, Control de desplazamiento, control de dirección, control para evasión de colisiones, reconocimiento de espacio libre de estacionamiento y Algoritmo de parqueo.

Control de desplazamiento

Para el control de desplazamiento se utilizó un sistema de retroalimentación el cual es un sensor inductivo de proximidad, se detectan los impulsos enviados por el sensor al girar las ruedas y su conteo sirve como medida de la distancia recorrida y su frecuencia como medida de la velocidad.

Para escoger el controlador del motor se debe asegurar que este sea capaz de entregar la tensión y la corriente demandada por el motor para romper la inercia, así como la capacidad de invertir el sentido de giro, ya que este es el momento que el motor exige mayor potencia, a la vez debe tener un sistema de entrada que nos permita controlar la entrega de tensión al motor y así poder definir la potencia que se entrega al motor, para efectos de este artículo se hará referencia de un controlador que tiene como entrada una señal de PWM para regular la entrega de tensión, así como señales que nos permiten definir si el motor gira en sentido de las agujas del reloj o en contra.

Una vez esto, se seleccionó el contador de pulsos que el sensor inductivo emite. Se debe implementar un integrado que nos permita reconocer cuando estos pulsos se dan y los almacene en un valor digital binario, para lo cual se recomienda un contador asíncrono ascendente, este nos permite contar los pulsos recibidos del sensor sin necesidad de un reloj y también cuenta con una señal de control de reinicio.

El sistema de procesamiento de datos debe ser capaz de controlar e interpretar los sensores, de manera que pueda interpretar los valores obtenidos de los sensores, pasarlos a unidades métricas conocidas para así ser ingresados a algún algoritmo de control que pueda generar la salida al sistema que evite una colisión para el caso del sensor ultrasónico o de un desplazamiento determinado para el sensor inductivo de proximidad.

Para la implementación de la solución se va a utilizar un sistema embebido, (puede ser el Arduino ADK) dado que este nos permita realizar todas las operaciones deseadas, se ocupa un control de muchas entradas/salidas digitales, así como el uso de bibliotecas que nos facilitan el control de servomotores y la bibliotecas PID que nos permite realizar el control automático tanto del desplazamiento como de reducción de velocidad ante obstáculos [1].

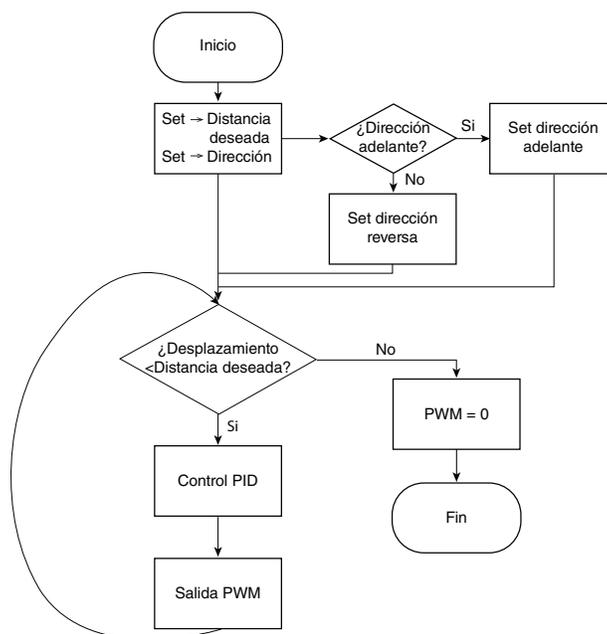


Figura 2. Algoritmo para desplazamiento del carro modelo a escala [2].

Como se puede observar en el algoritmo (figura 2) al inicio se le define una dirección de desplazamiento y una distancia deseada por desplazarse en esa dirección, una vez esto, el algoritmo se encarga de reconocer a que dirección debe moverse, y se colocan los valores lógicos en las entradas del puente H para que defina esta dirección, colocando en alto o bajo (según sea la dirección deseada) en las señales de control. Dado esto se lleva la aplicación del control automático que nos permite conocer cuánto debe ser la tensión entregada al controlador del motor para lograr este desplazamiento mediante el ajuste del valor de PWM [3].

Para el control del desplazamiento lo primero que debemos hacer es un modelo matemático de la planta, esto consiste en obtener la velocidad del motor CD con respecto a la tensión de entrada, que luego esta tensión de entrada se convierte en una relación de PWM por lo que al final se convierte en un función de transferencia de m/PWM, para esto lo primero que se hace es conocer el modelo teórico que debemos esperar de la planta. Una vez esto se debe de obtener el modelo experimental que represente está función en nuestro sistema.

La lectura del valor de entrada (PWM), el tiempo (en segundos) y la salida (en metros) son leídos por el sistema embebido (Arduino ADK por ejemplo). Estos valores deben ser llevados a una herramienta matemática como MATLAB, que nos permita con estos datos generar el modelo matemático de la planta, y una vez obtenido esto buscar el control automático que sea necesario para poder controlar el desplazamiento del vehículo [2].

Para el control automático de la planta se debe buscar un modelo que nos permita controlar dicha planta mediante tipos de control clásicos (PD, PI o PID), escogiendo el que mejor se ajuste y nos permita tener el menor tiempo de estabilización y un valor en estado estacionario de 1, obteniendo algo como lo ilustrado en la figura 3 [4].

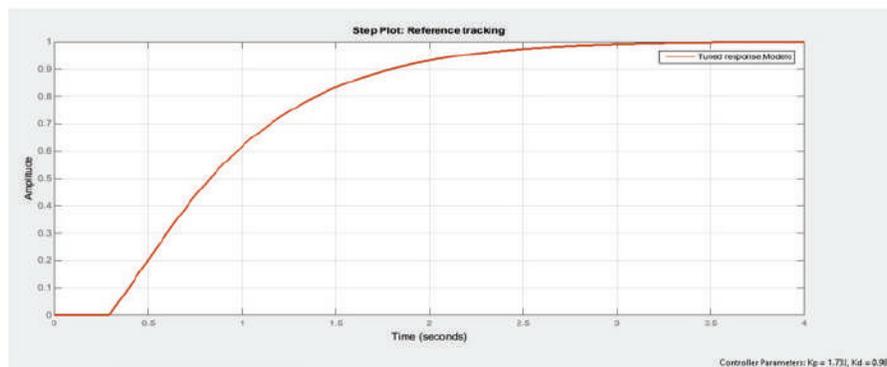


Figura 3. Respuesta al escalón del sistema con control PD [2].

Conociendo los valores de k_p , k_i y k_d de nuestro controlador se incorpora este regulador junto con la planta. Se debe llevar simulaciones con alguna herramienta que nos permita conocer cual sera el comportamiento de la planta ante este control implementado. Para esto se utiliza una vez más la herramienta de MATLAB simulink.

Control de Dirección

Para el control de la dirección se implementa dentro del sistema embebido un algoritmo que controla el servomotor de modelismo donde se indica un ángulo deseado del motor y gira el eje del motor hasta este valor, dicho algoritmo se ilustra en la figura 4. Para el ajuste del ángulo de dirección se utilizó como entrada un valor definido por el usuario para corregir la dirección del vehículo, una vez hecho esto se le entrega el valor al procesador de datos.



Figura 4. Algoritmo de control de dirección [2].

Control para evasión de colisiones

Cuando se está realizando la maniobra de parqueo debemos procurar no colisionar contra objetos o vehículos alrededor durante las maniobras de parqueo, por lo tanto para esto debemos realizar una búsqueda de la distancia de los objetos aledaños a nuestro vehículo y cuando este se encuentre cerca de chocar contra alguno de estos que detenga el avance y se aleje de este. Para lograr esto con el uso del sensor ultrasónico se definió el algoritmo mostrado en la figura 5, que nos permite hacer que el carro ante la posible colisión contra un objeto este se aleje de este y al mismo tiempo que no choque contra otro que se encuentre al frente de este, como el caso cuando se encuentra entre dos carros.

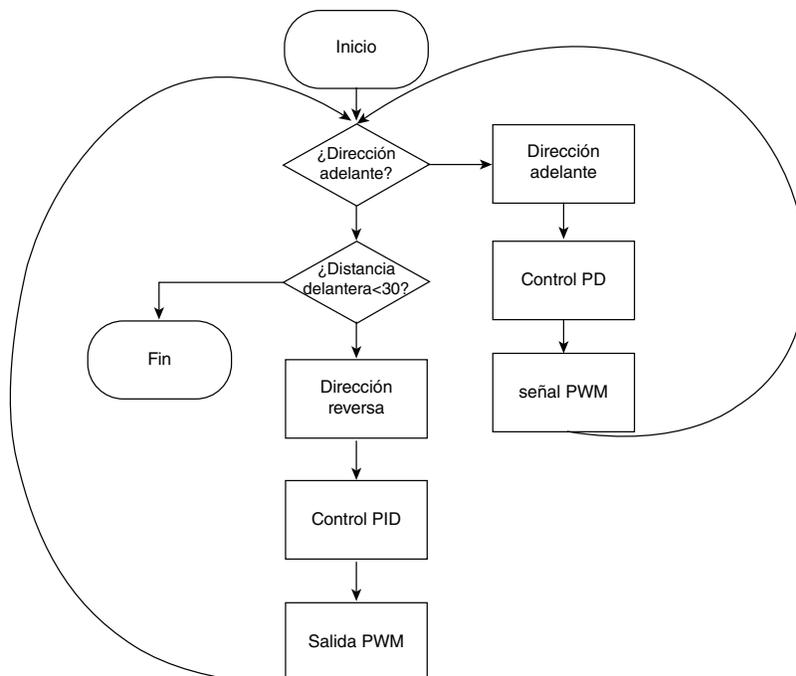


Figura 5. Algoritmo para evitar colisiones durante maniobras de parqueo [2].

Primero se desarrolla un modelo analítico basado en un análisis teórico del comportamiento de la planta, el mismo que ya se explicó en la sección de control de desplazamiento.

Para el control de evasión de colisiones se emplea un sistema de realimentación a lazo cerrado, se crea un control capaz de que si hay un cambio en la distancia, se detecte como una perturbación la cual debe ser corregida por el sistema de control diseñado, lo cual deja un esquema de la siguiente manera (figura 6) [2]:

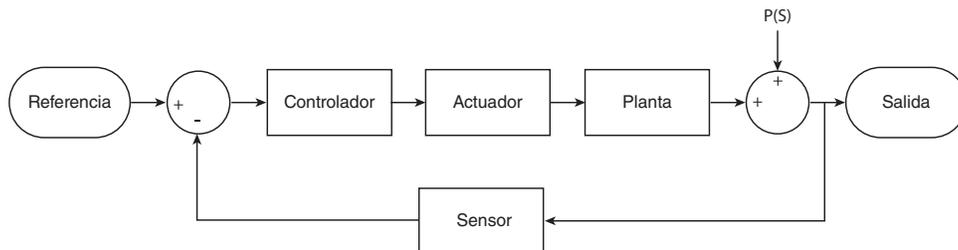


Figura 6. Diagrama de bloques del sistema de control de colisión [2].

Reconocimiento de espacio libre de estacionamiento

Para la implementación de este algoritmo se usan sensores ultrasónicos colocados a los extremos del carro modelo a escala como entrada al sistema, y como salida se tiene el desplazamiento mediante el uso del motor CD controlado por el puente H, donde la lógica utilizada para implementar esto se observa en la figura 7.

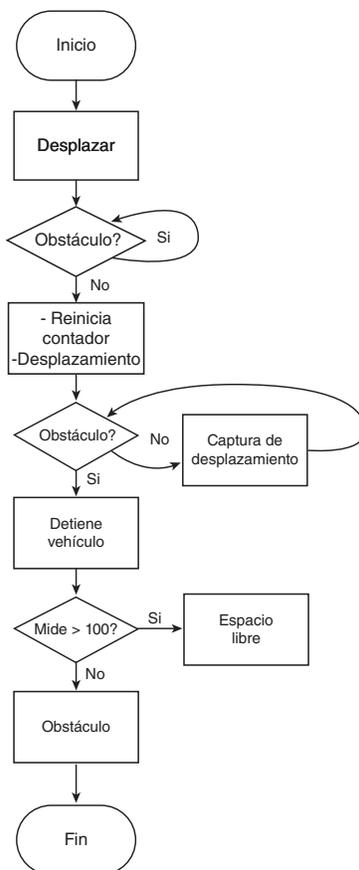


Figura 7. Algoritmo para el reconocimiento de espacios libres de parqueo [2].

En este algoritmo se inicia reconociendo donde termina el primer objeto al lado del vehículo, una vez esto, se inicia la cuenta del desplazamiento hasta encontrar el siguiente objeto delante de este, si la distancia entre estos dos objetos es mayor o igual a una distancia determinada significa que es posible realizar la maniobra de parqueo.

La distancia mínima requerida para parquear se conoce mediante el desplazamiento del vehículo de manera manual hasta reconocer cuanto es el mínimo espacio que requería este carro para poder colocarse entre dos objetos, después de varias iteraciones nos lleva al valor referente.

Algoritmo de parqueo

Cuando se tienen los diferentes módulos necesarios para realizar la maniobra de parqueo solo nos queda generar un último algoritmo que llame a estos de forma correcta cuando sea necesario para alcanzar el objetivo de estacionar el vehículo sin colisiones, para esto se sigue el flujo que se muestra en la figura 8, donde el rombo “Espacio libre” llama al algoritmo que nos permite identificar si hay espacio suficiente para realizar la maniobra de parqueo, una vez que se tiene identificado el espacio, se debe empezar la maniobra de retroceso, (se debe aclarar que dado que el control de dirección es a lazo abierto no hay una retroalimentación por lo tanto este algoritmo que realiza el retroceso sigue una serie de cambios en el ángulos de la llantas, el cual se llega a este mediante la iteración), conjuntamente con las maniobras de retroceso se debe correr el algoritmo que nos indica si el vehículo se encuentra contra un objeto a colisionar, en el que como se mencionó en la sección “Control para evasión de colisiones” se ve que una vez alcanzada la distancia en reversa contra el objeto que se encuentra en la parte atrás del espacio de parqueo, este se desplaza de forma lineal hacia adelante y se acomoda de forma que quede a una distancia definida contra el objeto delante del espacio de parqueo [2]. (Chaves Rodriguez, 2015)

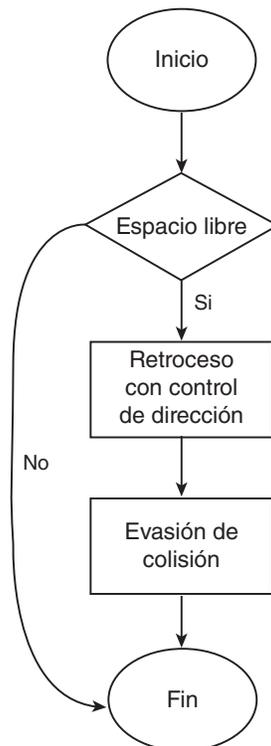


Figura 8. Diagrama de parqueo automático de carro a control remoto [2].



Conclusiones

El diseño descrito anteriormente es una propuesta a un sistema de control para el parqueo automático de un carro modelo a escala donde se muestra que con el uso del control clásico podemos lograr un parqueo automático donde la necesidad de sensores son solo dos. El procesamiento de datos es llevado por un sistema embebido con poca demanda de potencia pero que nos permite aplicar la manipulación de los datos recibidos por los sensores y las señales de salida. El control de la dirección sin una retroalimentación no nos permite saber exactamente hacia donde se mueve el vehículo con exactitud, por lo tanto es recomendable usar un sistema de retroalimentación de la dirección ya que si las condiciones son fuera de las esperadas en el espacio de parqueo el algoritmo de parqueo puede fallar.

Referencias

- [1] Arduino. (10 de Junio de 2015). *Arduino*. Obtenido de <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMegaADK?from=Main.ArduinoBoardADK>
- [2] Chaves Rodriguez, J. P. (2015). *Parqueo automático de un carro a control remoto*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- [3] Chen, H.-C. (2013). *An H-bridge driver using gate bias for DC motor control*. Taiwan: IEEE.
- [4] Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderno*. Madrid: PEARSON EDUCATION, S.A.

Producción inteligente: Diseño de un modelo para el proceso de implementación de Cadenas de Suministros Inteligentes

Smart Production: Design of a model for the process of implementing Smart Supply Chains

Eliécer Villegas-Jiménez¹, Johanna Madrigal-Sánchez²,
Johannes Dirnberger³

Villegas-Jiménez, E; Madrigal-Sánchez, J; Dirnberger, J.
Producción inteligente: Diseño de un modelo para el proceso de implementación de Cadenas de Suministros Inteligentes. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 73-82.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5480>



- 1 Estudiante. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: eliecer1011@gmail.com
- 2 Profesora. Ingeniera en Producción Industrial. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: jmadrigal@tec.ac.cr
- 3 Profesor. Ingeniero Industrial. FH JOANEUM University of Applied Sciences. Austria. Correo electrónico: johannes.dirnberger@fh-joanneum.at

Palabras clave

Información en tiempo real; Cadenas de Suministros; elementos; confianza; socios.

Resumen

La Administración de la Cadena de Suministros y la inclusión de la tecnología como una herramienta para su eficiencia, lo que hoy se denomina Cadenas de Suministro Inteligentes. Este tema es de alta importancia para las empresas en la actualidad, por esta razón el presente artículo hace una revisión de este bajo dos escenarios, el primero basado en el proceso utilizado por las empresas de manufactura en Costa Rica para su Cadena de Suministros y el segundo fue orientado a entender la implementación de un enfoque inteligente de acuerdo con el criterio de expertos austriacos. Tomando como base la información recolectada, el estudio diseña un modelo para la gestión de cadenas de suministro inteligentes con las características más relevantes para cada escenario. Finalmente, el análisis permitió concluir que actualmente la información en tiempo real es esencial para la Administración de la Cadena de Suministros.

Keywords

Real-time information; Supply Chains; items; trust; partners.

Abstract

Supply Chain Management and the technology adoption as a tool to increase efficiency is also known as Smart Supply Chain. This topic has become of importance in companies nowadays. Thus, this research analyzes this topic within two scenarios. The first one based on the process used by manufacturing companies in Costa Rica to their Supply Chain and the second was oriented to understand the implementation of a smart approach according to Austrian expert criteria. Based on the collected information a model for each scenario was designed with the most relevant characteristics. Finally, the analysis allowed to conclude that currently real-time information is essential for Supply Chain Management.

Introducción

De acuerdo con [1] la producción inteligente está cambiando la forma en la que las compañías administran la Cadena de Suministros y la responsabilidad por los bienes y las entregas, de igual manera acusa que el enfoque operacional se basa en información en tiempo real, siendo esta una de las claves para el futuro éxito de la Cadena de Suministros; en el mismo contexto de la manufactura inteligente [2] mencionan que la implementación de tecnologías de información y comunicación, tales como sistemas de identificación por radio frecuencia (RFID), IOT, sistemas cibernéticos, “big data” y computación en la nube se cree que facilitará el incremento de la productividad de los sistemas de manufactura, la calidad de los productos así como la flexibilidad de la manufactura, de esta manera la tecnología toma una relevante posición en el nuevo concepto inteligente de manufactura facilitando la toma de decisiones, el monitoreo de procesos y solución de problemas. “La tecnología puede ser usada para monitorear y encontrar problemas, por lo que los expertos en la Cadena de Suministros se pueden concentrar en la solución de problemas” [1].

Como lo menciona [3], la Gestión de la Cadena de Suministros habla de “tener el artículo correcto en la cantidad correcta en el momento correcto en el lugar correcto por el precio

correcto en las condiciones correctas para el cliente correcto” de esta manera la Administración de la Cadena de Suministros se vuelve uno de los grandes retos para empresas modernas, de igual manera se visualiza como una oportunidad valiosa en cuanto a los procesos de creación de valor en las compañías. Desde sus inicios, lo más barato, más rápido y mejor ha sido el punto de meditación de los administradores de la Cadena de Suministros [3], desde este panorama existen diferentes enfoques para la reducción de costos y el incremento de la eficiencia, como menciona [4] para manejar los crecientes desafíos de forma correcta la Cadena de Suministros debe convertirse más inteligente, asociados con esta afirmación es posible enmarcar diferentes escenarios, como la utilización de dispositivos inteligentes, minería de datos y la importancia de las tecnologías de información para promover el desarrollo de Cadenas de Suministros Inteligentes.

En el contexto de eficiencia en la Administración de la Cadena de Suministros en manufactura, [5] menciona que los principales controladores de esta área son el Manejo de inventarios, Outsourcing, Transporte, Tecnologías de información, Instalaciones y finalmente Precios; en esta misma línea de la definición de los factores de éxito para las Cadenas de Suministros [6] proponen cinco pilares para alcanzar una cadena sostenible en la compañía: “Orientación” que está relacionada con el soporte de la alta administración al proceso, “Continuidad” basada en la creación de relaciones de tipo ganar-ganar con los proveedores, “Colaboración” con los socios utilizando tecnologías de información, “Administración del riesgo” en todo el proceso y “Proactividad” relacionada con la innovación.

Además, [7] menciona que conforme el mundo empieza a trabajar de forma diferente se pueden apreciar como emerge un nuevo tipo de Cadena de Suministros, una Cadena de Suministros más inteligente y con tres características principales, las cuales son:

- Instrumentación: la información de la Cadena de Suministros que antes era creada por personas ahora será generada por dispositivos y sistemas que en tiempo real informarán de eventos que ocurren, así como el estado de planes, compromisos, recursos, inventarios y requerimientos de los clientes.
- Interconexión: una interacción no solo entre clientes, proveedores y sistemas tecnológicos sino también entre objetos a lo largo de la Cadena de Suministros que monitoreen su flujo, permitirá la creación de planes y toma de decisiones a escalas mundiales.
- Inteligencia: los ejecutivos recibirán un apoyo en cuanto a la evaluación de compromisos, mediante la simulación de diversos cursos de acción, así mismo una Cadena de Suministros más inteligente será capaz de aprender y tomar decisiones por sí misma sin necesidad de intervención humana.

En [2] la investigación acerca de la manufactura inteligente y la Administración de la Cadena de Suministros proponen que para alcanzar el éxito en estos ámbitos se debe responder no solo a los problemas de tecnología y manufactura sino también a los relacionados con toda la Cadena de Suministros, así mismo como proposiciones adicionales hacen mención a que la operación de las Cadenas de Suministros es conducida por los datos, además que para el diseño y conducción de una red de fabricación se debe tomar en cuenta el conocimiento no solo los costos de mano de obra.

Siguiendo con la línea enmarcada en la conducción de la Cadena de Suministros por los datos [8] describen que la Administración de la Cadena de Suministros se denomina básicamente como “el diseño, planeación, ejecución, control y monitoreo de los bienes” y a la misma vez se puede visualizar como un enfoque que administra los movimientos de los materiales en la organización tanto dentro como fuera de ella y desde un punto de vista de Cadenas Inteligentes se apoya en la utilización del internet de las cosas (IoT), sistemas RFID y sistemas

de posicionamiento global (GPS) para mantener información actualizada acerca del estado de los bienes y lograr que estos lleguen en perfecto estado al cliente; mediante la utilización de estas tecnologías se alcanza un control del flujo de los productos, la información y las finanzas ayudando al crecimiento del negocio y brindando una plataforma global a la organización para desarrollar y expandir una mayor satisfacción del consumidor [2].

Según lo expuesto por [7] y que es respaldado por distintos autores como [9], la aplicación de Cadenas de Suministro Inteligentes con sus características de instrumentación, interconexión e inteligencia permitirá a las empresas enfrentar los principales retos de sus Cadenas de Suministros, generando múltiples beneficios; en la figura 1 se muestra un resumen de los principales retos y beneficios de utilización de un enfoque inteligente para la administración de la área bajo mención según la literatura consultada.

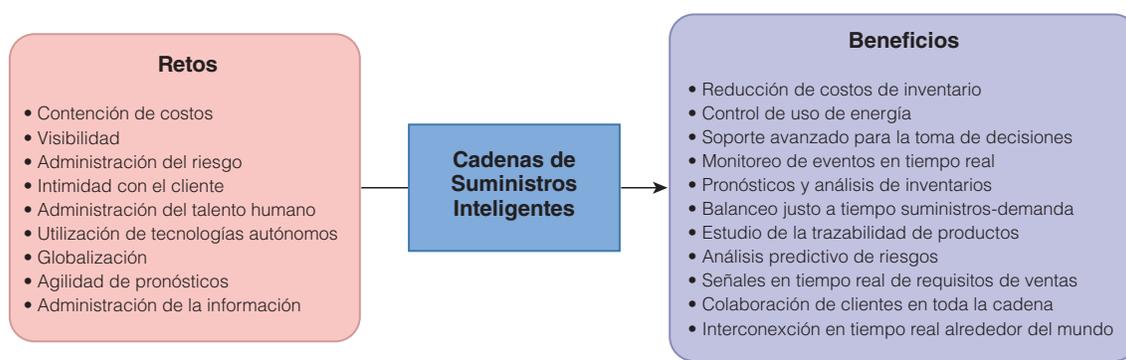


Figura 1. Principales retos y beneficios de las Cadenas de Suministros Inteligentes de acuerdo con la teoría.

Metodología

Proceso general de la investigación

El presente trabajo fue desarrollado como una investigación científica bajo la metodología de estudio de casos múltiples con un enfoque cualitativo exploratorio, ya que como sugiere [10] este tipo de orientación de estudio pretende identificar elementos o variables que influyen en el desarrollo de un fenómeno; de igual manera [11] menciona que la aplicación de estudios de casos es de gran utilidad cuando se desea analizar eventos contemporáneos, en los cuales se desea identificar el por qué y el cómo de los mismos sin la necesidad de tener control sobre ellos, descripciones que se adaptan al enfoque de este proyecto; además [12] describen que el estudio de caso está siendo cada vez más aceptado como instrumento de investigación científica en el área empresarial al comprobarse que la comprensión de los procesos de toma de decisiones, implementación y cambios en las organizaciones requieren de un análisis no ejecutable con números elevados de observaciones. A partir de esto se plantea como objetivo estudiar el proceso utilizado por las empresas de manufactura en Costa Rica para administrar su Cadena de Suministros y entender el procedimiento que conlleva la implementación de una Cadena de Suministros Inteligente, la metodología general seguida durante el proyecto se muestra en la figura 2.

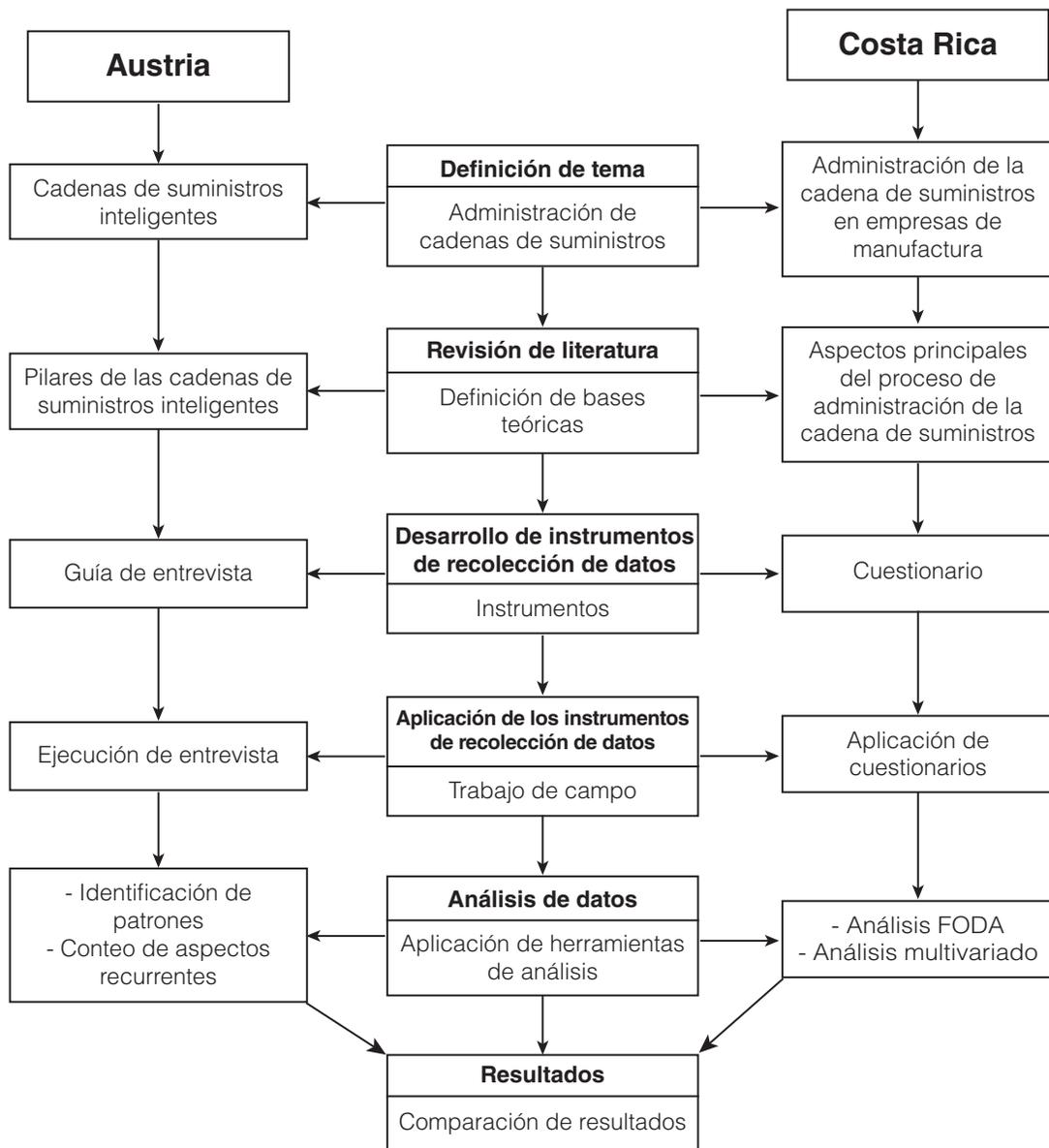


Figura 2. Proceso general de la investigación

Selección de la muestra

Se definieron dos poblaciones metas para el estudio y ambas se realizó un muestreo por conveniencia que de acuerdo con [13] tiene un enfoque práctico el cual busca obtener la mejor información en el menor tiempo posible, tomando en cuenta las circunstancias que rodean al investigador y al grupo de interés; la primera de ellas las empresas de manufactura donde se analizaron once casos de diferentes sectores como dispositivos médicos, productos de cuidado personal, bebidas, alimentos, dispositivos electrónicos, entre otros; la segunda los expertos austriacos en el tema de Cadenas Suministros en este caso se analizó el criterio tres personas con amplia experiencia en al área en industrias como la automotriz, papel, electrónica, vidrio, construcción y metal.

Herramientas de análisis de datos

- Análisis de entrevistas: una vez realizadas las entrevistas se recurrió al uso de técnicas que permitieran obtener los aspectos más relevantes de las mismas, el análisis se basó en el uso de cuadros fundamentados en los métodos de Identificación de patrones y el Conteo de aspectos recurrentes, para de esta manera identificar cuales puntos son considerados claves en el proceso por parte de los expertos austriacos.
- Análisis de cuestionarios: Inicialmente fue desarrollado un Análisis FODA del método aplicado por las compañías manufactureras en Costa Rica para administrar su Cadena de Suministros con el fin de caracterizar el estado actual de mismo, además con un enfoque más estadístico se analizó los datos provenientes de los cuestionarios utilizando el software Minitab, el cual facilitó la aplicación de un Análisis Multivariado empleando un Análisis de Elementos con los factores establecidos previamente de forma teórica para determinar cuáles son de importancia para caracterizar el proceso estudiado según su consistencia interna, esto basado en el criterio Alfa Cronbach, el cual de acuerdo con [14] se puede evaluar con las siguientes reglas $\geq .9$ – excelente, $\geq .8$ – bueno, $\geq .7$ – aceptable, $\geq .6$ – cuestionable, $\geq .5$ – pobre, $< .5$ – inaceptable, una vez determinados los elementos más importantes para el proceso se procedió a realizar un estudio de Componentes Principales fundamentado en el uso del principio de “Eigenvalue” el cual define que los factores a incluir en la caracterización final del área estudiada son aquellos cuyo valor es mayor que la unidad, finalmente para establecer los elementos que deben incluirse en cada factor se realizó un Análisis de Factores donde como método de extracción se aplicó Máxima Verosimilitud, ya que de acuerdo con distintos autores [15] esta es la técnica más recomendada por su versatilidad para calcular un rango amplio de índices de bondad de ajuste, así como la ejecución de pruebas de significancia estadística con los datos disponibles y para la rotación de los datos se usó el método Varimax que según lo descrito por [16] es el procedimiento de mayor uso cuando se busca que cada elemento sea representativo únicamente en uno de los factores definidos.

Resultados

1. Administración de la Cadena de Suministros. Estudio de caso en Costa Rica
 - Análisis FODA

Los resultados del Análisis FODA son mostrados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Análisis FODA

Fortalezas (F)	Oportunidades (O)	Debilidades (D)	Amenazas (A)
<ul style="list-style-type: none"> - Apoyo de la gerencia al proceso - Visibilidad de la demanda - Proactividad en el proceso - Uso programas computarizados para administrar áreas específicas de la Cadena de Suministros como optimizadores de rutas, ERP - Integración de distintas áreas de la compañía - Desempeño adecuado en términos de demanda - Satisfacción del cliente - Organización de los procesos 	<ul style="list-style-type: none"> - Automatización del proceso de recolección de la información - Utilización constante de la información en tiempo real para la toma de decisiones - El uso de tecnologías de información a lo largo de la Cadena de Suministros - Brindar mayor importancia a aspectos como Internet de las cosas y Computación en la nube en el proceso 	<ul style="list-style-type: none"> - Escasa importancia brindada al aspecto de relaciones con los socios de la Cadena de Suministros - Alta dificultad en la administración de los pronósticos - Dificultad en la administración del talento humano participante en el proceso - Ausencia de personal dedicado a la administración del riesgo 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad de manejo de tiempos de espera de los productos - Elección de proveedores que no se adapten a las necesidades de la compañía - Incumplimiento en fechas de entrega, lo que puede generar pérdida de clientes

- Análisis multivariado

El modelo definido de forma teórica para el proceso de Administración de la Cadena de Suministros se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Modelo teórica del proceso de Administración de la Cadena de Suministros

Factor	Composición interna (Elementos)
Procesos internos	Manejo de inventarios (MI)
	Transporte (TN)
	Método de definición de precios (MDP)
	Apoyo de la gerencia al proceso (AGP)
	Administración de riesgo (AR)
	Condiciones de las instalaciones (CDI)
	Proactividad en el proceso (PP)
Entes externos	Relaciones con los proveedores (RP)
	Intercambio de información con proveedores (INP)
	Outsourcing (OTS)
Recolección de la información	Sistemas de radio frecuencia (RFID)
	Sistemas de posicionamiento global (GPS)
	Sensores (SNS)
Administración de la información	Información en tiempo real (ITR)
	Tecnologías de información (TI)
	Computación en la nube (CP)
	Big data (BD)
	Internet de las cosas (IOT)

Con esta información se procedió a realizar un Análisis de Elementos basado en el Alfa de Cronbach para definir los ítems de importancia estadística para el proceso, en el cuadro 3 se muestran los elementos que fueron sustraídos en cada corrida realiza y así mismos la evolución criterio de decisión utilizado.

Cuadro 3. Alfa de Cronbach y elemento sustraído por corrida

# Corrida	Alfa Cronbach	Elemento sustraído
1	0,8531	-
2	0,8757	RFID
3	0,8932	BD
4	0,9003	IOT
5	0,9065	CP
6	0,9121	SNS
7	0,9124	MI
8	0,9130	GPS
9	0,9126	OTS
10	0,9104	RP

Finalmente se realizó un Análisis de Componentes Principales para definir la cantidad de factores a incluir en el modelo final y un Análisis de Factores para la agrupación de los elementos finales en los factores definidos, el resultado del modelo final se muestra en la figura 3,



Figura 3. Modelo estadístico del proceso de Administración de la Cadena de Suministros utilizado por las empresas de manufactura en Costa Rica

2. Cadenas de Suministros Inteligentes. Estudio de caso en Austria

La información recolectada durante las entrevistas permitió identificar los aspectos recurrentes que muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Datos recurrentes en las entrevistas

Aspecto	Conteo	Comentario
Generación de información confiable y relevante	2/3	U de los principales beneficios del uso de este enfoque
Uso de información en tiempo real	3/3	Importante en casos como puntos atípicos
Selección de información	3/3	Debe ser posible detectar puntos atípicos
Buenas relaciones con los socios de la Cadena de Suministros	3/3	Aspecto considerado parte fundamental de una Cadena de Suministros Inteligentes
Uso de computación en la nube	2/3	Útil para compartir información
Uso de plataforma adecuada para compartir información	3/3	Esencial para compartir información relevante con los socios
Reducción de almacenamientos	3/3	Beneficio destacado por los expertos
Reducción de costos	3/3	Uno de los objetivos y beneficios del enfoque

Analizada la información y definidos los aspectos de mayor importancia, se propone un modelo a utilizar por las empresas que deseen implementar un enfoque inteligente para administrar su Cadena de Suministros, este se muestra en la figura 4.

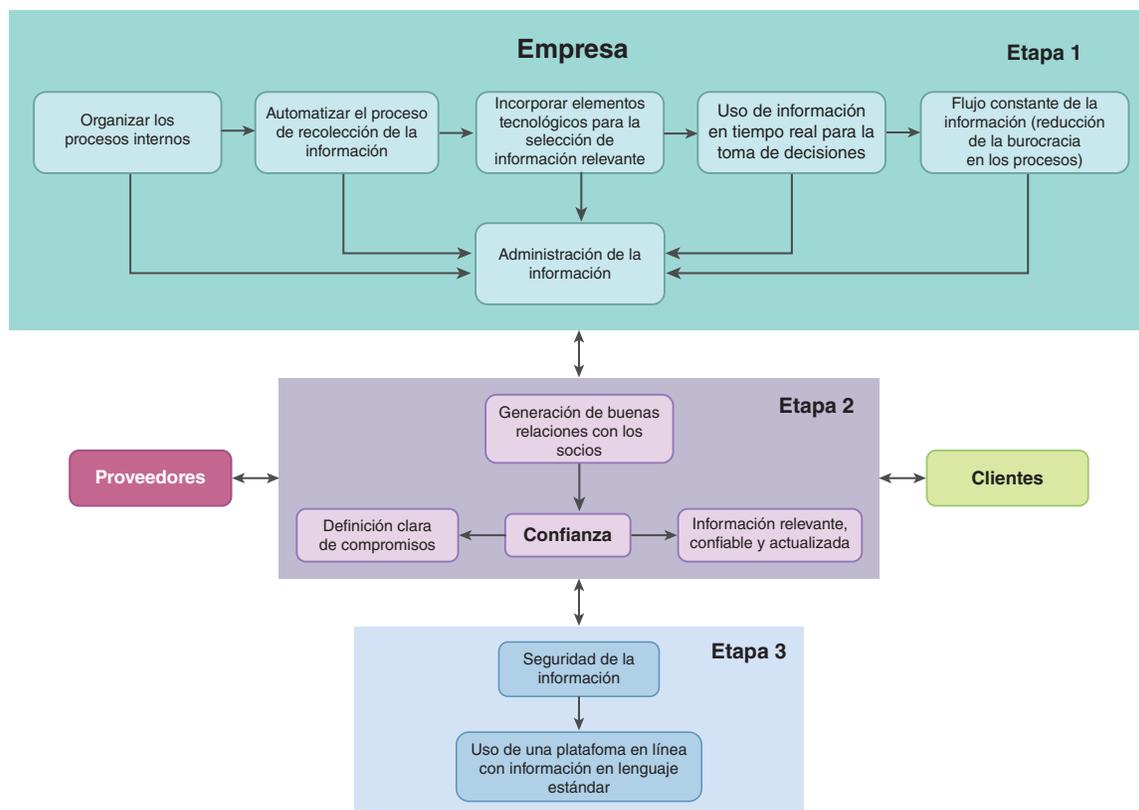


Figura 4. Modelo para proceso de implementación de Cadenas de Suministros Inteligentes.

Conclusiones

Los aspectos fundamentales del proceso utilizado por las empresas de manufactura en Costa Rica para administrar su Cadena de Suministros están relacionados principalmente con proceso internos, donde una evaluación de dichos puntos a nivel interno de la compañía permitiría a las

empresas tener una panorama bastante claro del desempeño del área; mientras que de acuerdo con los expertos austriacos el enfoque inteligente en las Cadenas de Suministros está basado fundamentalmente en la administración eficaz de la información, que generaría múltiples beneficios como la reducción de costos, reducción de almacenamientos, producción de mejor información, reducciones de tiempos de ciclo de los productos, incremento ganancias, entre otros.

Asociado a las diferencias encontradas entre los procesos analizados se visualiza la implementación de un enfoque inteligente en la Administración de la Cadena de Suministros como importante oportunidad para las empresas de manufactura en Costa Rica para enfrentar los retos de un mercado exigente y en constante cambios como el actual.

Referencias

- [1] Palmquist, D. (2014). 5 Trends Driving the Movement Toward Smart Manufacturing. Obtenido de 5 Trends Driving the Movement Toward Smart Manufacturing: <http://mktforms.gtnexus.com/rs/gtnexus/images/GTNexus-5-Trends-Driving-the-Movement-Toward-Smart-Manufacturing.pdf>
- [2] Lin, Y., Ieromonachou, P., & Sun, W. (2016). Smart manufacturing and supply chain management. International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences , 1-5.
- [3] Wu, L., Yue, X., Jin, A., & Yen, D. (2016). Smart supply chain management; a review and implications for future research. The International Journal of Logistics Management, Vol. 27, 395-417.
- [4] Butner, K. (2010). The smarter supply chain of the future. Strategy & Leadership. Vol. 38, 22-31.
- [5] Matthew, J. (2017). Supply Chain Management (SCM) Utilization Based on SCM Drivers in Manufacturing Industry. Jurnal Pengurusan, Vol. 50, p1-16.
- [6] Beske, P., & Seuring, S. (2014). Putting sustainability into supply chain management. Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 19 pp.322-331.
- [7] IBM. (2009). The smarter supply chain of the future. Obtenido de The smarter supply chain of the future: <https://www.ibm.com/downloads/cas/AN4AE4QB>
- [8] Yuvaraj, S., & Sangeetha, M. (2016). Smart Supply Chain Management using Internet of Things(IoT) and Low power Wireless Communication Systems. IEEE WiSPNET conference, 555-558.
- [9] Mussomeli, A., Gish, D., & Laaper, S. (2016). The rise of the digital supply network. Obtenido de The rise of the digital supply network: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3465_Digital-supply-network/DUP_Digital-supply-network.pdf
- [10] Martínez, C. (2006). El método de estudio de caso: Estrategia metodológica de la investigación científica. Pensamiento y Gestión, 20, 165-193.
- [11] Yin, R. K. (1994). Case Study Research: Design and Methods. SAGE Publications.
- [12] Villarreal, O., & Landeta, J. (2010). El estudio de casos como metodología de investigación científica en dirección y economía de la empresa. Una aplicación a la internacionalización. Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa, Vol 16, 31-52.
- [13] Quintana, A. (2006). Metodología de Investigación.
- [14] Gliem, J. A., & Gliem, R. R. (2003). Calculating, Interpreting, and Reporting Cronbach's Alpha Reliability Coefficient for Likert-Type Scales. Midwest Research to Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education.
- [15] Madrigal, J. (2012). Assessing Sustainability of the Continuous Improvement Through the Identification of Enabling and Inhibiting Factors. Obtenido de Assessing Sustainability of the Continuous Improvement Through the Identification of Enabling and Inhibiting Factors.
- [16] Méndez, C., & Rondón, M. (2012). Introducción al análisis factorial exploratorio. Revista Colombiana de Psiquiatría, 197-207.

Design and implementation of a 6 degrees of freedom controller for the GRACE system

Diseño e implementación de un controlador de 6 grados de libertad, para el sistema GRACE

William Jesús Retana-Calvo¹

Retana-Calvo, W. Design and implementation of a 6 degrees of freedom controller for the GRACE system. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 83-90.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5481>



¹ Escuela de ingeniería electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Correo Electrónico: wretanacalvo@gmail.com



Keywords

Algorithm; Controller; Photo Microscope.

Abstract

In this article, the reader can obtain information about the 3D robotic scanner of Groningen University. The design process including the 6 Degrees of freedom control for the movements, also how the light is regulated in order to provide accurate data with an algorithm and a constant current power supply is shown in the document. The implementation and results are shown therefore the reader can analyze the materials and methods for further projects.

Palabras clave

Algoritmo; Controlador; Foto Microscopio.

Resumen

En este artículo el lector podrá obtener información sobre el escáner 3D de la Universidad de Groningen. El proceso de diseño incluyendo el control para el sistema con 6 grados de libertad, así como la luz que es regulada para tener datos limpios utilizando un algoritmo y una fuente de corriente constante es mostrado en el documento. La implementación y resultados son mostrados, así entonces el lector puede analizar los materiales y métodos para futuras aplicaciones

Introducción

La Biología y la naturaleza han contribuido significativamente en el desarrollo de la raza humana. Esto se observa en la Medicina, en el transporte, así como en los sistemas de navegación utilizados en drones y robots de rescate, estos son posibles gracias al estudio de la visión compuesta de los animales, cuya aplicación será discutida en este artículo.

En el proyecto GRACE, varios científicos e ingenieros colaboraron con sus conocimientos para generar un escáner robótico, capaz de capturar imágenes microscópicas de los ojos de los artrópodos las cuales son procesadas para generar modelos matemáticos que permitan su estudio y ser replicados en sistemas artificiales.

En el siguiente artículo se discutirá el diseño e implementación de un nuevo controlador para el sistema, el cual cuenta con 6 grados de libertad, con lo que se discutirá la selección de hardware adecuado, así como el control de intensidad luminosa utilizado para excitar los ojos de las mariposas usadas en el estudio.

Metodología

El diseño se realizó para el escáner robótico en la Universidad de Groningen, ubicada en los países bajos, este escáner toma fotografías de ojos de mariposas utilizando un fotomicroscopio, las cuales luego son procesadas utilizando algoritmos numéricos para crear modelos matemáticos que permiten estudiar la visión compuesta [1].

Este escáner cuenta con seis grados de libertad, 3 para los movimientos en los ejes X, Y y Z, 1 que permite un movimiento azimutal, 1 que permite la elevación y un último que controla el

movimiento de la cámara. De la misma forma fue necesario el diseño de un algoritmo de control de intensidad luminosa el cual evita que las imágenes salgan cortadas, esto pues se utiliza Matlab™ para procesar las imágenes, y el software cuenta con valores máximos para el análisis de los píxeles y si alguna imagen los sobrepasa quedan como un corte en la imagen generando imágenes con datos incorrectos.

Algoritmo de intensidad luminosa

Para obtener las imágenes se cuenta con un sistema óptico el cual es mostrado en la figura 1 [2]. El objetivo general de los lentes y los espejos es reflejar la luz del ojo de la mariposa para así proceder a tomar la imagen utilizando un fotomicroscopio.

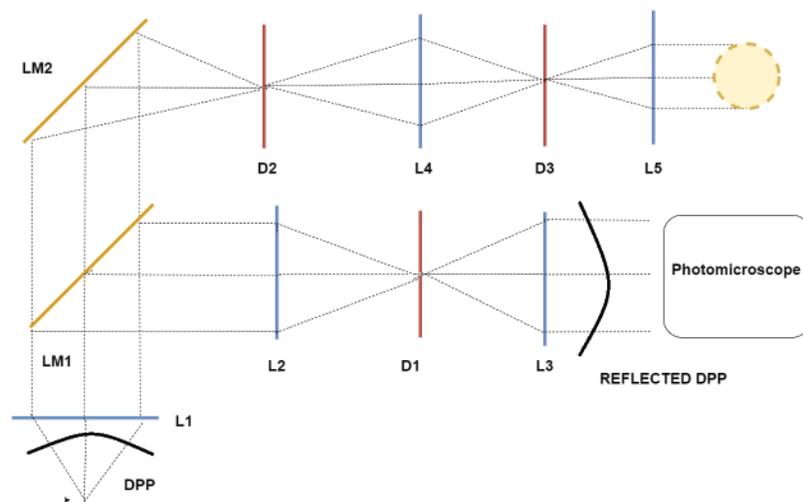


Figura 1. Nuevo microscopio de epi-iluminación. Las lentes y los espejos crean una imagen del ojo de la mariposa que se utiliza para la adquisición de datos de imagen. Los espejos reflectantes se representan con una LM, una lente con una L y diafragmas con una D

El efecto de reflexión es creado por una fuente de luz blanca que atraviesa el lente 5 hacia el diafragma 3, para cruzar de igual forma el lente 4 hacia el diafragma 2 el cual refleja la luz hacia el espejo semi reflector 2 donde la luz se refleja al objeto de interés el cual a su vez refleja la luz de vuelta pero esta vez por el espejo semi reflector 1 para cruzar por los lentes 2 y 3 a través del diafragma 1 lo cual genera una imagen aumentada del objeto de interés, en este caso un ojo de mariposa, y posteriormente se empieza la toma de imágenes [2].

Las figuras 2, 3 y 4 muestran las imágenes sin el control de intensidad luminosa. La figura 2 muestra la imagen real, la figura 3 muestra la imagen que se procesa en Matlab™ [3] y la figura 4 muestra la imagen a procesar en 3D, donde se observa el efecto del corte, estas imágenes son la intensidad de cada pixel a la luz roja



Figura 2. Imagen Real con recorte.

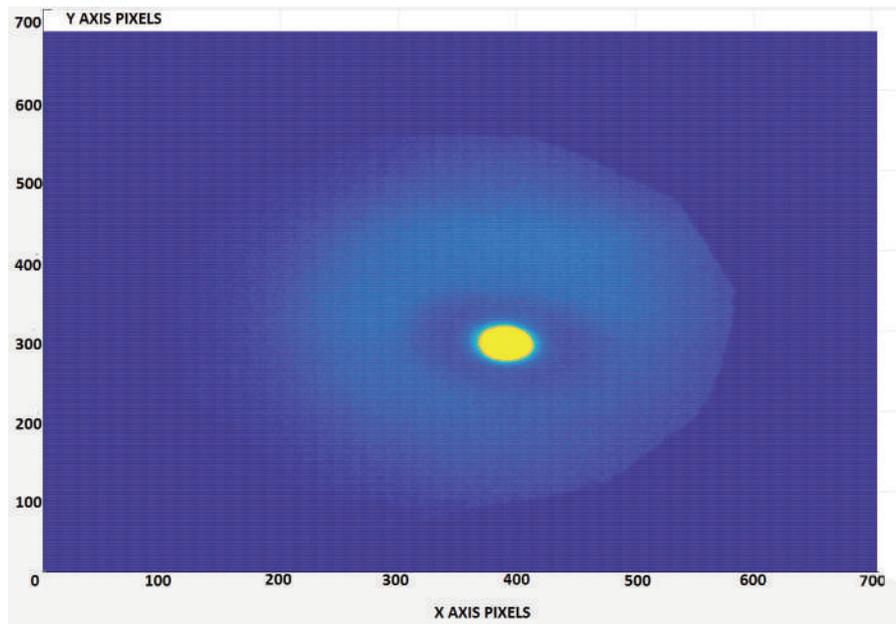


Figura 3. Imagen 2D con recorte, el área de color azul representa el nivel bajo de la intensidad del canal del ojo rojo, mientras que el color amarillo alta intensidad.

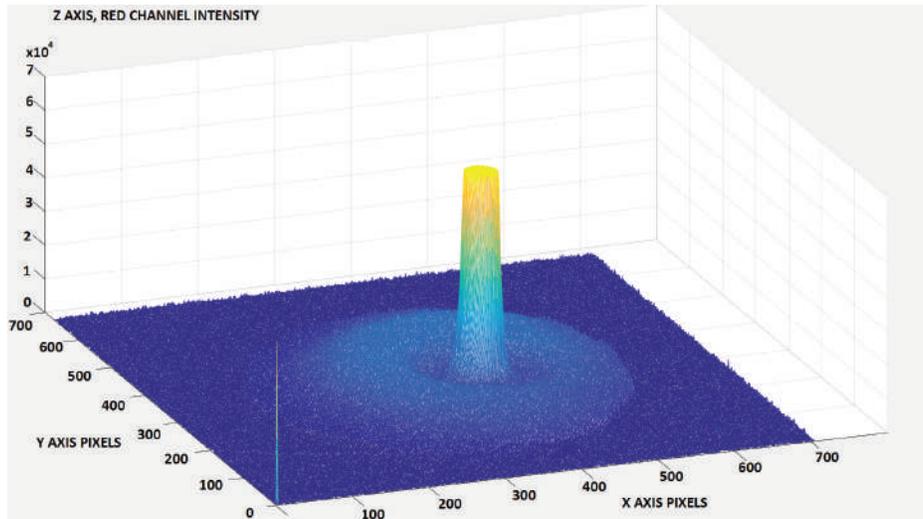


Figura 4. Imagen 3D con recorte, cada píxel de la foto se representa en una coordenada (x, y) con la intensidad del canal rojo en la coordenada z.

Para controlar la intensidad de la luz, se utiliza un FemtoBuck LED driver [4]. Esta intensidad no es un valor constante, es decir depende de muchos factores, entre ellos la posición en la que se encuentre la cámara en el momento de la captura de la foto, por lo que el algoritmo debe ser capaz de generar diferentes intensidades de luz e identificar la óptima. El FemtoBuck, es capaz de adquirir un valor de tensión entre 0V y 5V el cual regula la corriente de salida que alimenta el LED que se utiliza como fuente de luz [4]. Este valor de entre 0V y 5V es el que debe ser calculado utilizando el algoritmo. La figura 5 muestra el diagrama de flujo de dicho algoritmo.

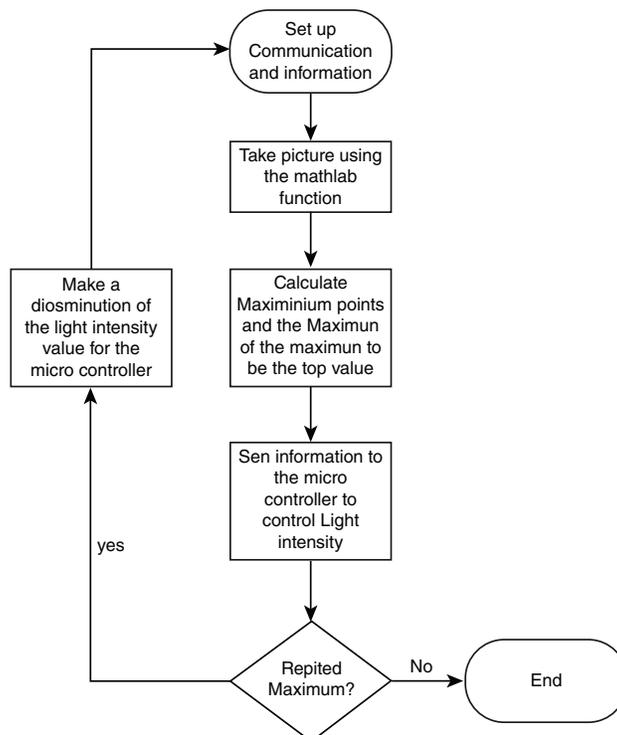


Figura 5. Diagrama de flujo del algoritmo a implementar.

Lo que se realiza es una toma de imágenes iterativas, las cuales son enviadas a Matlab donde se identifican puntos máximos de la misma, una buena imagen debería contar con un único punto máximo, esto indica que no hay recorte, si al analizar la imagen esta cuenta con más de un punto máximo entonces el algoritmo envía una señal al hardware [4], que genera la señal de entre 0V Y 5V indicando un nuevo valor de tensión. Este procedimiento es realizado hasta que para un valor de tensión la imagen correspondiente genere un único máximo.

Sistema de control

Cada uno de los grados de libertad cuenta con un motor a pasos para realizar sus movimientos. Los pasos son "Microsteps" lo cual permite una mayor precisión en el momento de realizar los movimientos, sin embargo los controladores de motor deben de ser capaces de resistir la carga eléctrica que los motores generan para evitar sobrecalentamiento. Los utilizados fueron los DVR8880 de texas instruments [5], los cuales cuentan con función de 1/16 de paso. En este caso al utilizar motores a paso con resolución de 1,8 grados, cada uno de estos pasos puede ser dividido en 16 generando, es decir 0,1125 grados por paso.

El uso de este controlador permite decidir cuantos pasos y en que dirección se mueve el sistema, el cual junto con un algoritmo en Matlab™ [3], permite la integración de los 6 grados de libertad y así controlar las imágenes que se toman.

Resultados

Al aplicar el algoritmo de intensidad luminosa es posible nuevamente tomar las imágenes esta vez, sin que haya recorte de datos, la Figura 6 muestra la imagen real, la figura 7, la imagen en 2D, y la Figura 8, la imagen final en 3D, sin el recorte en la intensidad del canal rojo de datos en los pixeles.



Figura 6. Imagen Real Sin recorte.

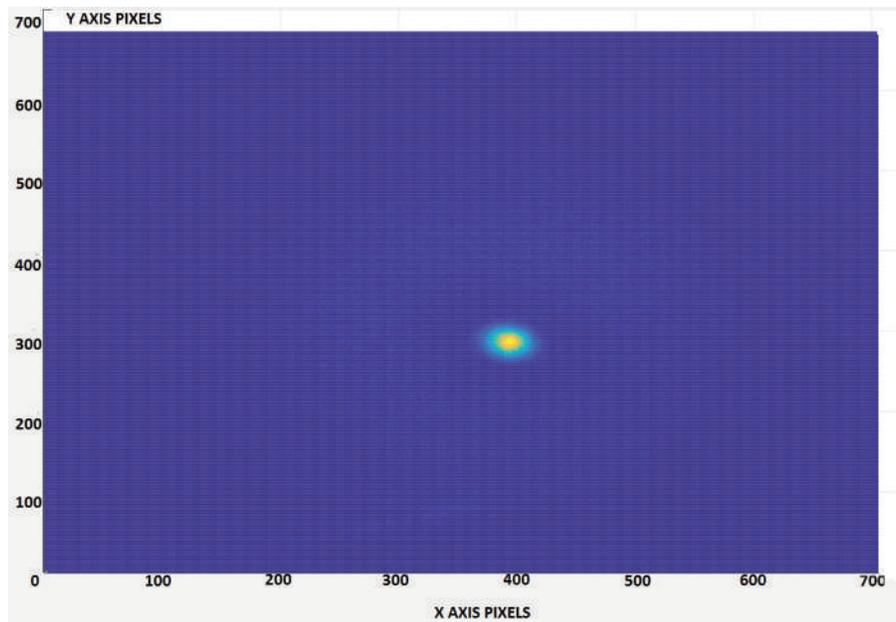


Figura 7. Imagen en 2D sin recorte, el área de color azul representa el nivel bajo de la intensidad del canal del ojo rojo, mientras que la intensidad alta con color amarillo.

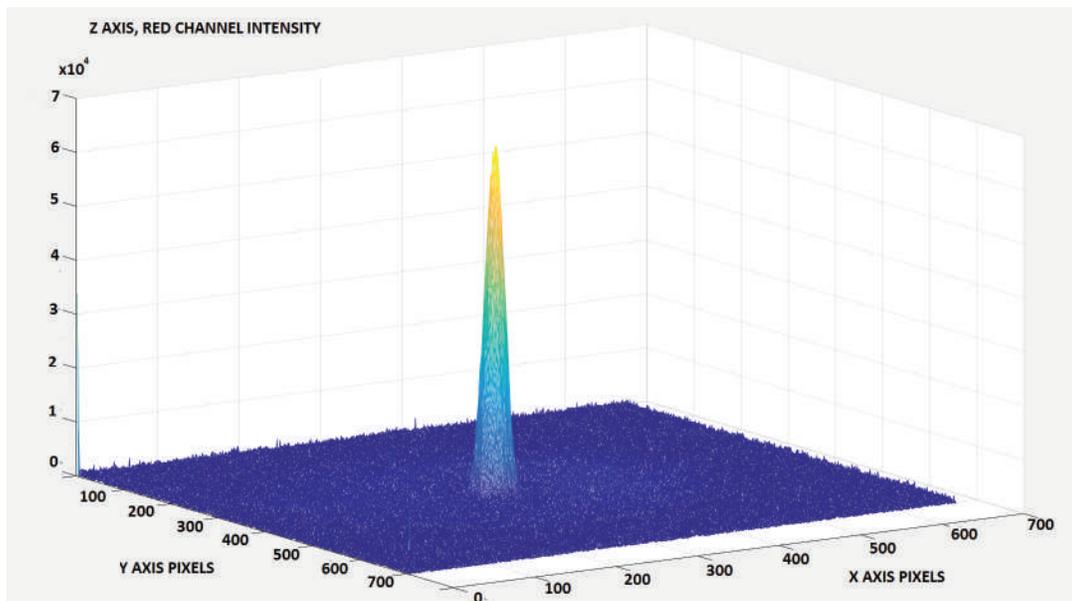


Figura 8. Imagen en 3D sin recorte, el área de color azul representa el nivel bajo de la intensidad del canal del ojo rojo, mientras que la intensidad alta con color amarillo.

La integración del control de la intensidad luminosa, junto con el control de los motores, permite movilizar el sistema y obtener las imágenes, con las cuales es posible obtener modelos matemáticos adecuados para la representación del ojo de la mariposa.



Conclusiones

- El control de intensidad de luz regula la corriente de una forma adecuada evitando con esto el recorte de datos en la toma de imágenes.
- La respuesta del control es correcta y permite la movilización del sistema para la toma de datos.

Referencias

- [1] D. G. Stavenga. Pseudopupils of compound eyes. In: Autrum (ed) Handbook of sensory physiology .Springer, Berlin HeidelbergNew York. 1979.
- [2] D. Stavenga. Reflections on colourful ommatidia of butterfly eyes.University of Groningen, The Netherlands. 2002.
- [3] "Immediately Return Single Image Frame - MATLAB Getsnapshot". Nl.mathworks.com. N.p., 2016. Web. 6 Oct. 2016
- [4] Diodes incorporated. (2012). HIGH EFFICIENCY 36V 1A BUCK LED DRIVER .Document number: DS35030 REVISED JULY 2012.
- [5] Texas Instruments. (2015). DRV8880 2-A Stepper Motor Driver With AutoTune .SLVSD18A –JUNE 2015–REVISED JULY 2015.
- [6] T. Spanier. The Design and Implementation of the full actu-ation for the five DoF robotic scanner. University of Groningen, TheNetherlands. 2015.
- [7] A. Vargas Delgado. Image stitching algorithm for compound vision research .University of Groningen, TheNetherlands. 2016.

Desarrollo de correlaciones para determinar el potencial a licuefacción mediante la aplicación del ensayo de penetración estática de piezocono (CPTu) en una cámara de calibración (CC)

Development of correlations to determine the liquefaction potential by applying the piezocone test (CPTu) in a calibration chamber (CC)

Sebastián Rodríguez-Rodríguez¹

Rodríguez-Rodríguez, S. Desarrollo de correlaciones para determinar el potencial a licuefacción mediante la aplicación del ensayo de penetración estática de piezocono (CPTu) en una cámara de calibración (CC). *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 91-103.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5482>



¹ Estudiante de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Correo electrónico: seb.rod.rod@gmail.com

Palabras clave

Ensayo penetración estática de piezocono (CPTu); Resistencia de cono en punta q_c ; Densidad relativa ID; Ensayo triaxial cíclico no drenado; Relación de resistencia cíclica (CRR); Licuefacción.

Resumen

El objetivo principal de este proyecto fue desarrollar correlaciones para determinar el potencial a licuefacción de depósitos de arenas sueltas empleando el ensayo de penetración estática de piezocono CPTu; para ello fue necesario determinar el comportamiento de ensayos (CPTu) en la cámara de calibración (CC) del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas (IBF) en el Instituto Tecnológico de Karlsruhe, además determinar la resistencia a licuefacción por medio de ensayos triaxiales cíclicos no drenados para muestras de arena, plantear una correlación entre la densidad relativa de almacenamiento (ID) de la muestra, la resistencia de punta (q_c) del CPTu y la resistencia al flujo (CRR) de los ensayos triaxiales y por último comparar la correlación experimental obtenida con correlaciones existentes de la literatura. Con este proyecto se concluyó que en la región de bajas densidades de almacenamiento y bajas resistencias en punta una buena similitud, esto al comparar las correlaciones para los materiales experimentales estudiados por el IBF con correlaciones provenientes de la literatura. Ahora bien, para densidades altas y, por lo tanto, mayores resistencias en punta, las curvas de correlación para los materiales experimentales fueron más planas que en referencias bibliográficas; en otras palabras, la resistencia a licuefacción de los materiales experimentales en esta área es menor de lo que habrían predicho las curvas de la literatura. Así pues, no es posible aplicar directamente los resultados de este proyecto a otros sitios de estudio; ya que los materiales de las correlaciones realizadas (Kali4) y otros suelos difieren en aspectos como la mineralogía (criterios geológicos), la granulometría y la forma de partícula (criterios de composición); los cuales influyen sobre la susceptibilidad a la licuación.

Keywords

Cone penetration test with pore pressure measurement (CPTu); Cone tip resistance q_c ; Relative density ID; Cyclic undrained triaxial test; Cyclic resistance ratio (CRR); Liquefaction.

Abstract

The main objective of this project was to develop correlations to determine the liquefaction potential of loose sand deposits, using the CPTu test; for this purpose, it was necessary to determine the behavior of CPTu tests in the calibration chamber (CC) of the Institute of Soil Mechanics and Rock Mechanics (IBF) in Karlsruhe Institute of Technology, moreover to determine the resistance to liquefaction by means of cyclic undrained tests for sand samples, also to establish a correlation between the relative storage density (ID) of the sample, the tip resistance (q_c) of the CPTu and the liquefaction resistance (CRR) of the triaxial tests and finally compare the experimental correlation obtained with existing correlations of the literature. With this project it was concluded that when comparing the correlations for the experimental materials studied by the IBF, it was determined that in the region of low storage densities and low peak resistances a good similarity. However, for higher densities and, therefore, greater peak resistances, the correlation curves for the experimental materials were flatter than in bibliographic references. In other words, the liquefaction resistance of the experimental materials in this area is lower than what the curves of the literature would have predicted. Finally, it is not possible to directly apply the results of this project in any other sand deposit; since the materials of the correlations made (Kali4) and other materials differ in aspects such as mineralogy (geological criteria), granulometry and particle form (composition criteria); which influence the susceptibility to liquefaction.

Introducción

Según Ishihara [1], el fenómeno de licuefacción se manifiesta cuando un depósito de arena saturada se ve sometido a ondas sísmicas de corte que se propagan durante un sismo; de manera que la estructura de la arena tiende a densificarse. Por consiguiente, la duración de la aplicación de las tensiones de corte cíclico es, en general muy pequeña en comparación con el tiempo necesario para que ocurra algún drenaje, por esta razón la tendencia de la arena a disminuir de volumen durante cada ciclo se refleja en un incremento progresivo de la presión de poros. Esto produce una reducción continua de la tensión efectiva y consecuentemente una disminución en la resistencia al corte de la arena. Si la arena se encuentra en estado suelto, la presión de poros puede incrementarse rápidamente a un valor igual a la presión de confinamiento, y la capa de suelo puede experimentar grandes deformaciones. En otras palabras, la arena sufre licuefacción, esto es, se comporta como un líquido viscoso, generándose grandes deformaciones que pueden dar origen a múltiples mecanismos de falla, algunas de ellas catastróficas como por ejemplo: falla de taludes, el rompimiento de presas y la destrucción de puentes (figura 1).



Figura 1. Efectos de licuación de suelos por el terremoto de Limón en 1991. Fuente: [2].

La resistencia a licuefacción del suelo puede estimarse a partir de ensayos triaxiales cíclicos no drenados, en la medida de lo posible en muestras no alteradas o bien realizando reconstrucción de muestras en laboratorio. Alternativamente, es posible utilizar diagramas que relacionan la resistencia a licuefacción en función de la velocidad de la onda de corte o bien la resistencia en punta en ensayos de penetración como se ve en las figuras 2 y 3 (resistencia en punta máxima del ensayo CPT o bien número de impactos NSPT en el ensayo SPT). Estos diagramas de correlación han sido construidos basándose en la recolección de datos en campo (factores de sondeo, velocidad de onda de corte). Por ende solamente son aplicables a suelos en estado natural; por lo tanto, no pueden ser simplemente transferidos a arenas sueltas. Así entonces para deducir la susceptibilidad al flujo de depósitos de suelos sueltos se deben desarrollar diagramas que correlacionen la resistencia al flujo para material extraído.

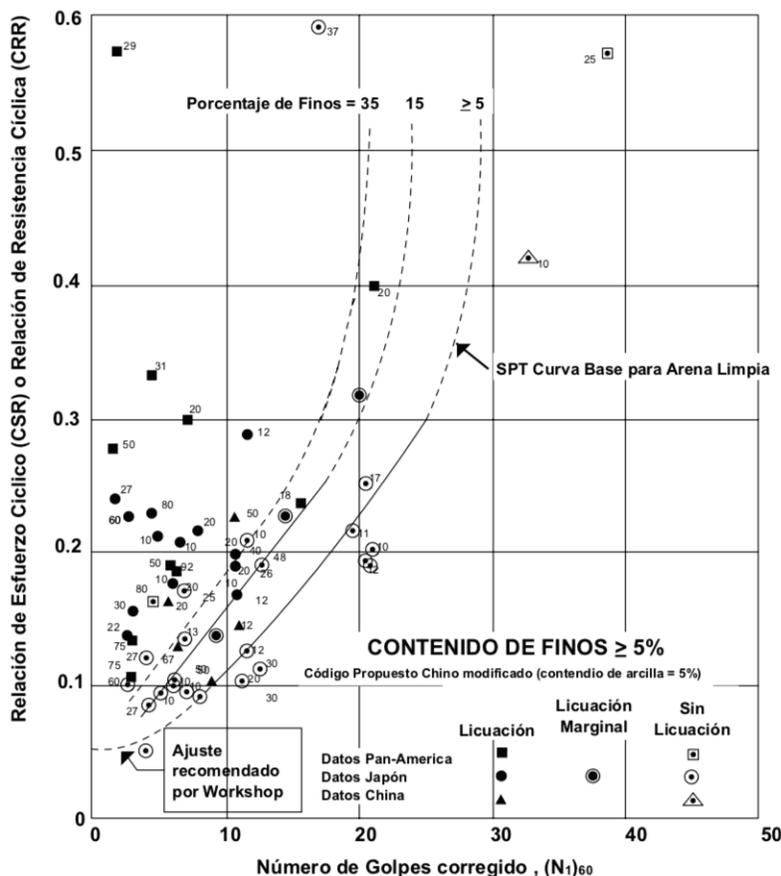


Figura 2. Relación entre la resistencia a licuefacción CRR en función del número de impactos SPT $(N_1)_{60}$. Fuente: [3].

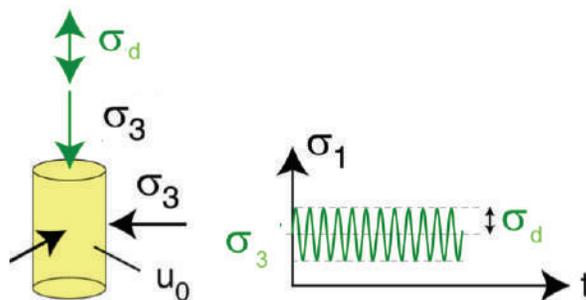


Figura 3. Relación entre la resistencia a licuefacción CRR en función de resistencia en punta q_c . Fuente: [3].

Este artículo resume una serie de ensayos llevados a cabo en el Laboratorio de Mecánica de Suelos del Instituto de Mecánica de Suelos y Mecánica de Rocas del Instituto Tecnológico de Karlsruhe, también conocido como IBF por sus siglas en alemán (Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik). Se propuso desarrollar correlaciones para determinar el potencial a licuefacción de depósitos de una muestra de arena variando su densidad y su contenido de humedad empleando el ensayo CPTu; con este propósito se planteó: determinar el comportamiento de ensayos de penetración estática de piezocono (CPTu) en la cámara de calibración (CC) del IBF,

determinar la resistencia a licuefacción por medio de ensayos triaxiales cíclicos no drenados para muestras de arena, plantear una correlación entre la densidad relativa de almacenamiento (ID) de la muestra, la resistencia de punta (q_c) del CPTu y la resistencia a licuefacción (CRR) (ver figura 3) de los ensayos triaxiales y por último comparar la correlación experimental obtenida con correlaciones elaboradas previamente en el IBF y también con correlaciones existentes de la literatura.

Materiales y métodos

Propiedades del material experimental

Las pruebas en la cámara de calibración se han enumerado consecutivamente (Kali1, Kali2, Kali3 y Kali4). El material de prueba utilizado para este proyecto de graduación ha sido una arena tomada en junio 2017 de un campo de apilamiento de la explotación de carbón a cielo abierto; la cual se almacenó en varias bolsas grandes. Esta arena fue identificada como “Kali4”.

Con el propósito de evitar algún efecto en los valores de resistencia en punta q_c de materiales arcillosos o partículas de grava (con un diámetro mayor de 10,0 mm); se decidió eliminarlos antes del uso del material experimental Kali4 en la celda de calibración, además las arenas limpias presentan mayor susceptibilidad a ser licuadas y por lo tanto se podrían tener efectos sobre el estudio de licuefacción del material Kali4. Luego de la recolección de muestras en campo, se tomó una muestra de cada “Big Bag” después de una homogeneización para un análisis de granulométrico por tamizado. Las curvas resultantes de distribución de tamaño de grano de los cuatro materiales de prueba se muestran en la figura 4. Para todas las muestras de la campaña de recolección de especímenes (Kali’s), se puede observar una clara dispersión de las curvas de distribución del tamaño de grano en la figura 4. Esto se puede explicar por el hecho de que el muestreo del material se ha realizado en diferentes sitios, fechas y profundidades.

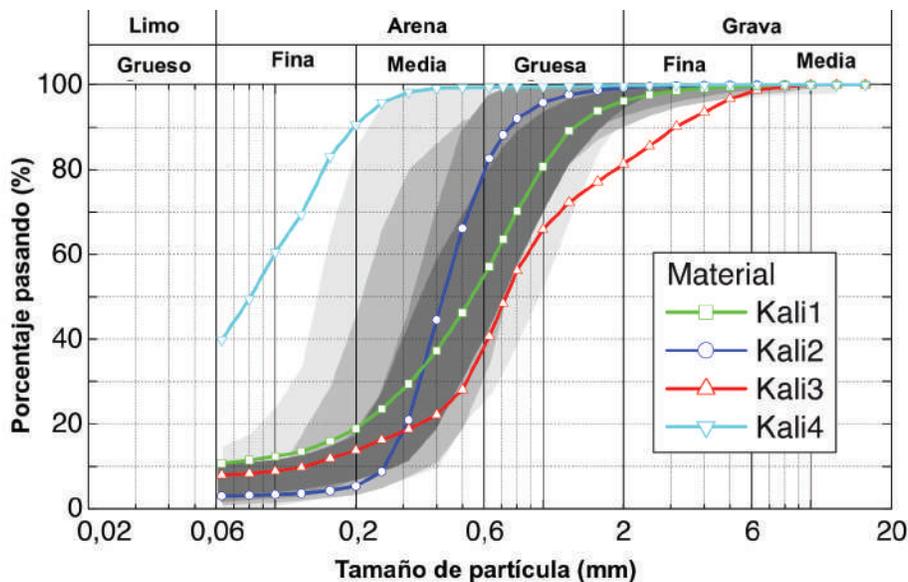


Figura 4. Curvas granulométricas de los materiales experimentales. Fuente: [4].

Cuadro 1. Propiedades físicas - mecánicas de los materiales de experimentales. Fuente: [5].

	Arena			
	Kali1	Kali2	Kali3	Kali4
Diámetro medio del grano d_{50} (mm)	0,54	0,42	0,73	0,116
Proporción de grano fino FC (%)	10,7	3,0	7,9	39,7
Coefficiente de uniformidad $C_u = d_{60} / d_{10}$	3,77	1,83	6,79	-
Coefficiente de curvatura $C_c = d_{30}^2 / (d_{60} \cdot d_{10})$	2,39	1,04	2,18	-
Densidad de grano ρ_s (g/cm ³)	2,65	2,64	2,64	2,64
Densidad seca mínima $\rho_{d \text{ min}}$ (g/cm ³)	1,472	1,431	1,607	1,431
Densidad seca máxima $\rho_{d \text{ max}}$ (g/cm ³)	1,877	1,699	1,922	1,699

Las arenas “Kali1”, “Kali2”, “Kali3” y “Kali4” difieren significativamente en la distribución del tamaño de grano. “Kali2” es un material grueso, “Kali1” es un medio de grano grueso, arena fina y arena gruesa, “Kali3” es una arena gruesa fina y de grano fino de tamaño medio y “Kali4” es una arena más fina que todas las arenas anteriores, la cual contiene aproximadamente un 40% de finos (arcillas, limos y hasta posiblemente material orgánico). Según las especificaciones del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), “Kali4” se considera una arena limo-arcillosa, SM-SC o SU-ST según la norma DIN 18196. Los parámetros más importantes de los materiales experimentales se resumen en el cuadro 1.

CPTu en la cámara de calibración

Las cámaras de calibración son equipos relativamente grandes (figura 5), y los ensayos en ellas son bastante costosos en tiempo y recursos. Por otra parte, las pruebas se realizan en muestras de arenas reconstituidas cuyas propiedades varían (densidad y humedad) respecto de los depósitos naturales de donde provienen [6]. Para este proyecto de graduación se llevaron a cabo un total de 14 ensayos con el material “Kali4”. Como ya se había trabajado en numerosas ocasiones, el método de instalación en la CC fue el mismo para anteriores tesis de licenciatura e informes de labores del IBF. La preparación y ejecución de la prueba se puede resumir y dividir en los siguientes pasos:

- Mezclado de los materiales con hasta un contenido de humedad de aproximadamente 12% a 15%.
- Instalación del material en la cámara de calibración (variando la densidad relativa de almacenamiento en la instalación desde 0,2 – 0,8).
- Ejecución de prueba (variación de la presión lateral).
- Eliminación y muestreo con determinación del contenido de humedad y la densidad de almacenamiento.

Un esquema del ensayo en la cámara de calibración se muestra en la figura 5. Las muestras de arena miden aproximadamente 1,0 m de diámetro y aproximadamente 1,5 m de altura dentro de la CC. Después de la colocación de la muestra se coloca una tapa que contiene una abertura para el paso de la sonda de presión. Las paredes laterales, el fondo de la CC y la tapa están revestidos con membranas de goma, a través de las cuales se pueden aplicar presiones a la muestra en las direcciones horizontal ($\sigma_2 = \sigma_3$) y vertical (σ_1). De esta manera, se puede probar un estado de tensión isotrópico ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$) así como anisotrópico ($\sigma_1 \neq \sigma_2, \sigma_3$). Después de la aplicación de la presión, la prueba se lleva a cabo.

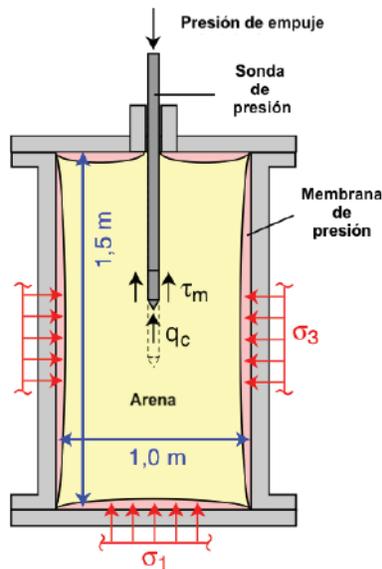


Figura 5. Esquema de la cámara de calibración del IBF. Fuente: [7].

En este proceso, una sonda de presión estándar (Van den Berg, Heerenveen) se introduce a través de la abertura en la tapa y posteriormente se introduce verticalmente en la muestra de suelo a una velocidad constante. La fuerza de inyección se genera por medio de un equipo hidráulico. Se mide la presión en punta q_c , la fricción del manguito τ_m y la distancia vertical.

Ensayo triaxial cíclico no drenado

Con el fin de poder establecer correlaciones entre la resistencia en punta del CPTu y la resistencia a licuefacción, fue necesario aplicar carga cíclica no drenada en la arena experimental Kali4 con variación de la densidad de almacenamiento. Los ensayos han sido realizados por el personal del IBF.

Según [8] en un ensayo triaxial, un espécimen cilíndrico de suelo es revestido con una membrana de látex o caucho dentro de una cámara a presión. La parte superior e inferior de espécimen tiene discos porosos, los cuales se conectan al sistema de drenaje para saturar o drenar el espécimen. En el ensayo triaxial se puede variar la presión lateral actuante sobre la muestra de suelo en tres direcciones ortogonales, efectuándose así las mediciones sobre sus características mecánicas. El agua de la cámara puede adquirir cualquier presión deseada por la acción de un compresor. La carga axial se transmite al espécimen por medio de una barra que atraviesa la parte superior de la cámara. La presión que se ejerce con el agua que llena la cámara es hidrostática y produce, por lo tanto, esfuerzos principales sobre el espécimen, iguales en todas las direcciones. En una prueba triaxial de compresión, la presión axial siempre es el esfuerzo principal mayor, σ_1 ; los esfuerzos intermedios y menor son iguales ($\sigma_2 = \sigma_3$) y son iguales a la presión lateral. En un ensayo triaxial cíclico no drenado, se aplica un esfuerzo vertical total σ_1 , una presión lateral total σ_3 y una presión de agua intersticial u (figura 6). El esfuerzo de tensión efectivo se convierte en $\sigma_1' = \sigma - u$ y el esfuerzo lateral efectivo a $\sigma_3' = \sigma_3 - u$. Durante el ensayo, la tensión lateral σ_3 se mantiene constante y la tensión vertical σ_1 con una amplitud σ_{ampl} alrededor del valor medio σ_{1av} es cíclicamente variada. Al comienzo del ensayo, la tensión inicial $\sigma_1 = \sigma_{1av}$ corresponde generalmente a el esfuerzo lateral σ_3 (figura 6), es decir la condición de carga inicial es isotrópica.

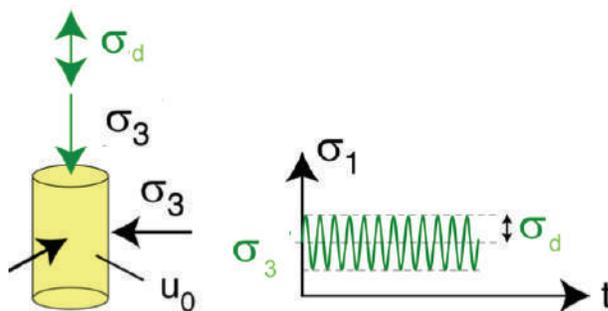


Figura 6. Estado de esfuerzos en el ensayo triaxial cíclico. Fuente: [7]

Relación de Esfuerzos Cíclicos (CSR) y Relación de Resistencia Cíclica (CRR)

Para evaluar la resistencia a licuefacción del suelo es necesario considerar dos variables: La demanda sísmica que se espera en las capas de suelo durante un sismo de diseño, expresada en términos de resistencia CSR (cyclic stress ratio). La resistencia de suelo para oponerse a la licuefacción, expresado con CRR (cyclic resistance ratio). El factor de seguridad frente a licuefacción puede definirse como el cociente CRR/CSR. Cuando el factor de seguridad contra licuefacción es menor que la unidad se presenta el fenómeno de licuefacción a la profundidad analizada (figura 7).

$$FS_{lic} = \frac{CRR}{CSR} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

CRR: Relación de resistencia cíclica, representa la capacidad de resistencia del suelo.

CSR: Relación de esfuerzo cíclico, representa la fuerza que actúa en el suelo.

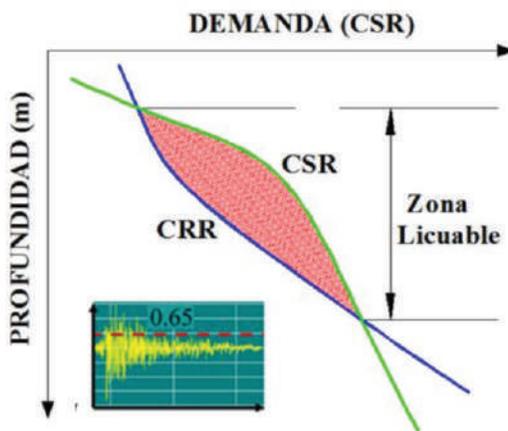


Figura 7. Esquema de relación de esfuerzo cíclico. Fuente: [9].

Resultados

Resultados de ensayos CPTu en la cámara de calibración del IBF para el material experimental Kali4

Con los datos para una presión de 100 kPa se desarrolló la figura 8; en donde se relaciona la densidad relativa de almacenamiento (ID) en función de la resistencia en punta del ensayo CPTu (q_{c1}); esta función se registró por medio de la ecuación 2. La cual será utilizada en los siguientes apartados para generar la correlación entre q_{c1} -ID y la resistencia a licuefacción CRR-ID.

$$I_D = 0,0147 + 0,1674 q_{c1} - 0,0091 q_{c1}^2, R^2 = 0,8527 \quad (\text{Ecuación 2})$$

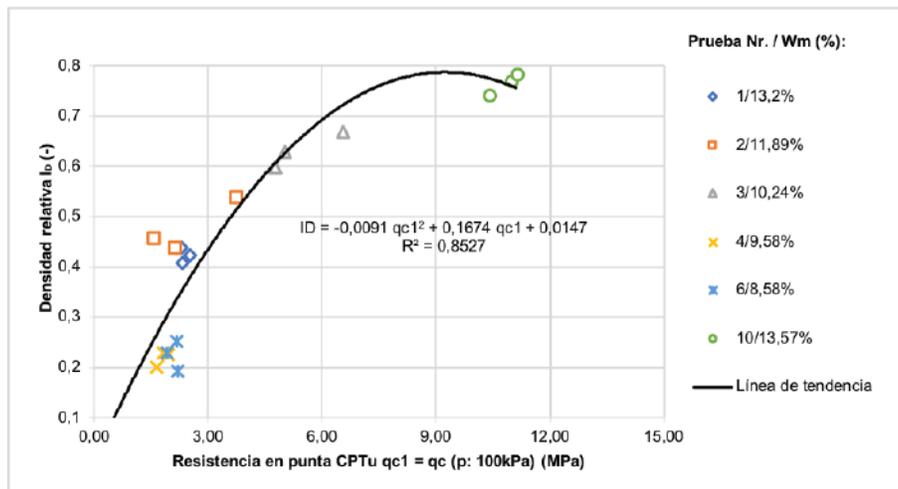


Figura 8. Densidad relativa de almacenamiento en función resistencia en punta q_c en los ensayos en la CC para el material “Kali4”. Fuente: Diagrama elaborado en Microsoft Excel por el autor.

Resultados de ensayos triaxiales cíclicos no drenados para el material experimental Kali4

La relación de resistencia cíclica (CRR, $N_f = 10$) se representa gráficamente en la Figura 9 como una función de la densidad relativa de almacenamiento ID. Para la presión inicial experimentada, existe una relación lineal. Esta curva para la presión $p'_0 = 100$ kPa es necesaria en el siguiente apartado para el desarrollo del diagrama de correlación. La relación puede describirse mediante la siguiente ecuación:

$$CRR (N_f = 10) = 0,086 + 0,0531 I_D, R^2 = 1,0 \quad (\text{Ecuación 3})$$

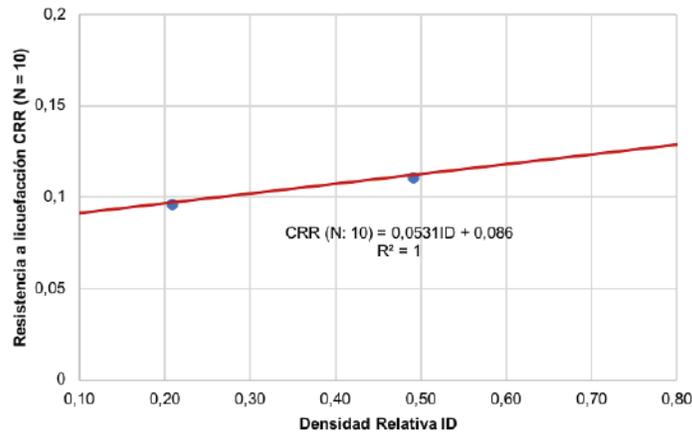


Figura 9. Relación de esfuerzos cíclicos CSR para licuefacción en 10 ciclos (CRR de resistencia a licuefacción) en función de la densidad relativa de almacenamiento inicial ID el material experimental “Kali4”. Fuente: Diagrama elaborado en Microsoft Excel por el autor.

Correlación entre la resistencia en punta normalizada qc1 y la relación de resistencia cíclica CRR para el material experimental Kali4

Los resultados de los ensayos CPTu en la cámara de calibración y las pruebas triaxiales cíclicas no drenadas, han sido utilizados para establecer un diagrama de correlación entre la resistencia a licuefacción y la resistencia máxima en punta del CPTu. El diagrama se muestra en la figura 10. dado que los diagramas de correlación en la literatura siempre se configuran para una presión de referencia efectiva de 100 kPa, los datos experimentales para p y p'0 = 100 kPa también se emplearon en este caso.

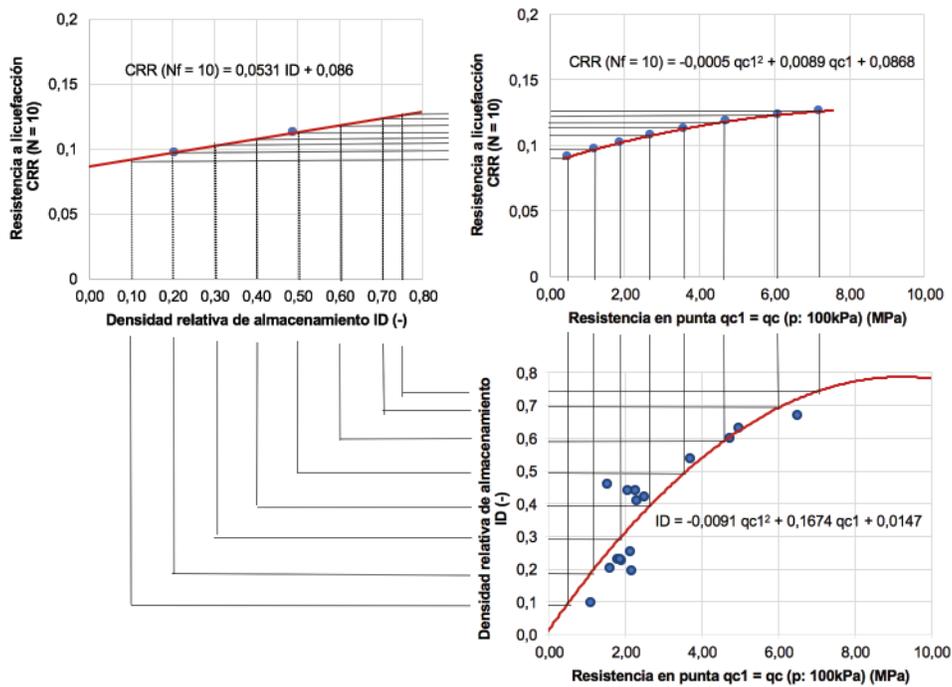


Figura 10. Correlación entre la resistencia a la licuefacción CRR para falla después de Nf = 10 ciclos y la resistencia en punta máxima normalizada qc1 = qc (p = 100 kPa) para el material experimental “Kali4”. Fuente: Diagrama elaborado en Microsoft Excel por el autor.

La sección superior izquierda de la figura 10 proviene de los resultados de las pruebas triaxiales cíclicas no drenadas. Esta es la relación entre la resistencia a licuefacción por falla en 10 ciclos ($M_w = 7,5$) y la densidad relativa de almacenamiento ID que se expresó en la figura 9. En la sección inferior derecha de la figura 10, se repite el resultado de los ensayos CPTu en la CC del IBF, mostrados en la figura 8.

En el diagrama de la esquina superior derecha de la figura 10, los valores se trazaron uno encima del otro, combinando así los pares (CRR, q_{c1}) para las diferentes densidades de almacenamiento ID ; donde se obtuvo una curva que describe la correlación entre la resistencia a licuefacción y la resistencia en punta máxima del ensayo CPTu para el material experimental "Kali4"; en fin, la relación entre la resistencia a licuefacción y la resistencia en punta del ensayo CPTu viene dado por:

$$CRR (N_f = 10) = 0,0868 + 0,0089 q_{c1} - 0,0005 q_{c1}^2, R^2 = 1,0 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Comparación entre la correlación del material experimental y las existentes en la literatura

La figura 11 compara la correlación $CRR - q_{c1}$ (figura 10) con las correlaciones de trabajos previos en la CC del IBF; además, se compara la correlación experimental obtenida con las correlaciones para arenas de origen natural provenientes de la literatura. Se distingue que la correlación del material experimental es significativamente más plana que las de la literatura. En el rango aproximado de resistencias en punta de $5 \text{ MPa} \leq q_{c1} \leq 7,5 \text{ MPa}$, se obtendrán resistencias a licuefacción similares entre la nueva correlación del material experimental Kali4 y las existentes. Para resistencias en punta más pequeñas que 5 MPa , la nueva correlación para el material experimental Kali4 proporciona resistencias a licuefacción más altas que las presentes en la literatura, así mismo resistencias a licuefacción más pequeñas a partir de un $q_{c1} > 7,5 \text{ MPa}$.

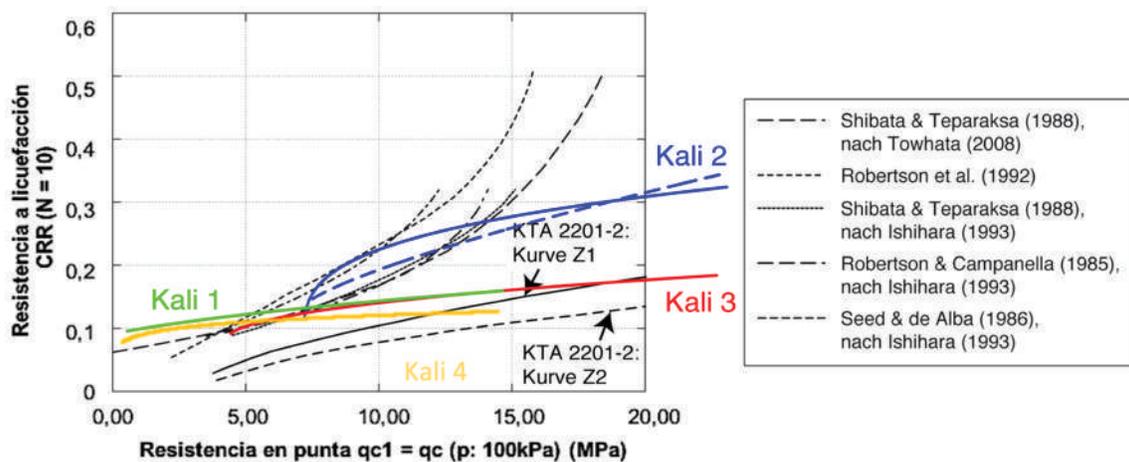


Figura 11. Comparación de la correlación $CRR - q_{c1}$ para el material experimental Kali4 y trabajos previos con correlaciones presentes en la literatura para depósitos de arenas de origen natural.

Conclusiones

- Se logró determinar que existe un aumento en la resistencia en punta q_c con el aumento de la densidad relativa de almacenamiento ID y el aumento de la presión en la CC. Ambas dependencias fueron descritas por medio de ecuaciones.
- De acuerdo con los ensayos triaxiales cíclicos no drenados, la resistencia a licuefacción está influenciada principalmente por la densidad de almacenamiento ID; por lo tanto, a medida que aumenta la densidad relativa de almacenamiento ID, también aumenta la resistencia a licuefacción CRR ($N_f = 10$).
- Según el diagrama de correlación CRR - q_{c1} para el material experimental Kali4, la resistencia a licuefacción aumenta al aumentar la resistencia en punta CPTu.
- Con este informe de proyecto de graduación se delimitó que la correlación elaborada depende significativamente del material experimental, donde la resistencia en punta del ensayo CPTu disminuye con el aumento del contenido de finos siendo consecuente con la literatura (Youd, y otros, 2001); por lo tanto, al material experimental "Kali4" se le relaciona con menores resistencias en punta. [10]
- Los resultados indican que también un alto nivel de grano fino da como resultado una baja resistencia a la licuefacción; determinando así que el material Kali4 tiene resistencias a la penetración de cono y a licuefacción menores que otros materiales experimentales estudiados anteriormente, esto por sus propiedades granulométricas lo cual concuerda con otras investigaciones realizadas en el IBF [11].
- Según la comparación de las correlaciones para los cuatro materiales experimentales estudiados por el IBF con correlaciones para suelos de origen natural, provenientes de la literatura, se determina que en la región de bajas densidades de almacenamiento y bajas resistencias en punta una buena similitud.
- Ahora bien, para densidades de almacenamiento densas y, por lo tanto, mayores resistencias en punta, las curvas de correlación para los materiales experimentales son más planas que las referenciadas, provenientes de la literatura. En otras palabras, la resistencia a licuefacción de los materiales experimentales en esta área es menor de lo que habrían predicho las curvas de la literatura ([12], [13], [1], [14]).
- La correlación realizada para el material Kali4 no es posible utilizarla para otros depósitos de suelos sueltos que no sean los materiales experimentales para la cual ha sido creada.

Recomendaciones

- Es importante el control de humedad de las muestras, por lo que se recomienda el uso de otro tipo de almacenamiento de la muestra experimental, ya que la pérdida de humedad en los ensayos ha sido significativa.
- Sería satisfactorio para la metodología del ensayo CPTu en cámaras de calibración, realizar una normativa referente al ensayo CPTu para poder realizar verificaciones con otras investigaciones.
- Sería recomendable realizar mediciones de velocidad de onda cortante VS en la cámara de calibración y así crear correlaciones con estos resultados para la obtención de la densidad del material instalados en la CC.
- Se recomienda realizar algunas pruebas en la CC con un grado de saturación mayor, para analizar la presión de poros con el CPTu.

- Se recomienda que se realicen los ensayos 8, 14 y 13 de la prueba CPTu ya que los resultados no concuerdan con la tendencia general y así poder corregir los errores provenientes de estas pruebas.
- Se recomienda el estudio detallado del estado de anisotropía en la CC, ya que aún no se ha realizado variedad de pruebas, además verificar algunas de las pruebas realizadas como por ejemplo el ensayo CPTu 14.
- Para futuros proyectos, también se podría dar uso de los resultados provenientes de la relación de fricción en el CPTu en la CC.
- Cuando se determine que un depósito de arena es susceptible a licuefacción, es necesario aplicar técnicas de drenaje y densificación de suelos, por ejemplo: explosiones controladas, vibro compactación.
- Es necesario y conveniente para el proyecto que se elaboren más ensayos triaxiales cíclicos no drenados con diversidad de densidades relativas, ya que para este informe de práctica profesional solamente se contó con 8 ensayos triaxiales para el material Kali4.
- No es posible aplicar directamente los resultados de este proyecto en Costa Rica; primeramente, porque en el país no se realizan proyectos de minería a cielo abierto; además los materiales de las correlaciones realizadas (Kali4) y los suelos en Costa Rica difieren en aspectos como la mineralogía (criterios geológicos), la granulometría y la forma de partícula (criterios de composición); los cuales influyen sobre la susceptibilidad a la licuefacción.
- Recomiendo adquirir este tipo de equipo para el desarrollo de investigaciones de depósitos sueltos de materiales en las zonas más susceptibles a licuefacción en Costa Rica.

Referencias

- [1] K. Ishihara, «Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics,» 1996.
- [2] S. M. Castro, «Licuefacción de los suelos, típica de zonas con depósitos arenosos,» 1991.
- [3] D. R. y A. T., «3rd Ishihara Lecture: An investigation into why liquefaction charts work: A necessary step toward integrating the states of art and practice,» 2015.
- [4] W. T. y K. I. , Interviewees, *Avances en resultados de la práctica profesional en el IBF*. [Entrevista]. 10 Noviembre 2017.
- [5] I. Kimmig, Interviewee, *Realización de correlaciones entre CPTu y CRR*. [Entrevista]. 2 Noviembre 2017.
- [6] J. Butlanska, «Cone Penetration Test in a Virtual Calibration Chamber,» Barcelona, 2014.
- [7] W. T. y T. T., «Aufstellung einer Korrelation zwischen dem Spitzendruck aus Drucksondierungen und dem Verflüssigungswiderstand eines Tagebau-Kippenbodens - Vergleich von Drucksondierungen in der Kalibrationskammer mit undranierten zyklischen Triaxialversuchen,» Karlsruhe, 2017.
- [8] O. V. Salas, «Ensayos triaxiales para suelos,» San José, 2011.
- [9] C. V. Moreno, «Análisis de licuación de arenas mediante el empleo de métodos de campo, análisis de respuesta de sitio y modelos numéricos de generación de presión de poro,» México DF, 2015.
- [10] L. Youd, M. Idriss, R. Andrus, I. Arango, G. Castro, J. Christian, R. Dobry, L. Finn, L. Harder, M. E. Hynes, K. Ishihara, J. Koester, S. Liao, W. Marcuson, G. Martin y Mitchell, «LIQUEFACTION RESISTANCE OF SOILS: SUMMARY REPORT FROM THE 1996 NCEER AND 1998 NCEER/NSF WORKSHOPS ON EVALUATION OF LIQUEFACTION RESISTANCE OF SOILS,» 2001.
- [11] M. C. Scholz, «Entwicklung von Korrelationen zur Ermittlung des Verflüssigungswiderstandes von Sand in Tagebau-Restseeboschungen auf der Basis von Drucksondierungen,» Karlsruhe, 2017.
- [12] S. T. y T. W., «Teparaksa. Evaluation of liquefaction potential of soils using cone penetration tests,» 1988.
- [13] D. W. a. W. F. P.K. Robertson, «Seismic cone penetration test for cone penetration test for evaluating liquefaction potential under cyclic loading,» *Canadian Geotechnical Journal*, pp. 686-685, 1992.
- [14] B. Seed y H. Alba, «Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of sands,» *Geotechnical Special Publication 6*, pp. 281-302, 1986.

Estudio comparativo de facilidades y obstáculos de las mipymes exportadoras en el estado de Guanajuato de México y en la provincia de limón de Costa Rica

Comparative study of facilities and obstacles of the exporting mipymes in the state of Guanajuato of Mexico and in the lemon province of Costa Rica

Kenishia Peart-Harris¹

Peart-Harris, K. Estudio comparativo de facilidades y obstáculos de las mipymes exportadoras en el estado de Guanajuato de México y en la provincia de limón de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 104-112.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5483>



¹ Escuela de Administración de Empresas. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: chiki2193@hotmail.com

Palabras clave

Gestión de Calidad; Desempeño Exportador; Exportación; Facilidades; Obstáculos,

Resumen

Con este estudio se pretende comparar las principales facilidades y obstáculos que enfrentan las mi pymes exportadoras del Estado de Guanajuato, México y de la Provincia de Limón, Costa Rica.

Se intentó identificar si existen similitudes o diferencias entre las facilidades y obstáculos que presentan las Mi pymes exportadoras del Estado de Guanajuato, México y de la Provincia de Limón, Costa Rica.

El estudio va dirigido a todo aquel que exporta o tiene deseos de exportar, ya que les dará herramientas útiles e información para comprender un poco el ámbito de las exportaciones en México y Costa Rica.

Se utilizó el método de a entrevista para recabar la información necesaria con una muestra no probabilística o dirigida por conveniencia. Se obtuvieron los siguientes resultados por indicador:

En limón se encuentran micro, pequeñas y medianas empresas mientras que en Guanajuato solo se encuentran pequeñas y medianas empresas. En Guanajuato y en Limón las empresas pertenecen a los sectores industrial y comercial. Tienen la similitud de que exportan vegetales.

Las pymes en el estado de Guanajuato comenzaron sus actividades de exportación tiempo antes que las mipymes de Limón. Las empresas cuentan con capital propio y presentan similitudes y diferencias en cuanto a retos al exportar, normas de calidad y los mecanismos de control de procesos que utilizan.

Keywords

Quality Management; Export Performance; Export; Facilities; Obstacles; MSMEs.

Abstract

This study aims to compare the main facilities and obstacles faced by exporting MSMEs in the State of Guanajuato, Mexico and the Province of Limón, Costa Rica.

An attempt was made to identify if there are similarities or differences between the facilities and obstacles presented by the exporting Mipymes of the State of Guanajuato, Mexico and the Province of Limón, Costa Rica.

The study is aimed at anyone who exports or has a desire to export, as it will give them useful tools and information to understand a little the scope of exports in Mexico and Costa Rica.

The interview method was used to gather the necessary information with a non-probabilistic or convenience-driven sample. The following results were obtained by indicator:

In lemon, there are micro, small and medium-sized companies, while in Guanajuato there are only small and medium-sized companies. In Guanajuato and Limón the companies belong to the industrial and commercial sectors. They have the similarity that they export vegetables.

SMEs in the state of Guanajuato began their export activities some time before the Limón MSMEs. The companies have their own capital and present similarities and differences in terms of export challenges, quality standards and the process control mechanisms they use.

Introducción

El presente estudio describió aspectos relacionados con la gestión de la calidad y el desempeño exportador de las mipymes en el Estado de Guanajuato, México y en la Provincia de Limón, Costa Rica.

El tipo de investigación que se aplica es la descriptiva-exploratoria-cuantitativa.

Con esta investigación se intentará identificar si en materia de exportación las mipymes cuentan con facilidades u obstáculos y será útil para que los dueños o encargados de las mipymes puedan poner en práctica mecanismos de control de procesos, utilicen herramientas de mejora y apliquen las normas de gestión de la calidad (si no lo estuvieran haciendo) para asegurar el éxito de su empresa desde la calidad. Su utilidad puede ser social, económica y administrativa.

La investigación se lleva a cabo a partir del mes de Enero 2017 (durante el 2107 se recopiló la información en México) hasta Mayo del 2018 (durante el 2018 se recopiló la información en Costa Rica), en donde se recopila, da formato y analiza la información de las mipymes.

Se planteó como principal objetivo del proyecto el comparar las principales facilidades y obstáculos que enfrentan las mipymes exportadoras del Estado de Guanajuato, México y las de Provincia de Limón, Costa Rica.

Métodos

Enfoque de la investigación

Es cuantitativo porque usa la recolección de datos con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento [1].

Se inició el proceso con una investigación exploratoria que se desarrolló en dos etapas, la primera etapa consistió en la revisión de literatura relacionada con las mipymes exportadoras; también se consultaron las bases de datos. La segunda fase consistió en una serie de entrevistas con los jefes, encargados y dueños de las mipymes del estado de Guanajuato y de la provincia de Limón.

Diseño de la investigación

Es no experimental con un alcance exploratorio y descriptivo. Exploratoria porque se indaga el tema desde una perspectiva innovadora y descriptiva porque se considera el fenómeno estudiado y sus componentes [1].

La temporalidad es transversal, porque recopila información en un momento dado, permitiendo comparar la situación actual en dos escenarios diferentes: Guanajuato y Limón.

Unidad de análisis

Las mipymes del estado de Guanajuato y de la provincia de Limón.

Población y muestra

Está conformada por las mipymes del Estado de Guanajuato y de la Provincia de Limón. Se decidió seleccionar una muestra no probabilística o dirigida por conveniencia. Los individuos empleados en la investigación se seleccionaron porque están fácilmente disponibles, no porque hayan sido seleccionados mediante un criterio estadístico. La muestra en el estado de Guanajuato, México fue de 10 empresas y en la provincia de Limón, Costa Rica fue de 5 empresas.

VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

A partir de los objetivos específicos se determinaron las variables más relevantes del estudio, las cuales se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Variables del Estudio

Variable	Definición conceptual	Definición operacional
Tamaño de empresa	El tamaño o dimensión de la empresa quiere expresar el mayor o menor volumen de cada una de las magnitudes que sirven para explicar lo que es y lo que hace la unidad económica [2].	<ul style="list-style-type: none"> • Micro: número de empleados ≤ 10 • Pequeña: $10 \leq \#$ de empleados ≤ 30 • Mediana: $30 \leq \#$ de empleados ≤ 100
Sector	División de la actividad económica de un país en función de la propiedad de las empresas o del tipo de actividad [3].	<ul style="list-style-type: none"> • Industrial • Comercial
Desempeño exportador	El desempeño exportador generalmente se mide con el índice de éxito exportador el cual es de uso reciente en las mipymes, procura encontrar una medida sintética que permita cuantificar el grado de éxito exportador de cada empresa en particular, con lo cual se construye un ranking que muestra el mayor o menor grado de aprovechamiento de los mercados externos por parte de las pequeñas y medianas empresa del país [4].	<ul style="list-style-type: none"> • Continuidad exportadora • Dinamismo exportador • Diversificación de mercados • Condiciones de acceso a los mercados
Obstáculo	Situación o hecho que impide el desarrollo de una acción [5].	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumento aplicado
Facilidades	Condiciones especiales que permiten lograr algo o alcanzar un fin con menor esfuerzo [6].	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumento aplicado
Calidad	Es el grado en el que un grupo de características inherentes cumplen con los requisitos.	<ul style="list-style-type: none"> • Existencia de normas • Mecanismos de control • Cultura de calidad • Herramientas para la mejora

Análisis comparativo mipymes de Guanajuato vs mipymes de Limón

En esta sección se muestra un análisis comparativo entre los resultados más relevantes obtenidos en el estado de Guanajuato, México y en la provincia de Limón, Costa Rica.

Cuadro 10. Comparación de resultados

Indicador	Resultados de Guanajuato, México	Resultados de Limón, Costa Rica	Comparación	Similitud
Tipo de empresa	Más de la mitad de las empresas entrevistadas están en la clasificación de pequeñas empresas, ya que poseen menos de 40 trabajadores.	Más de la mitad de las empresas entrevistadas están en la clasificación de pequeñas empresas, ya que poseen menos de 40 trabajadores.	En limón se encuentran micro, pequeñas y medianas empresas mientras que en Guanajuato solo se encuentran pequeñas y medianas empresas.	
Sector al que pertenece	Poco menos del 50 % de empresas se dedican a ambas actividades: creación de productos y su comercialización.	Más del 55% de empresas se dedican a ambas actividades: creación de productos y su comercialización.	El mayor porcentaje de empresas que se encuentran en ambos sectores productivos se encuentra más consolidado en el mercado, ya que pueden dedicarse a los dos sectores y asegurar su éxito en cada uno de ellos.	
Productos que exportan	La mayor parte de las empresas se dedican a exportar y /o producir materiales de acabados y vegetales y hortalizas.	La mayor parte de las empresas de dedican a exportar y/o producir piña y banano.	Ambos sectores exportan productos diferentes, pero se haya similitud en la exportación de vegetales.	
Años de exportar	La mayor parte de la empresas poseen de 15 a 20 años de experiencia en exportación	La mayor parte de las empresas poseen menos de 10 años de experiencia en exportación.	Se halló una diferencia marcada en la experiencia de exportación de las empresas, ya que más del 25% de las empresas en Guanajuato poseen de 15 a 20 años de experiencia en exportación lo que indica que han atravesado por los diferentes cambios en cuanto a aspectos propios de la exportación y han tenido que adaptarse al cambiante mercado mientras que más del 35% de las empresas en Limón tienen menos años de realizar actividades de exportación.	
Inversión extranjera	Un mayor porcentaje de las empresas no cuentan con inversión extranjera.	Un mayor porcentaje de las empresas no cuentan con inversión extranjera	Existe la similitud de que la mayoría de las empresas cuentan con capital propio, lo que se puede deber a que las mismas son empresas familiares.	

Indicador	Resultados de Guanajuato, México	Resultados de Limón, Costa Rica	Comparación	Similitud
<p>Retos para exportar</p>	<p>Para la mayor parte de las empresas el reto más grande a la hora de exportar es el posicionamiento competitivo a nivel internacional, ya que en el mercado internacional se encuentran miles de empresas que se dedican a las mismas actividades.</p> <p>Una minoría de la muestra considera como retos a la hora de exportar las instalaciones físicas, las transacciones internacionales y las habilidades transculturales.</p> <p>Una de la empresas considera que no posee retos, ya que los responsables adquirieron la empresa cuando ya estaba consolidada, los retos los tuvieron los creadores dela empresa (sus padres).</p>	<p>Para la mayor parte de las empresas el reto más grande a la hora de exportar es el marketing internacional, porque dependiendo de la manera en que promocionen sus productos así será la respuesta del consumidor final.</p> <p>Una minoría considera un reto las alianzas estratégicas.</p> <p>Para la totalidad de las empresas las habilidades transculturales y las instalaciones físicas no representan un reto a la hora de exportar.</p>	<p>El mayor reto para exportar en el estado de Guanajuato es el posicionamiento competitivo internacional mientras que en Limón es el marketing internacional.</p> <p>Los menores retos para exportar de las empresas en el estado de Guanajuato son las instalaciones físicas, las transacciones internacionales y las habilidades transculturales mientras que en las empresas de Limón consideran que son las alianzas estratégicas.</p>	

Indicador	Resultados de Guanajuato, México	Resultados de Limón, Costa Rica	Comparación	Similitud
Normas de calidad	<p>La mayoría de las empresas utilizan las normas de gestión de calidad ISO 9001. La minoría de las empresas utiliza de las empresas utilizan las normas de gestión de calidad ISO9004, las normas de seguridad y salud en el trabajo ISO 45001 y las normas de seguridad alimentaria HACCP ISO 22000 (food safety)</p> <p>Dos de las empresas utilizan normas adicionales que son las ISO 28000 (seguridad de la cadena de suministro) y la ISO 17025 (requisitos que deben cumplir los laboratorios de ensayo y calibración).</p>	<p>Debido a que las empresas de Limón se dedican a la comercialización de frutas y vegetales utilizan las normas de seguridad y salud en el trabajo ISO 45001 y las normas de gestión ambiental ISO 14000. La totalidad de las empresas utiliza las normas de gestión de calidad ISO9004 y las normas de seguridad alimentaria HACCP ISO 22000 (food safety).</p>	<p>En ambos lugares las empresas utilizan las normas ISO 9001, la ISO 22000 (food safety), la ISO 14000 y la ISO 45001.</p> <p>La diferencia es que en el estado de Guanajuato también utilizan las ISO 28000 y la ISO 17025.</p>	
Mecanismos de control de procesos	<p>La mayoría de las empresas utilizan los Procedimientos de producción.</p> <p>La menor parte de las empresas utilizan la medición de desperdicios (dándole poca importancia al manejo de los desperdicios que a lo largo acarrearán costos para la empresa).</p>	<p>La mayoría de las empresas utilizan el Manual de calidad, los Instructivos de trabajo y la medición de desperdicios como mecanismos de control de procesos.</p>	<p>En el estado de Guanajuato las empresas utilizan mayormente los Procedimientos de producción mientras que en Limón las empresas utilizan los manuales de calidad, los Instructivos de trabajo y la medición de desperdicios como mecanismos de control de procesos.</p>	

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de la aplicación de las encuestas.

Código de similitud	
Similar	
Con semejanzas y diferencias	
Diferentes	

Conclusiones

En Guanajuato las facilidades que se identifican son la Selección de mercados internacionales, la Ubicación de la empresa y la adquisición de proveedores y los obstáculos son las políticas gubernamentales (burocracia), las tasas de interés altas y financiamiento, las limitaciones de producción y la ubicación de las empresas.

En Limón las facilidades que se identifican son la adquisición de proveedores (por la ubicación geográfica), las buenas prácticas, la selección de nuevos mercados internacionales y la ubicación de las empresas. Los obstáculos son las tasas de interés y financiamiento, las políticas gubernamentales (burocracia) y la ubicación de las empresas.

En Limón se encuentran micro, pequeñas y medianas empresas mientras que en Guanajuato solo se encuentran pequeñas y medianas empresas.

El mayor porcentaje de empresas que se encuentran en ambos sectores productivos, ambos sectores exportan productos diferentes, pero se haya similitud en la exportación de vegetales y hortalizas.

Como la mayor parte de las empresas mipymes de Guanajuato se dedican a exportar y /o producir materiales de acabados y vegetales y hortalizas nos habla de los gustos de la población, ella se inclina más a la adquisición de los acabados de construcción y presenta los vegetales como parte de su dieta regular y en Limón por ser el caribe de Costa Rica, cuenta con las condiciones climáticas idóneas para producir frutas y vegetales frescos de las que muchos países carecen.

Entre el estado de Guanajuato y la provincia de Limón existe la similitud de que la mayoría de las empresas pymes y mipymes exportadoras cuentan con capital propio lo que se puede deber a que las mismas son empresas familiares y se caracterizan por contar con capital propio.

El mayor reto para exportar en el estado de Guanajuato es el posicionamiento competitivo a nivel internacional mientras que en Limón es el marketing internacional.

No existe una política pública orientada a reducir los obstáculos y aprovechar las facilidades para las pymes en el estado de Guanajuato y en la provincia de Limón a la hora de exportar por lo tanto en las recomendaciones se plantean algunos elementos a considerar para dicha política.

Cuadro 13: Sugerencias de elementos a considerar.

<ul style="list-style-type: none"> • Agilización de trámites gubernamentales para la exportación, para eliminar la burocracia, que es la que hace que muchas mipymes no realicen actividades de exportación.
<ul style="list-style-type: none"> • Crear una campaña informativa que sirve para que cada dueño de mipymes conozca a fondo los requerimientos gubernamentales que deben cumplir para exportar.
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar capacitaciones para la certificación de los productores nacionales en normas internacionales (ISO), en mecanismos de control de procesos y en normas de calidad.
<ul style="list-style-type: none"> • Crear una base de datos completa, accesible y actualizada de las empresas mipymes exportadoras, ya que el país maneja la información a nivel de PROCOMER y Cámara de comercio de manera privada, por lo que es imposible acceder a ella. Como por ejemplo la del SIEM (Sistema de Información Empresarial Mexicano) que es una base de datos empresarial pública.
<ul style="list-style-type: none"> • Crear programas universitarios con énfasis en la creación de mipymes y en la promoción de la exportación de los productos que nos caracterizan como provincia y como país

Recomendaciones

- Explotar la ubicación estratégica de las empresas para ampliar la producción y adquirir nuevos clientes.
- Continuar enlazado a los proveedores actuales y conseguir más proveedores de calidad para que los tiempos de entrega puedan ser los necesarios para cumplir con los requerimientos de los clientes.
- Minimizar la cantidad de papeleo que se debe presentar para ser apto para exportar.
- Formular políticas públicas orientadas al apoyo de las pymes, contemplando los siguientes elementos del cuadro 13.

Referencias

- [1] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado & M. Baptista Lucio. *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill. 2014.
- [2] C. Bueno. (2002). *Administración y Dirección de Empresas de la Universidad a Distancia de Madrid*. Recuperado el 04 de Junio de 2018, de <https://blogs.udima.es/administracion-y-direccion-de-empresas/libros/introduccion-a-la-organizacion-de-empresas-2/unidad-didactica-9-tamano-concentracion-y-crecimiento-de-la-empresa/1-introduccion-concepto-de-tamano-y-crecimiento-de-la-empresa/>
- [3] Oxford. (2018). Recuperado el 04 de Junio de 2018, de <https://es.oxforddictionaries.com/definicion/sector>
- [4] Alvarez & Durán. (2009). Obtenido de Alvarez & Durán, 2009.
- [5] Oxford. (09 de 05 de 2018). Obtenido de <https://es.oxforddictionaries.com/definicion/obstaculo>
- [6] Real Academia Española. (2017). *Real Academia Española*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=HT3X84s>

Design and Implementation of an Autofocusing Algorithm for the Goniometric Robotic Apparatus for Compound Eye

Mariana Guzmán-Fonseca¹

Guzmán-Fonseca, M. Design and Implementation of an Autofocusing Algorithm for the Goniometric Robotic Apparatus for Compound Eye. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 113-127.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5487>



¹ Estudiante. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: mgfonseca2812@gmail.com

Abstract

The Goniometer Robotic apparatus for compound eye at the Computational Physics Laboratory at the University of Groningen is requiring an autofocus algorithm that is able to capture focused images for the analysis of compound eye insect for characterization. In the absence of an adequate algorithm that manages to place the camera in the right place, GRACE automation has difficulty searching for the respective image.

Through the present article you will find the design and implementation of algorithm autofocus structured in modules which improve the organization of the process to achieve an adequate analysis of compound eyes.

An algorithm has been proposed which executes five techniques of autofocus capability to determine the sharpness in images in several channels, as well as to use some of those techniques to improve the positioning of the camera and acquire focused images.

Keywords

Autofocusing Algorithm; compound eye; GRACE.

Introduction

Nature shows an awesome life cycle which has been the subject of research to explain and to deepen in areas that lack information in the scientific and technological communities. An important discovery has been made in the vision field. The striking vision system in arthropods, a kind of insect, has come to be an attractive subject for the discovery of its optical properties.

Compound vision, present in arthropods, means there are thousands of smaller eyes called *ommatidia*. Each *ommatidia* is a facet that works as an independent optical system [1]. The ommatidia are sensorial units formed by photoreceptor cells capable of distinguishing the presence of light from lack of light [2]. Each ommatidia has a cylindrical shape which generates an image from adjacent fields with a range of around 270 or 360 degrees of vision that form a vision called a mosaic vision. In other words, the different light intensities which come from multiple directions and together with other environment properties is how image is formed in compound eyes [3].

The well-developed visual system is found in butterflies and flies which are highly visual animals. The characterization of compound vision has been done manually with conventional microscopes that do not have the appropriated movements producing a process that has been time consuming. The Department of Computational Physics of The University of Groningen has developed many studies based on the eyes of the butterflies and flies leading to a long process which has created a specialized device known as Goniometric Robotic Apparatus for Compound Eyes (GRACE) [4].

GRACE goniometer is a robotic scanner with six degrees of freedom (DOF) [5], it means, has six movement axes, used to characterize the vision space of butterflies and flies' eyes. The machine is conformed by two parts, the first is the positioning system where stepper motors are used for all mechanical movements which consider both XYZ direction [6] and two rotations known as azimuth and elevation axis and second part is the visual system which include cameras, lens and microscope with a good optical system. GRACE has been improvement since its creation, conducting to create two GRACE versions that the main difference between them are the camera position now is the azimuth and elevation axes and it is independent of the XYZ system where in the previous GRACE (that continue in use) the camera is dependent of the XYZ system.

Visual system is taken over by autofocus and auto-center algorithms to capture the image. An important aspect is to get focused images so that we have searched for an autofocus algorithm

that satisfies suitable images for an appropriate analysis. This research is based on improve the autofocus algorithms processes image to search sharpest image within the set of images captured by the GRACE device.

Besides, to validate their current five techniques due to there is no explanation why these algorithms work to determine if the image is in or out of focus and in that way find one technique that could acquire the best focus image. Another lack aspect is determined a good camera position [7] which help to obtain a good quality image. So far both the autofocus and the camera position must be the main purpose in the article to help getting a suitable images analysis and contribute to improve the visual part of the GRACE second version machine to obtain compound eyes images.

Methods and Materials

The development of the design process, validation of autofocus algorithms and implementation proposal to improve the focus level of the acquisition images through the GRACE instrument have been addressed through three design solutions capable of giving an optimum development that they satisfy the desired project.

Solution 1: Full custom autofocus algorithm, it consists to the fully adapted autofocus algorithm which includes a goniometer easy to use for the person handling the machine, a flexible program allows an integration of focusing algorithm that is able to receive some adjustment such as the camera parameters which is entered into the system by means of an easy graphic interface with the user producing a time- optimized device, it means an entirely new design that includes very specific details.

Solution 2: Autofocus algorithm using frameworks for image processing, analyzing image processing programs on the market, a library called Open Computer Vision (known as OpenCV), which works in C/C++ language, has predefined, specialized functions, methods and features for processing images. The new development seeks an adaptation of the autofocus algorithm capable of performing the search for the best image focused within a set of images through the use of Open CV libraries.

Solution 3: Autofocus algorithm adaptation, taking into account the algorithms used so far with the GRACE device, a solution would be sought to improve them by means of modifications required by the device, this could include performing an image analysis in the three channels at the same time, to obtain the graphed focus measure as well as a standardized graph (normalized graph) for each of the proposed algorithms.

The previous solution have been assessed using a comparative table 1 base on some evaluation criteria in order to clarify the choice of the design proposal. It uses a score evaluation where Very Good is 4, Good with 3, Regular with 2, Inefficient with 1.

Table 1. Solutions Comparison

Evaluation Criteria	Solution 1	Solution 2	Solution 3
Functionality	4	4	4
Time Implementation	1	2	3
Cost Implementation	1	3	3
Integrability	3	2	3
Algorithm Complexity	2	3	3
Average	2.2	2.8	3.2

The table 1 has shown that the *functionality* of all three solutions has a good acceptance, they are able to perform a focus search on the set of insect compound eye images. Regarding the *time implementation* that involves the time consumed to develop the focus algorithm so that it goes into operation, solution 3 worked best. It showed to be easily adaptable, using GRACE algorithm and software, and it takes less time than the other solutions. The *cost implementation* is based in the materials, software, arrangement and all the aspects which get involve carrying out the autofocus algorithms. The Solution 1 has a very high cost taking it to get a punctuation of one, the second solution has an average cost because it utilizes a new platform and compiler and third solution runs on the same software that GRACE first version has used, so its implementation is the most favorable. The *integrability* refers to the adaptation of the solution with the system that exists, in this case with the GRACE goniometer second version, the criterion is accepted by option one as it would help the autofocus process by its specialized orientation to the system, solution 2 is the furthest from integration due to the new compiler with the library and third option is able to run on the same old platform but with added procedures to improve the performance of the autofocus.

The last criterion is the *algorithm complexity* which is the algorithmic procedure gets the focus measure (FM) and achieves the necessary programming for the objective. The solution 1 is more difficult mathematically because the complexity of designing an algorithm with a new procedure can carry a lot of study, solution 2, the complexity became less as a result of the image processing dedicated library and third solution shows a favorable average due to having already performed the mathematical procedures of autofocus on the platform and is known to work well.

As discussed above, solution number 3 meets the appropriate conditions and obtains the best evaluation (3.2 score) for the design development and the functional autofocus algorithms implementation.

Algorithm Design

According to the selected proposal, for the fulfillment of the project, the autofocus algorithm have been developed toward a modular system which is explained below make use of figure 1.



Figure 1. High-level module solution of autofocus algorithm design, own authorship.

The figure 1 represent a high-level description of the autofocus algorithm where five modules describe the procedure.

Get an Insect

Insect has to be collected with compound eyes, like flies and butterflies, for research analysis. A fundamental aspect is to identify the species with which it is going to work. The insect must be placed properly, remain still and alive during image acquisition analysis. The species that base the tests performed have been chosen due to the availability of the season which are *Sarcophaga* sp. depicted in figure 2.a, *Scathophaga stercoraria* sp. showed in figure 2.b and *Calliphora* sp. In figure 2.c

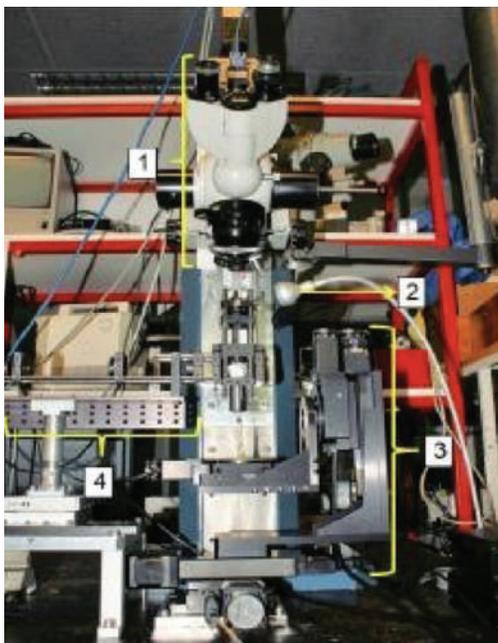


Figure 3. GRACE second version that has the next parts as shows in the figure where 1) it is the microscope located in the camera axis, 2) light source, 3) XYZ mechatronic system and 4) the visual mechanism which is under construction.

Both blocks integrate the circuit (hardware) that execute the movement and the program (software) that save the structures with the image and the focus measure. Besides, blocks communication is bidirectional since blocks must communicate so much to go capturing images with the camera as well as the program goes sending the amount of accounts that the motor should be moved.

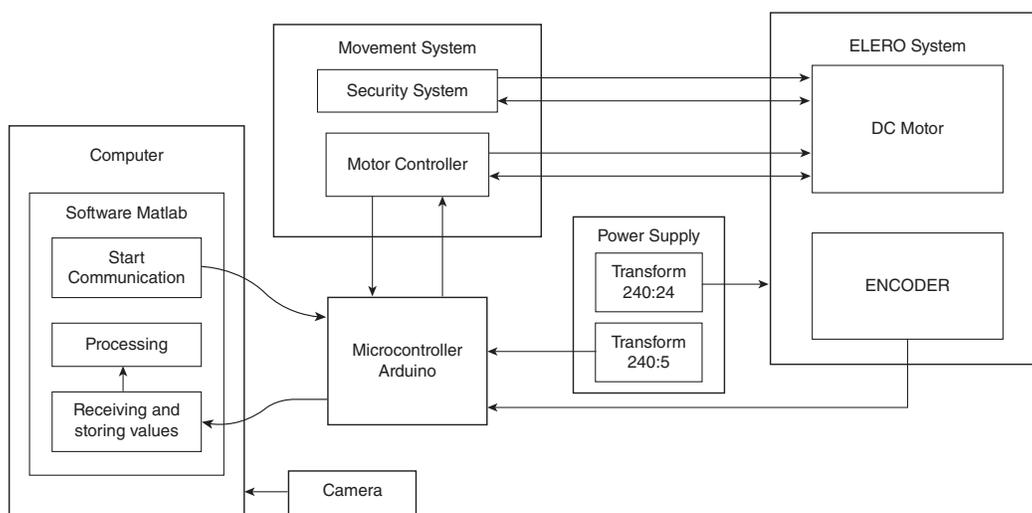


Figure 4. Data acquisition system showing two blocks, the computer data reception in the left and camera position circuit at the right.

The acquisition begins with the connection of the microcontroller with the others electronic parts, entails the respective hardware configurations between the DC motor, the Encoder, the motion system and the Arduino connection, not the computer, as shown in figure 4. The last step consists of the called *AutofocusGrace* function in which the algorithm has received the video variables, the serial communication is available with the circuit to move along the axis and acquiring an image set that is captured on certain number of pre-established steps are starting to set. In addition, the five algorithms execution is happening while good position is calculated with the algorithms results.

Image Processing

The image processing is described by means of the five autofocus algorithms that have been used to obtain a focus measure (FM which has a lumen value as SI derived unit) and indicated a sharpness determined by mathematics which calculate for three channels in each of the algorithms. The higher the focus measure (FM) the sharper the image because of that it is thought to use such measurement in order to normalize (as a standardization) data obtained by each algorithm and channel to perform comparisons. The algorithms explanation has been an important contribution to the development of the goniometric device because the algorithms were only implemented experimentally but did not have a basis for which it was given to the task of searching several studies to compile the information that summarizes the most relevant of each algorithm.

The sharpness measure underpins and validates the Energy of Gradient, the Energy of Laplacian, the Gaussian Derivation, the Tenengrad, and the Vollaths Correlation algorithms. They must give a metric of sharpness. All the methods implement the idea of searching focus measure quality which help to represent to high frequency content in the image, in most of the cases.

Energy of Gradient

The gradient energy is a method that achieves a measure of focus by analyzing all the pixels of the X and Y axis of a frame or image to be analyzed [9]. The gradient provides a vector which points in the direction of the greatest change relation of the two-dimensional function [10]. In general, the principle of the Energy of Gradient is a differentiation-based focus function. It is to consider the existence of an edge if there is a discontinuity in the image intensity function. [11] It means that a maximum is obtained in the derivative that is applied when searching for the intensity values of the image.

Energy of Laplacian Autofocus Algorithm

The Laplacian is a method to measure the amount of edge present in image, using the second derivative for image sharpening. Technique consists of establishing a discrete formulation of the second order derivative and then constructing a filter mask based on that formulation [12]. Laplacian is a derivative operator which is used to highlight intensity discontinuities in an image and neglects regions with low intensity levels, leads to generate clear images. The method uses the square of the results of the convolution of the image with the mask of the filter mentioned above, a data media is obtained and also the focus measure to analyze the sharpness of the image.

Gaussian Derivation Autofocus Algorithm

It is a focus method that results from combining a smoothing and a gradient to measure the energy contained in the image [11]. The level of smoothing is used for the medium of Gaussian Derivation application, while the gradient is provided by the mask that is chosen according to the desired purpose. Gaussian Derivation method gives a response to the best focus position when finding a local maximum [13], in this way it can be said that it is a complex method that works for the search of the sharpness of the image when implementing Gaussian filters in which the results with scalar value indicates the focus measure that has been achieved.

Tenengrad Autofocus Algorithm

It is a technique that analyzes the nature of the edge based on the differentiation of the image, algorithm performed by Tenenbaum formulas [14]. It is an edge detector for autofocus when there is a distortion (blurring) between dark and clear boundaries in the images. Because PSF (Point Spread Function which is a response to the impulse) is distributed at each pixel intensity, we take into account the differentiation of the image to find out the measure of focus.

Vollaths Correlation Autofocus Algorithm

Vollaths Correlation method looks for the similarity between a central pixel and a predefined zone (surroundings), it is an image relation with itself, and this is spatial filtering processing when using the autocorrelation operation. Autocorrelation is based on Chapter 4. Methods and Materials 40 cross- correlation, which means that it looks for the correspondence of a selected area in the image with respect to another image (or with the same image) to determine its displacement [15]. Vollath proposes a method that is based on experimental determinations using several criteria and properties until finding the criterion that satisfies the search for the value of the focus measure [16].

Data Extraction

Once the process has finished acquiring the necessary data set by the algorithm designed, the information must be manipulated to give interpretation and give an explanation. For this purpose, the data has been classified into several types of graphs, tables and tables representing the data. The graphs show the data of the focus measures for each algorithm and channel and tables have been designed to show images according to the algorithms of edges detection to highlight the best results.

Simulation Results

The result related to the solution design is going to be showed and discussed in this section. An aspect to emphasize is that the image capturing has been carried out with several species of flies. However, the last tests have been realized with *Sarcophaga* sp, *Scathophaga stercoraria* sp and the third fly is believed to be most likely *Calliphora* since the fly has not being as closely examined as the other two.

Setting camera results

The camera configuration has got a desired image format when the camera was aligned with the insect eye which always tries to place in the center of the image to appreciate the compound eye, as figure 5.a, a zoom is applied to analyze the eye facet in Matlab, shown in figure 5.b.

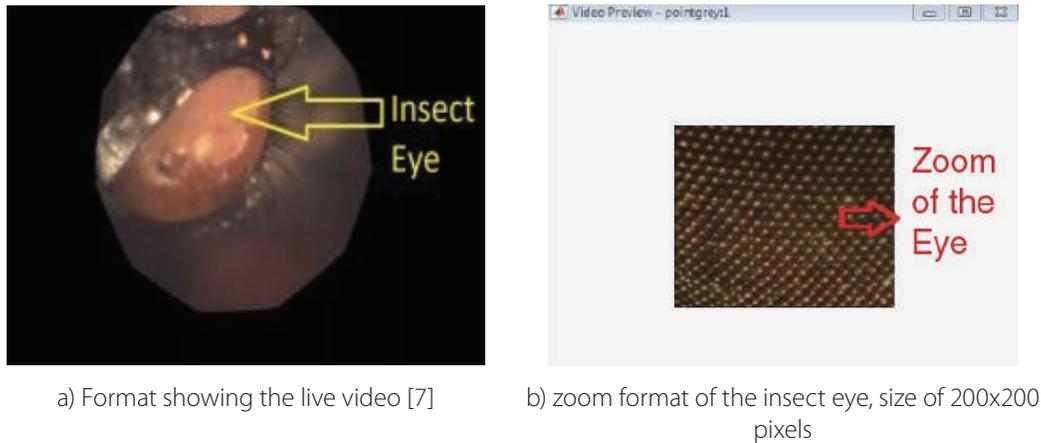


Figure 5. Desired region size where the insect is placed to be analyzed

The video transmission had several problems for not having a continuous streaming, so it has been solved by incorporating in the camera initialization script a section where it includes the interruptions. The video streaming which is obtained is 19 frames per second (FPS) on average and through a command is generated in the command line of Matlab results an appropriate and continuous transmission. Another problem was that image involved all the environment around the insect eye, it has been solved by means of an algorithm implemented by laboratory partner [17] who solved the problem choosing an interest point within the image where it is visualized what is wanted.

Data acquisition Results

The camera position and the algorithm implemented in Matlab script achieved a continuous video streaming where communication transmit and received signal without loss. An important aspect is set serial parameters like a baud rate of 9600 signal unit per second, data bit representing data size that is 8 and time out in the communication is 60 seconds. During transmission the distances in sending which is interpreted in Arduino microcontroller to perform the displacement which is automatically as well as capturing a certain amount of images and process them with the autofocus techniques.

The *AutoFocusGrace* has been created to fulfill the synchronization process, function consists of making a camera shift to capture several photographs, analyzing with the five autofocus techniques and finishing return the camera when function had the best approach using techniques, position and focus measure were found in a structure called *Focus* where saved all positions and focus measure (FM) values evaluated in the three channels. The return of the camera has been implemented with a servo control base on image that is known as *AutofocusSlopes* function which complies to stop the camera displacement until an image satisfies the focus conditions. Focus condition takes a group of 5 FM that compute the slope which evaluate if value is positive

and less than the previously calculated slope and highest focus value is reached is when the displacement stop, that was one of the better improvement in autofocus algorithm.

This implementation is image control because the calculation of the focus measures (FM) performed by the autofocus techniques is defined where the best sharpness proceeding to manage to stop the camera movement. To finish, it can be noticed the integration of hardware and the software has been vital to achieve the camera position control (hardware) sent from all the Matlab script (software) to satisfy data acquisition.

Autofocus algorithm results

After executing autofocus algorithms, the resulting graphs have been designed to show a graphics where contains 200 frames (images) and the focus measure results are evaluated in the five autofocus algorithms and each technique in the red, green and blue channels.

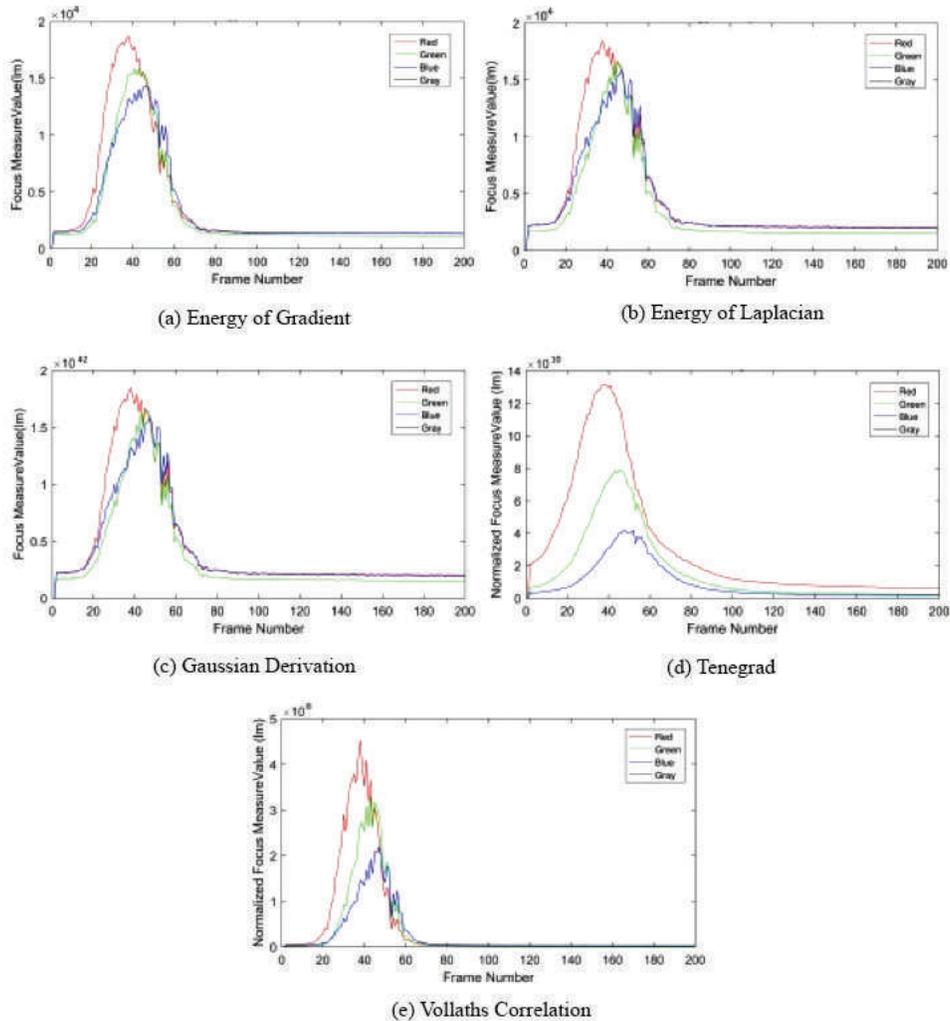


Figure 6. Focus Measure values graphics represented in red, green and blue channels for the five autofocus techniques with *Sarcophaga sp* when scanning.

Figure 6 may be noted that most of the curves present noise along its stroke because there are external conditions that affect acquire data as they are noise and vibrations of where the goniometer is. That disturbances are less present in the Tenengrad technique as the graphics denote and several tests have been performed where it has always been consistent that noise and vibrations were quite eliminated with Tenengrad technique. To clarify the same result was reached in the three fly species, but for purposes of this article *Sarcophaga* analysis is the one that will be explained. Such a technique involves the convolution of the image with a Sobel filter [19] within their calculations which are quite appropriate for the FM values. The Gaussian Derivation presented the biggest problem with noise and vibrations, followed by Energy of Laplacian and Vollath's Correlation.

As for the channels, it is distinguished that the red channel is the fastest one to reach a maximum value in comparison with the other channels. The red channel presented magnitudes of the focus measurements values greater than in the cases of green and blue channels. Moreover, the red channel has a major difference in the Tenengrad technique, more than in the rest of the autofocus techniques.

Table 2. Summary of the maximum FM values obtained by each algorithm for autofocusing with *Sarcophaga* sp.

Technique	Red Channel		Green Channel		Blue Channel	
	Maximun FM value	Position	Maximun FM value	Position	Maximun FM value	Position
Energy of Gradient	1.87×10^8	37	1.58×10^8	40	1.43×10^7	46
Energy of Laplacian	1.85×10^8	37	1.65×10^8	44	1.59×10^8	46
Gaussian Derivation	1.32×10^{42}	37	7.90×10^{41}	45	4.20×10^{41}	47
Tenengrad Vollaths	4.53×10^{10}	37	3.27×10^{10}	42	2.18×10^9	46
Correlation	6.11×10^8	37	4.55×10^8	42	2.94×10^8	46

In table 2, it can be appreciated that order of the values of FM are quite different, techniques of Energy of Gradiente, Energy of Laplacian and Vollath's Correlation remain in the order of the power to the eight, the Gaussian Derivation technique works in the order of the power of 42 while Tenengrad has exponential values in the order of 10, these results are generated by the mathematics that each carries.

The magnitudes of the values in the red channel are greater than in the green and blue channel, due to the photoreceptor pigments of insect *ommatidia* it captures the red spectrum better than the other channels.

Normalized algorithms

To ratify which of the five techniques have better result and be able to make a comparison, focus values have been normalized which consists of taking the highest focus measure (FM) obtained and divide it with the other FM values to have results based on a maximum value of one.

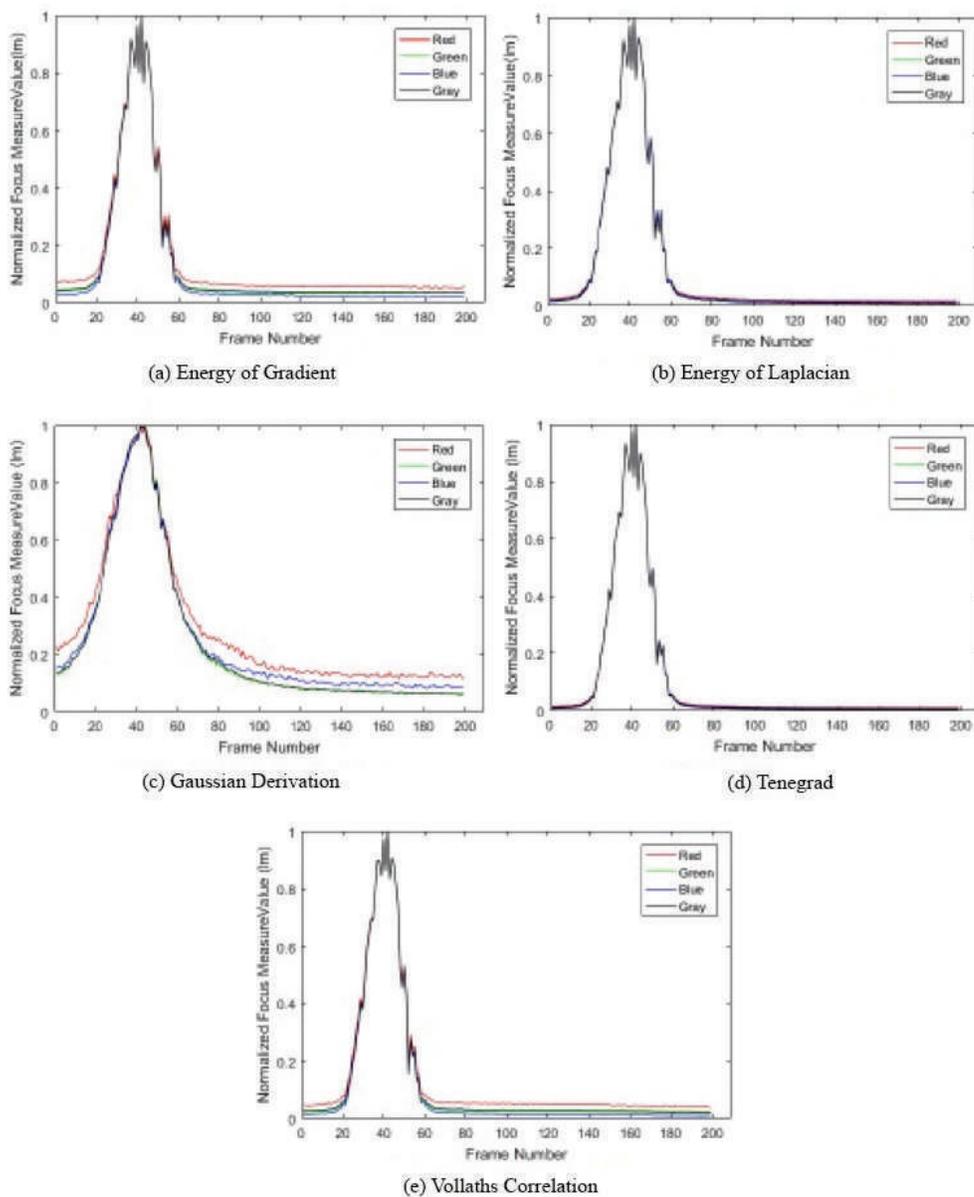


Figure 7. Focus Measure Normalized values graphics represented in red, green and blue channels for the five autofocus techniques with *Sarcophaga sp.*

Normalized graphs (figure7) show that the channels overlap in their curves as result that graphs are similar behavior due to they are based on one but the disturbances are kept. It can be observed that the maximum values are always reached in the range from 20 to 40 frames in *Scathophaga stercoraria sp* and 30 to 50 in *Sarcophaga sp* fly and 16 to 25 in *calliphora sp* fly. Moreover, the normalization has helped to visualize that the difference between the unfocused and focused values has on average a gradient of 0.72 for *Sarcophaga*, 0.63 for *Scathophaga* and 0.73 for *Calliphora*.

Having learned that the autofocus techniques that had the best results have been Tenegrad and the Energy of Gradient, Tenegrad in the red channel has chosen to perform the camera positioning, it means, the AutoSlopes function it is possible to position the camera in a place where it had a good focus of the image and better observe the compound eye of the insect.

Data Extraction Results

Since it was noticed that the techniques try to detect edges themselves, the off-line tests from autofocus algorithms have been used as an experimental criterion for implementing three types of edge detectors to ensure the analysis with the algorithms is validated with the best sharpness image.

Three types of edge detector are generic implementation in Matlab script adapted to the purpose. The first test converts the image to binary image, technique based on threshold chosen as $T = 0.2$ which was the measure found after several tests. The second consisted in applying a Sobel filter setting its thresholds as $T = 0:2; 0:4$ or $0:6$ and Canny filter [14] setting its threshold of $T = 0:4$ to the images that are based on searching the gradient of the image intensity in order to detect their edges that make up the image. Finally, the third test performed not only edge detector also improve disturbances such as noise and low contrast (conditions called poor) in the captured image has been created by some authors who sought to improve edge [18].

Discussion

The autofocus algorithm has been proven to obtain sharp images during scanning insect compound eye through a block-segmented autofocus algorithm (figure 1) and it has an adequate operation of image captures with the GRACE second version device.

The live video (figure 7) is being carried out without stopping or the image has frozen, the video streaming is about 19 FPS. When executing the macroalgorithm to find the best approach with a continuous video this helps to capture suitable images in a 200×200 size as the camera moves around the eye. The serial communication between the Arduino, the camera and the software in Matlab has been successful interaction between themselves, the serial synchronization parameters have to be the same when configured to ensure communication.

The values of the displacement counts to move the DC motor through the serial communication, has been achieved by the interruptions, it means, the system attended to the motion request as soon as the signals were generated, if issue is coming the message goes out several times to achieve the communication, and if it is not achieved the system stops and the program must be re-initialized.

The count values of the camera displacement have an error (like a delay) value of the three magnitudes. It has been accepted since the moment the camera stops in the calculated position, at the well-focused image. Error is related to DC motor that contains an Encoder which barely receiving the internal stop signal continue sending a bit later (3 more values) until motor voltage is zero.

The *AutoFocusGrace* function has adequately performance for the calculation of focus measure in the five autofocus techniques. The *AutoSlopes* function has been implemented to position the camera through image processing, it is an image-based control where it has been conceived make use of the best autofocus technique in only one of its channels.

The technique chosen was *Tenengrad* in the red channel the data set was divided into groups of five with which the slope was calculated. The slope method has been able to find a place by identifying abrupt changes and together the established condition achieved the behavior to stop camera movement. Despite this, Positioning had several problems, since the non-linearity of the system which affect the function but it is still functional because the movement is continuous.

The implementation of the *Focus* structure to store the focus measure and *Scanned* to store the captured images has had an important utility because it is required to have the complete data per channel for each focus technique to perform tests outside the execution of the algorithm.

The autofocus algorithms validations have been carried out by the execution of the corresponding mathematics of Energy of Gradient, Energy of Laplacian, Gaussian derivation, Tenengrad and Vollath's Correlation, techniques base on the search edge detection and focus measure (FM).

Focus measures give an average of the intensity of the image pixels to know the extent of their quality. The channel analysis helped to know that the red channel generates higher and faster values than other channels, regardless of the type of γ that has been used. The Tenengrad chosen shown resistance to noise and vibration disturbances and indicate a great contrast between what is focus and out of focus for which an average gradient of 0.72 was obtained for Sarcophaga, 0.63 Scathophaga stercoraria and 0.73 for Calliphora.

Edge detection techniques have been used to find composite eye edges where threshold values were selected by experimental criteria until the desired shape has been detected and have been used to ensure the best product image where the camera stopped.

The autofocus algorithm implementation has produced a satisfactory result for the GRACE second version device which was the best technique and channel as well as to use that information to make a new way to control the camera positioning.

Conclusions and Outlook

The implementation of the autofocus algorithm has been achieved through the structuring in five modules to divide the procedures and have an appropriate response by relating a control circuit (hardware) to the software programs, that implementation is called image-bases control. The algorithm by modules achieved an organized methodology to position the camera as well as to unify in a single execution the analysis of the five techniques in its three channels at the same time to be stored in a data structure. By mean of AutoSlopes function, which grouping five focus measure and retrieve a slope, was possible stopping the algorithm and the camera position when finding images with high magnitudes of FM through a group of five focus measure.

The search for the mathematics of each of the five algorithms have validated them because they are algorithms that make calculations based on the detection of edges that helped to define compound eyes as well as retrieve the focus measure gave in lumen unit that means an average of the intensity of the pixels to look for the sharpness of the images. With the execution of the algorithms, it has been possible to find out with the three flies' species that Tenengrad is the technique with quick results and precise time to find sharpest images and added to the functional prototype to GRACE second version. In addition, it included the communication without loss of data and capture uninterrupted images when making movement.

Recommendations (Outlook)

The positioning control can receive modifications like include conditions of friction and gravity to counteract some difficulties when moving the position of the camera up or down. To capture images, a good lighting system is recommended, as well as to perform the eye scanning on a surface where aspects such as noise or vibrations are not perceived. For users, it is recommended to do a graphic interface where the user chose the techniques, the movement and next to that include the visualization of the live images that are currently seen. The electronic circuit has to integrate their all in a PCB, currently each integrated component are separately and connected by means of cables.

References

- [1] D G Stavenga. Pseud opupils of compound eyes. In Handbook of Sensory Physiology, volume VII/6A, chapter seven, pages 357{439. Groningen, 1979. ISBN 3-540-08837-7; 0-387-08837-7.
- [2] Universidad de Costa Rica. Visin de los insectos. Museo de Insectos, 2009. URL <http://www.ciproc.ucr.ac.cr/index.php/es/areas/museo-de-insectos>
- [3] Michael F Land and Dan-Eric Nilsson. Animal eyes. Oxford Animal Biology Series, 2(1):221, 2002. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199581139.001.0001.
- [4] Tamara R Spanier. The Design and Implementation of the Full Actuation for the Five DOF 3D Robotic Scanner. (July), 2015.
- [5] Doekele G Stavenga. Reections on colourful ommatidia of butterfly eyes. The Journal of experimental biology, 205(Pt 8):1077{1085, 2002. ISSN 0022-0949.
- [6] Vargas-Delgado. An Image Stitching Algorithm for Compound Vision Research. 2016.
- [7] G J Doornbos. Design and implementation of an autofocusing algorithm for a 3D robotic scanner IEM Bachelor thesis. (June), 2015.
- [8] Angulo García, Angulo. Sitemas Digitales y tecnologia de computadores. 2007. URL <https://books.google.nl/books?id=i8eX0aMzmzcC&lpg=PA147&dq=que%20es%20cmos&hl=es &pg=PR2#v=onepage&q=que%20es%20cmos&f=false>
- [9] Rafael C Gonzalez and Richard E Woods. Digital Image Processing (3rd Edition). 2007. ISBN 013168728X. URL <https://www.amazon.com/-/es/Rafael-C-Gonzalez/dp/013168728X>
- [10] Arturo de la Escalera Hueso. Vision por computador:fundamentos y metodos. Pages 1{63, 2001. doi: 10.1007/s00359-016-1119-7.
- [11] Diego Gonzalez-Aguilera, Javier Gomez-Lahoz, and Pablo Rodr guez-Gonz_alvez. An automatic approach for radial lens distortion correction from a single image. IEEE Sensors journal, 11(4):956{965, 2011.
- [12] Rafael C Gonzalez and Richard E Woods. Digital Image Processing (3rd Edition). 2007. ISBN 013168728X. URL <https://www.amazon.com/-/es/Rafael-C-Gonzalez/dp/013168728X>
- [13] J M Geusebroek, F Cornelissen, aWSmeulders, and H Geerts. Robust autofocusing in microscopy. Cytometry, 39(1):1{9, 2000. ISSN 0196-4763. doi: 10.1002/(SICI) 1097-0320(20000101)39:1h1::AID- CYTO2i3.0.CO;2-J.
- [14] Accommodation in Computer Vision. Accommodation in computer vision. 1970.
- [15] Bernd Jahne. Digital Image Processing (3rd Edition). 1995. ISBN 013168728X
- [16] Dieter Vollath. Automatic focusing by correlative methods. Journal of Microscopy, 147(3):279{288, 1987. ISSN 00222720. doi: 10.1111/j.1365-2818.1987.tb02839.x. URL <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2818.1987.tb02839.x>
- [17] Ketan Kumar Sahu. Automated image feature identification for motorised mapping of insect eyes. In University of Groningen, 2017.
- [18] Aleman-Flores Santana-Cedres Trujillo-Pino, Krissian. Accurate subpixel edge location based on partial area e_ect. (October), 2012
- [19] Diego Gonzalez-Aguilera, Javier Gomez-Lahoz, and Pablo Rodr guez-Gonz_alvez. An automatic approach for radial lens distortion correction from a single image. IEEE Sensors journal, 11(4):956{965, 2011.

Escaneo tridimensional y detección de objetos para una subsecuente manipulación por un robot colaborador

3D scanning and detection of objects for a subsequent manipulation by a collaborative robot

Alejandro Alpízar-Cambronero¹

Alpízar-Cambronero, A. Escaneo tridimensional y detección de objetos para una subsecuente manipulación por un robot colaborador. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 128-140.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5488>



¹ Licenciado en Ingeniería Mecatrónica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Duale Hochschule Baden-Wurttemberg (DHBW), Karlsruhe, Alemania. Correo electrónico: aleac14@gmail.com

Palabras clave

Robot colaborativo; sistemas de visión; escáner láser tridimensional.

Resumen

En el mundo se utiliza cada vez más la robótica para asistir en los distintos procesos que se llevan a cabo: desde la manufactura, la medicina y muchas otras áreas en las que se requiere aliviar el trabajo del ser humano, ya sea por exceso de esfuerzo, la necesidad de alta precisión o por la peligrosidad de la misma tarea que se desea llevar a cabo, entre otros.

Los robots colaborativos tienen una gran capacidad de llevar a cabo tareas variadas; sin embargo, existe siempre una restricción hacia los mismos, son “ciegos”. Los robots pueden llevar a cabo tareas para las que son programados, pero en un principio no cuentan con herramientas que les permitan ver su entorno para reaccionar acorde con él. Se han desarrollado distintas tecnologías para superar estas barreras.

El objetivo del proyecto es desarrollar la integración entre una tecnología láser de escaneo tridimensional con un robot colaborativo, de manera que éste pueda realizar un escaneo sobre una superficie de trabajo. Luego de completarse el escaneo, se debe analizar la información obtenida con un sistema de visión que se implementará, para luego poder darle al robot interpretación de los datos obtenidos y que el robot pueda subsecuentemente tomar decisiones respecto a las acciones a llevar a cabo y la ubicación de los distintos objetos presentes. Se llevará a cabo una investigación progresiva, en la que se puedan ir desarrollando las herramientas necesarias para obtener los resultados deseados, para lograr al final un solo sistema integrado de visión.

Keywords

Collaborative robot; vision system; tridimensional scanning laser.

Abstract

Robotics are used every day more to assist on the different processes that take place around the world: from manufacturing, medicine and many more areas in which human work needs to be eased, rather because there is an overload on the needed effort, a necessity for high precision or for the hazard that the process itself implies, among others.

Collaborative robots have an enormous capacity to carry out a variety of tasks; however, there is always a restriction to them, they are “blind”. Robots can perform tasks which they are programmed to do, but in principle they lack of tools that will allow them to view their surrounding and interact accordingly with it. Different technologies have been developed to overcome this barrier.

The objective of the project is to develop the integration between a tridimensional scanning laser technology with a collaborative robot, so that the robot can execute a scan over a working surface. After completing the scanning routine, the obtained information shall be analyzed with a vision system that will be developed, for giving the robot, later on, interpretation of the obtained data and the ability to subsequently take decisions of the actions to be made and the location of the different objects present. A progressive research will be implemented, so that the necessary tools to accomplish the objectives can be developed, to obtain ultimately a whole integrated vision system.

Introduction

The university Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) in Karlsruhe, Germany, has a Robotics and Automation laboratory that is part of the mechanical engineering faculty, a division of the engineering or “Technics Department”. The DHBW owns a light section sensor from Leuze-Electronic.de. The laboratory also has possession of different collaborative robots: one ABB IRB1600, two IRB140 and from Universal Robots a UR5 and a UR10.

The goal of the project is to detect and handle objects with the 3D scanning system and the collaborative robot. It is desired to pick different and challenging objects that can be handled with one gripper. The motivation for developing such a system is based on the availability of the hardware (light section sensor and universal robot) at the DHBW, but also on the necessity to increase knowledge and uses on this type of systems that use 3D scanning technology.

At the moment, the university has a very restricted use for the sensor, but the uses of it can be increased and enhanced by developing further investigation. With the option of scanning multiple objects, the applications also augment. Scanning objects in the given environment for obtaining 3D images can be used for sorting different objects, assembling entire components, augmented reality, service robots and others. The ability to learn about the surroundings and about different objects allows robots to get a better notion of the world, and with this, new applications can be developed [1], for example, synchronized 3D readings with Google 3D Warehouse models. With this, a robot was able to identify real world objects and classify them using as base similar 3D models found on this database. And with the growing use of 3D technologies, understanding the world will be easier every day.

The evolution of robotics brings new opportunities for human development. Every progress made in the research of new technologies brings not only benefits, but also makes noticeable the deficits that had not been detected previously on the various areas of growth among robotics and related areas [2]. Robotics develops in a variety of shapes and functionalities, and it is evident that acquiring abilities inspired in nature are one of the main goals among researchers. Giving a robot the ability to interact with the world in a more real approach is one of the main interests in robotics. One of the abilities desired in robots, that is inspired in nature and also in human abilities is, the sense of sight. To achieve these, there are several attempts that are still on the spot of researchers, and that have grown in the last years.

The 3D scanning has become the attempt to document the real world and understand it better. There have been developed several techniques among time. As Ebrahim states:

3D laser scanning developed during the last half of the 20th century in an attempt to accurately recreate the surfaces of various objects and places. The technology is especially helpful in fields of research and design. [3-4]

One approach for capturing 3D information of the environment is using RGB-D cameras. These specialized cameras capture images as a common RGB camera, but they also capture depth information per pixel. However, using RGB-D cameras has its disadvantages. They have limited distance for information acquisition, the noise level on the measured distances can be problematic depending on the application, and they also have a restricted view angle [4].

There are many other restrictions or problems when using a camera technology for acquiring 3D information, such as the light conditions in which the applications is developed. The lack or excess of light or the uncontrolled conditions of it may cause shadows or faulty information, which may affect the measurements of depth among objects and scenarios. To avoid this problematic, laser technologies have been implemented to get depth information, that is not affected in the same way as cameras by the light on the environment [5].

Despite the application using a laser scan and not a camera, considering the illumination is important. Laser scans are a type of Time-of-Flight sensor. They use a light source, which could be a LED or in this case a laser. They also have an array of pixels that detect and measure the incoming light and its correspondent phase. This will be used to determine the distance from a specific point on space. The measure of received light depends not only on the distance of the object, but also on the reflectivity of the object that is been evaluated. Therefore, the light present on the surroundings does affect the measurements and should be considered. To get a better resolution of the scanned objects, an option would be to utilize a higher power laser, but this would increase the power consumption and overall cost of the system. Another option to avoid this would be to reduce the scanned area or to extend the scanning time of the object [6]. There are then three variables that need to be considered and pondered very cautiously: resolution of the images, cost of operation and cost of the system, and time invested on the scan. As Hornung et al. describe, “memory consumption is often the major bottleneck in 3D mapping systems”[7].

Materials

- Universal Robot UR5
- Light Section sensor LPS 36 from Leuze-Electronic.de
- Test blocks with different shapes
- Software Open CV for image conditioning
- Software Msys for programming multiple interface

Methodology

The project will be divided in several steps that will be explained next:

Step1: Collaborative Robot

Understand the functioning of the collaborative robots available at DHBW, their differences, advantages and disadvantages. Learn on the specification for this robots and how to program them. Select one of the collaborative robots and program it to move the sensor over the scanning area.

Step 2: Light section sensor

Understand how the light section sensor works, its features and limitations and how to get signals from it. Several testing will be carried out to understand better the functioning of the system: how it performs the scanning, and what communication protocol it uses to send this information to the receiver. It is also important to understand what process it uses to build the frame alignment to create the 3D images.

Step 3: Object detection, recognition

After acquiring the data of the objects present over the scanning surface, a series of algorithms to identify and classify different objects with OpenCV will be developed.

Step 4: Combined work

The overall objective is to integrate the robotic system, sensor reading algorithms and computer vision system to perform a complete function. The UR will aid rotate the sensor for the initial lecture, the information will be processed by the system and data will be sent back to the UR, so it can identify the different objects present on the work area, decide how to pick up and pick up the objects, for further manipulation (reposition, stack, relocate or store objects).

Results

The obtained results will be presented in the different stages in which the project was divided, in order to have a clear comprehension of each one of them.

Step1: Collaborative Robot

The ABB robots were at the moment used for different projects from other research students, and both Universal Robots were available for immediate use. The difference between both UR5 and UR10 are in dimensions and capacity, where the UR10 is bigger and can handle more weight. The programming of both robots makes no difference since they run on the same language and environment, and the final decision of which UR would be the best choice depends on the specific application the robot will be developing and its requirements. Since the application developed is for research only (not a real application in the industry), and the parts that will be handled by the robot represent no high demand on power, the UR5 was selected for working on the developing of the project during the semester. However, the solution developed will be possible to use on both URs.



Figure 1. UR5 Universal Robot selected for the application.

For the development of this project, there are two different Ethernet communications needed. The first one is between the Leuze sensor and the central computer, where the laser sensor functions as the server and the PC as the client. The second communication is between the PC and the UR Robot, where the UR behaves as a client and the PC will be working as a server. A diagram is presented in figure 2.

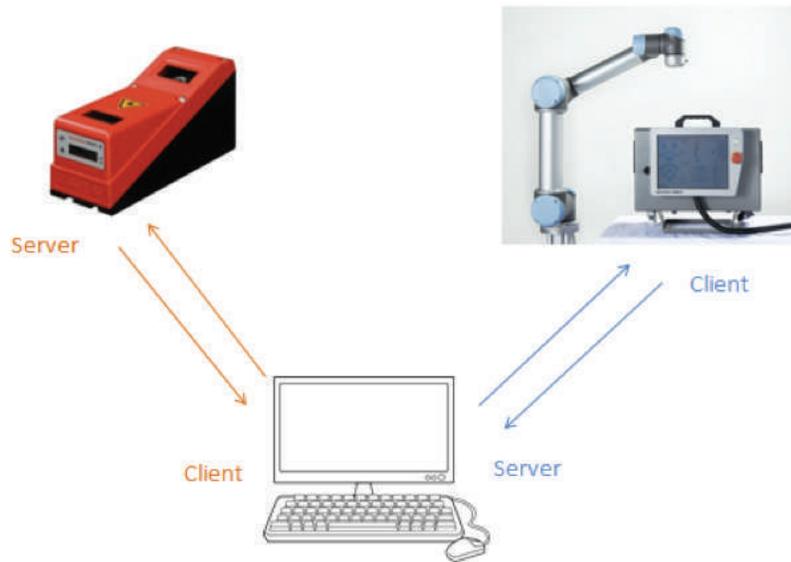


Figure 2. Communication diagram.

The UR5 was programmed using the teach pendant that comes with the robot, which offers the user a friendly interface to create the routine that wants to be carried out. However, a good comprehension of the kinematics of the robot is important in order to comprehend the movements of the robotic arm, to understand the space of the robot, and to relate this coordinates to the working space and the objects on it. The UR kinematics are performed by the UR's controller, and can be obtained with different functions that the UR's software provide.

Rotations can be calculated with the functions: [8]

$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

The UR's software allows defining features to make the programming easy. The user can define Points in space, Lines, and Planes. For this project, a plane is needed, which will be the table or measuring surface.

Figure 3 explains the disposition of points on the plane created:

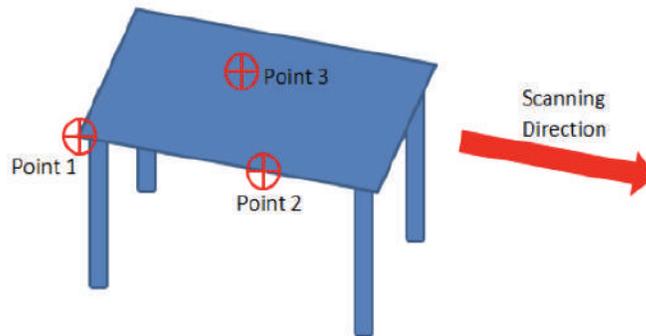


Figure 3. Measuring plane for the UR.

The coordinate system (origin) of the table will be located at Point 1.

The following algorithm (figure 4) was used to program the UR to perform a first scan of a surface:

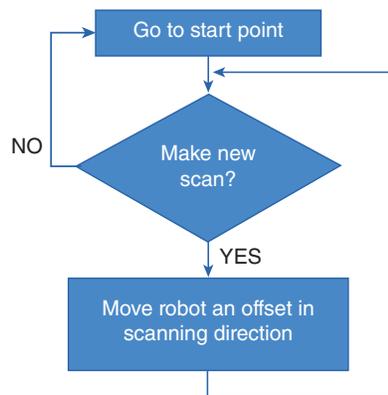


Figure 4. UR basic algorithm.

Step 2: Light section sensor

On this section, it will be developed the steps taken for programming the communication between the Leuze Light Section Sensor and the host computer. To achieve this communication, the sensor must first be studied, its technical characteristics, the protocol used by Leuze for the communication and the different possibilities that the sensor offers to the user, to define the scope and flexibility that the sensor will offer for the desired objectives.

On the figure 5, it is possible to observe a scheme of the functioning of the sensor.

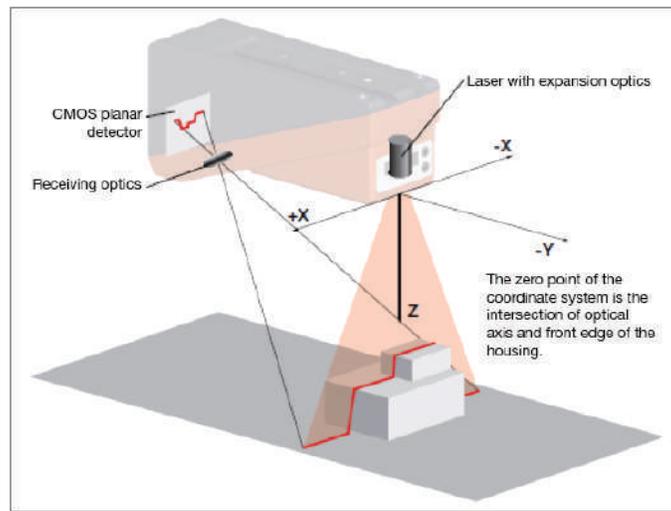


Figure 5. Leuze LPS functioning scheme.

As it is shown, the laser beam is projected over a surface from the laser. The laser line will be projected to the CMOS planar detector accordingly to a position relative to the point of reflection of the beam on the surface. This allows mapping the gradient of the laser beam proportional to the real 2D cut. The sensor then converts these values to a certain position, both in X and Z coordinates, that correspond to the real life surface. With one isolated lecture, a 2D profile will be obtained. When making continuous lectures, and if there is a relative movement between the sensor and an object, it is possible to create a 3D map of the readings.

There is one common problem that may present when making lectures, and it is called "Occlusion".

As the scanning of a surface is based on the reflection phenomenon from the laser beam to the CMOS detector, if the beam is obstructed partially or completely, it will not reach the destination as it is expected. This can be better explained when observing in figure 6.

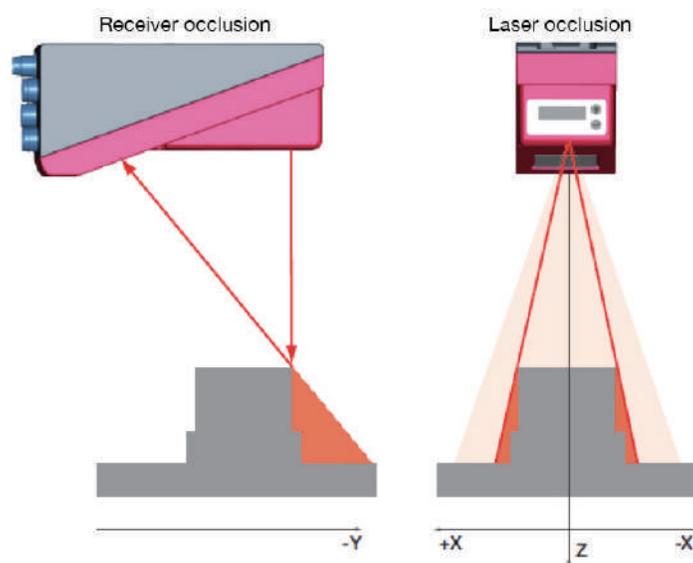


Figure 6. Occlusion phenomena on Leuze LPS.

The occlusion appears on a scanned object when not every part of the object can be reached by the laser beam that will get the depth information of the scanning surface, or when a point that was reached by the laser beam cannot reach back the CMOS sensor inside the Leuze LPS. This problem was detected on the scans performed, as in the figure 7 obtained:

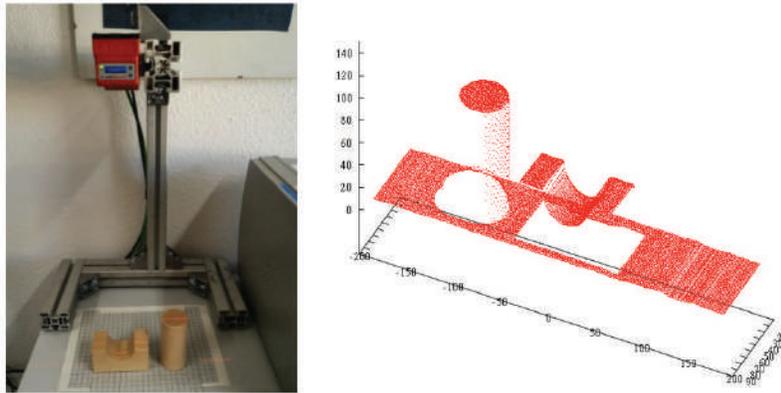


Figure 7. Static working station and cloud points from manually performed scan.

Step 3: Object detection, recognition

Point Clouds is a graphic interpretation in a 3D space in which every point has its own coordinate and can be located creating the space that the object would be occupying. The advantage when working with Point Clouds is that the data is managed in space as it is obtained. Every point (x_i, y_i, z_i) will have a specific coordinate with no possibility of occupying the same space than another point. Libraries like PCL have developed algorithms that handle these data, and allow to extract information and to transform the data (transforming the coordinate system or stitching with another point cloud for example). However, OpenCV cannot handle point clouds, which requires a different approach for a solution.

At this point of the project, there are files created with a list of points with x, y and z coordinates. A proposition for working with these data is to make a transformation from a 3D point cloud to a 2D grayscale image. The intensity of the gray represents in a 2D image the Z value of the 3D image, while the X and Y coordinates remain the same.

If the Z channel is output as a grayscale image, the above result is printed (see figure 8).



Figure 8. First grayscale image

As expected, the image is a grayscale representation of the 3D image that represents the height with a different intensity of gray. The darkest zones represent what is farther from the sensor, and the brightest zones represent what is closer to the LPS.

Different conditioning algorithms were implemented to analyze the images obtained from the 3D scans, starting from edge detection. A Canny function was selected because it gives equal priority for both X and Y directions. Other functions for finding borders are for example: Gaussian filter, Sobel filter, Scharr filter. The canny edge detector uses the Gaussian filter to filter out noise from the image, and then applies a similar to Sobel filter to find the gradients on the image. It is also known as Optimal Detector. The following result was obtained after experimenting with different values to obtain an optimal result (see figure 9).

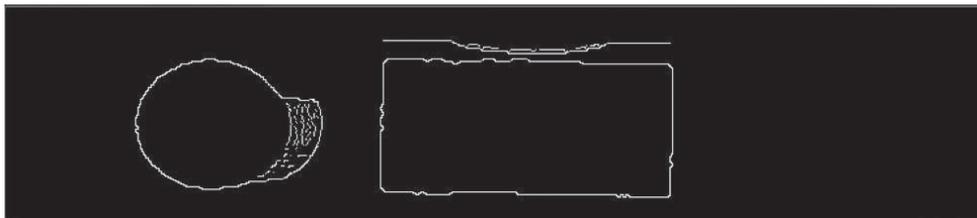


Figure 9. Edges of filtered grayscale image

The idea of the filters is to isolate from noise and to obtain geometric figures that can be further analyzed to classify each object. More image analysis needs to be done, but new images are necessary. Because of this, the integration of the UR and the Leuze sensor is now mandatory.

Step 4: Combined work

The following algorithms for the integration stage were developed (figure 10):

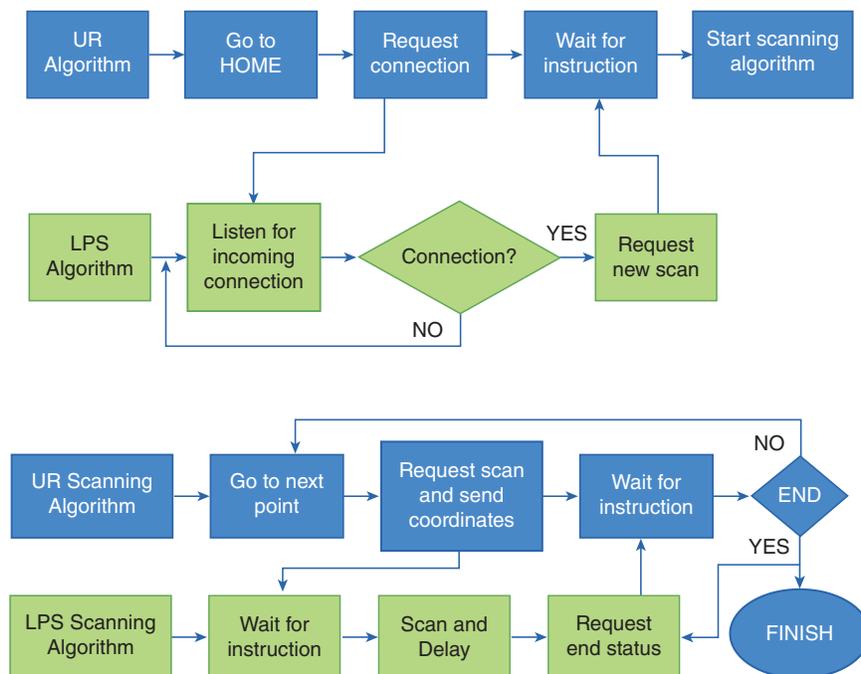


Figure 10. Final scanning algorithm with UR5 integrated.

After obtaining new images with the use of the UR5, and applying canny filter, followed by a sequence of dilate and erode stages, very good images were obtained (see figure 11).

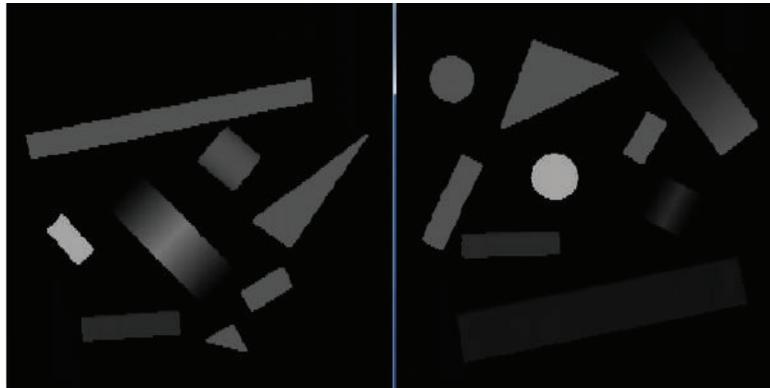


Figure 11. Filtered images obtained with different objects present on workspace

To identify and classify the present objects, edge detector algorithms and best fit algorithms were applied. The best fit algorithm compares an object with the best probable fit, and can be done using rectangles, circles and triangles as reference, as showed in figure 12.

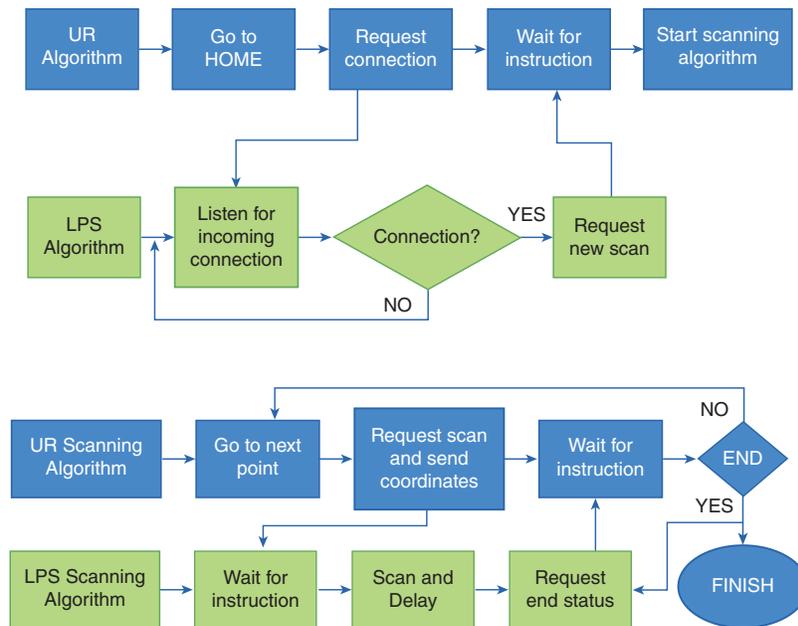


Figure 12. Detected objects and best fit analysis.

The areas of the objects were compared to make a final decision on what kind of object was been analyzed at the moment, the area units are pixels. The following results from comparing areas were obtained from analyzing two different objects (see table 1).

Table 1. Area comparison Figure A and Figure B.

Area	Figure A	% Error	Figure B	% Error
Original Figure	2048.5	-	1563	-
Best fit Rectangle	2115	3.25	1893.13	21.12
Best fit Triangle	4050.09	97.7	2524.71	61.53
Best fit circle	3325.39	62.3	1777.12	13.7

This area comparison made possible to determine that Figure A is a rectangle and figure B a circle, because the lower error on areas indicates which figure has the best fit.

In the end, for every object detected, the following information was displayed to the user:

- Object shape (rectangular, circular, triangular)
- Origin coordinates of the object (X,Y)
- Width and Height of the object
- Angle (orientation) of the object
- Area of the object

With the information obtained, it is possible to identify, classify and reach the different objects present on the scanned surface.

Conclusions

The use of light section sensors is optimal for acquiring 3D images on scanning surfaces, as it is very flexible to program, and offers the user a wide range of possibilities of configuration for obtaining the desired results.

The use of an assisting robot, in this case the UR5, to assist a depth sensor on realizing a scan over a measuring surface is very useful. It allows the user to make complicated scans with a high precision when a transporting band is not an option to move objects.

Vision systems are very powerful for analyzing data, and the extent of their scope is tied to the user's imagination and programming skills. An open-source tool such as OpenCV gives the user more than enough options for developing object identification, characterization and image treatment, but a background on image processing is required.

The integration of different areas such as Sensor programming, Robotics programming and kinematics, Image processing and others are a very useful quality for mechatronics, as they allow the user to build a wide variety of solutions that can be applied on the industry with success and for a large amount of applications.

Recommendations

The time for scanning was not very good, as it takes approximately 1 minute to scan a surface of 50cm. This is because of the logic that was used all along the programming of the algorithms.

A proposed solution is to make the Leuze sensor scan continuously and the UR also move continuously from the start point to the end point. An algorithm for managing the data sent from the sensor to the PC needs to be programmed, probably using a buffer that stores all the data

and then stores it properly. With no delays on the scanning process, the scanning time should be reduced drastically, probably to less than a final 10% of the actual scanning time.

Point Cloud Library (PCL) is a powerful tool that will allow treating the data as it is taken by the Leuze sensor. It only requires point coordinates on a 3D space to analyze data. PCL has algorithms for stitching more than one point cloud, which would allow making scans to an object from different directions, and putting them together in only one image. With this, it is even possible to create complete 3D images of objects that can later be used to reproduce the objects with 3D printers or CNC machines.

Acknowledgment

I would like to thank Prof. Dr.-Ing. Clemens Reitze from the DHBW and Prof. Dr. -Ing. Juan Luis Crespo Mariño from Tecnológico de Costa Rica for the continuous support on my thesis research, for their patience, motivation, and immense knowledge, which helped me get results of better quality.

References

- [1] K. Lai, and D. Fox. (2009). "3D Laser Scan Classification Using Web Data and Domain Adaptation." Proc. of Robotics: Science and Systems. pp 1-8.
- [2] D.A. Sofge, M.A. Potter, M.D. Bugajska, and A.C. Schultz. "Challenges and Opportunities of Evolutionary Robotics." In Proc. 2nd Int'l Conf. on Computational Intelligence, Robotics, and Autonomous Systems, 2003
- [3] M. Ebrahim. (2014). "3D laser scanners: History, Applications, and Future". Research Gate. DOI: 10.13140/2.1.3331.3284
- [4] P. Henry, M. Krainin, E. Herbst, X. Ren, and D. Fox. (2010). "RGB-D Mapping: Using Depth Cameras for Dense 3D Modeling of Indoor Environments". Experimental Robotics, 79, pp.477-491. DOI: 10.1007/978-3-642-28572-1_33
- [5] R. Valencia, E. Teniente, E. Trulls, and J. Andrade-Cetto. (2009). "3D mapping for urban service robots". In Intelligent Robots and Systems. IROS 2009. IEEE/RSJ International Conference on (pp. 3076-3081). IEEE.
- [6] S. B. Gokturk, H. Yalcin, and C. Bamji. (2004, Jun.). "A time-of-flight depth sensor-system description, issues and solutions". In Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, 2004. CVPRW'04. Conference on (pp. 35-35). IEEE.
- [7] A. Hornung, K. Wurm, M. Bennewitz, C. Stachniss, and W. Burgard. (2013). "OctoMap: An Efficient Probabilistic 3D Mapping Framework Based on Octree". Autonomous Robots. 34 (3), pp. 189-206. DOI 10.1007/s10514-012-9321-0
- [8] Sina. "Basic Kinematics of Constrained Rigid Bodies". Internet: http://blog.sina.com.cn/s/blog_48571ec80100brx6.html, May 01, 2009 [Nov. 20, 2015].

Optimización de máquinas reconfigurables CNC por medio de interfaz de control inteligente

Manuel Sanabria¹

Sanabria, M. Optimización de máquinas reconfigurables CNC por medio de interfaz de control inteligente. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 141-154.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5489>



1 Estudiante. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: manuelm15@gmail.com

Palabras clave

FPGA; PID; Micro-Máquinas Herramienta Reconfigurable; Eficiencia; Tiempo Real; Actuador eléctrico.

Resumen

En este documento será expresado el funcionamiento de las maquinas reconfigurables CNC, su implementación, además de un desarrollo de control inteligente desarrollado en el Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, a lo largo del segundo semestre del 2015. Este documento es en sí mismo un ejemplo de los diferentes controles que se pueden implementar en las maquinasCNC.

Para realizar una ejemplificación adecuada se adjuntarán gráficos e imágenes que permitan detallar el control y los beneficios de su implementación con el fin de optimizar la operación de la maquinasCNC.

Abstract

This document expressed the operation of the CNC reconfigurable machines, their implementation, in addition to a development of intelligent control developed in the Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, during second semester of 2015. This document is an example of the controllers that can be implemented in CNCmachines.

To perform an adequate exemplification to adjust the images and images that adjust to the control requirements and the benefits of their implementation to optimize the operation of the CNC machines

Introducción

Durante los últimos años, centros de investigación e instituciones de diferentes países han realizado investigaciones sobre el diseño y desarrollo de máquinas-herramienta CNC reconfigurables; términos como “máquinas-herramienta de escritorio” y “micro máquinas herramienta híbridas” han surgido como respuesta a estos esfuerzos, logrando resultados en reducción del tamaño de la máquina- herramienta, ahorro de energía, espacio de trabajo, recursos materiales de la máquina-herramienta, así como ayuda para preservar el medio ambiente [1] [2]. Sin embargo, uno de los grandes retos al que se han enfrentado, es ser capaces de ofrecer sistemas de control que permitan obtener un alto grado de precisión para el maquinado de partes donde la unidad de dimensión es la micra, un factor alrededor de 25 veces más pequeño que el que puede ser logrado con el maquinado convencional.

Los actuadores eléctricos son los principales elementos de control de una máquina-herramienta CNC, ya que estos dispositivos cuya función es proporcionar la fuerza para mover un dispositivo mecánico, como lo son las herramientas de corte, la tabla, el husillo, etc. Las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos han hecho que sean los más implementados en las máquinas- herramienta CNC.

Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes:

Motores de corriente directa (CD):

- Controlados porinducción.
- Controlados porexcitación.

Motores de corriente alterna (CA):

- Síncronos.
- Asíncronos.

Motores paso a paso.

Motores lineales.

Para las máquinas-herramienta, los actuadores eléctricos son la base de control de los coordinados movimientos que se requiere para el proceso de maquinado, la corriente, la velocidad y la posición son las principales variables de control de un sistema de manufactura. Los actuadores eléctricos tienen características de desempeño particulares, y puntos de operación nominales que garantizan el máximo aprovechamiento y trabajo generado. La eficiencia es uno de los principales parámetros que se analizan en este trabajo para el control de micro-máquinas herramienta reconfigurables, y por otra parte el gasto energético, ya que estas dos variables son dependientes del desempeño y precisión de la micro-máquina herramienta reconfigurable.

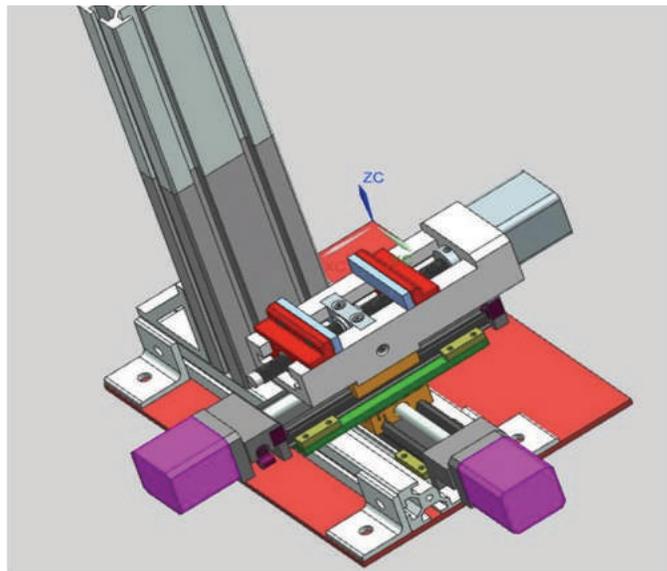


Figura 1. Máquina herramienta CNC reconfigurable, ensamble modo fresa.

En los procesos de maquinado, la exactitud del movimiento de la herramienta de corte depende del desempeño del controlador sobre los diferentes ejes de movimiento de la máquina-herramienta para minimizar los errores de posición generados sobre movimientos lineales y de contorneado. Tradicionalmente la precisión del movimiento lineal se mejora con la aplicación de lazos de realimentación y de alimentación hacia adelante. Los controladores PID (Proporcional-Integral- Derivativo) permiten tener buena precisión y simplicidad, además de ser portables y fácilmente reconfigurables.

El interpolador elemento dentro del Control numérico por computadora, el cual hace el rol de generador de los datos de movimiento de ejes a partir del bloque de datos generados por el intérprete y es uno de los componentes claves en un CNC, este refleja su exactitud y precisión. Por lo tanto, el interpolador requiere las siguientes características para que pueda generar el desplazamiento y la velocidad con éxito para múltiples ejes de forma de la pieza y la velocidad de avance predefinido [3].

1. Los datos del interpolador deben estar cerca de la forma de la pieza real.
2. El interpolador debe considerar la limitación de la velocidad debido a la estructura de la máquina y las especificaciones del servo mientras calcula la velocidad [3].

Los interpoladores pueden ser implementados en hardware y software, con la evolución del CNC los interpoladores por lo general se trabajan en software debido a los algoritmos complejos que se pueden programar. Los interpoladores se clasifican en: (1) Reference pulse method y (2) Sampled-data method.

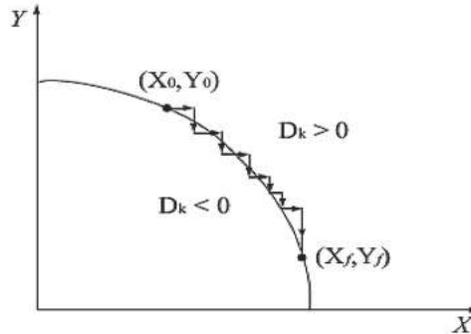


Figura 2. Comportamiento del interpolador stairs approximation.

Para un círculo, suponga que la herramienta llegue a la posición (X_k, Y_k) después de i th la iteración. En este algoritmo, la variable D_k se calcula por la ecuación:

$$D_k = X_k^2 + Y_k^2 - R^2 \quad (1)$$

La dirección de un paso se determina sobre la base de D_k , la dirección circular mandado, y el cuadrante donde el movimiento se realiza. Por ejemplo, si el movimiento circular se lleva a cabo en sentido horario en el primer cuadrante, el algoritmo ejecutado se explica:

1. $D_k < 0$: Este caso significa que la posición (X_k, Y_k) se encuentra en el interior de un círculo y, en este caso, el paso se mueve en la dirección positiva del eje X.
2. $D_k > 0$: Este caso significa que la posición (X_k, Y_k) se encuentra en el exterior de un círculo y, en este caso, el paso se mueve en la dirección negativa del eje Y
3. $D_k = 0$: Una de las reglas anteriores pueden ser arbitrariamente seleccionadas y aplicadas.

Este algoritmo requiere una pequeña cantidad de cálculo y menos espacio de memoria.

Sin embargo, se requieren numerosas repeticiones y, el número de pasos de iteración, que es calculado con la ec. 2.

$$N = |X_0 - X_f| + |Y_0 - Y_f|, (X_0, Y_0) \quad (2)$$

En el caso de interpolar un cuarto de círculo con radio R . El total de número de iteraciones, N es $2R$, con el fin de mantener la velocidad que se fija V_f (BLU/sec), la interpolación debe repetirse con la frecuencia conforma la ec.3.

$$\frac{f_0}{V_1} = \frac{2R}{\pi R/2} = 4\pi \quad (3)$$

El control computarizado no puede operar en tiempo continuo pues sus instrucciones se ejecutan de acuerdo a un reloj que administra sus intervalos de tiempo, de esta manera no es posible considerar un valor instantáneo de tiempo en la ejecución del control, sino del intervalo de tiempo en que ocurrió algún evento. Además, pensando en un sistema discreto completo, la adquisición de señales analógicas y su conversión a un formato digital toma cierta cantidad de tiempo, esto implica que la muestra analógica adquirida en un instante será diferente a la que se encuentra presente como entrada una vez que el controlador genere una salida.

En el siguiente trabajo se muestra un análisis comparativo de plataformas de control PID en un dispositivo cRIO-9074 de National Instruments que incorpora una FPGA Virtex II hasta 400MHz, programado con LabVIEW FPGA. Para fines de comparación, se ha programado el mismo controlador PID en LabVIEW 2013 sobre un sistema operativo Windows 8 de 64 bits. La interfaz electrónica de entradas/salidas se ha realizado para el caso de la computadora, a través de una tarjeta de adquisición de datos NI USB-6211 las condiciones de prueba son las mismas en todos los casos.

Controladores de movimiento de máquinas-herramienta

CNC

Existen diversas técnicas de control automático tradicionales que en la actualidad se encuentran en un estado de sinergia con técnicas modernas e inteligentes, para lograr mejores resultados de desempeño de control. Existe una gran cantidad de algoritmos de control aplicados en máquinas-herramienta CNC (Control Numérico por Computadora). En las últimas décadas la evolución de las máquinas-herramienta CNC está en función de las mejoras de los algoritmos de control, entre otros aspectos. Diferentes investigadores han enfocado sus esfuerzos y trabajos al desarrollo e implementación de nuevos controladores de movimiento en máquinas-herramienta CNC. Koren [4] realiza una evaluación de los servo-controladores y los evalúa a través de diferentes variables características del proceso de maquinado y del estado de la máquina-herramienta CNC. Clasifica los servo-controladores de la siguiente forma:

- Controladores de realimentación (feedback controllers) que pueden ser P, PID y realimentación de estados (state-feedback controller).
- Controladores de alimentación hacia adelante como lo son zero phase tracking controller (ZPECT) e inverse compensation filter (IKF).
- Controlador Cross-Coupling(CCC).
- Otros (control óptimo, control predictivo, control adaptativo y control repetitivo).

Generalmente son 3 las estrategias de control de máquinas-herramienta CNC como lo es: (a) point-point control, (b) tracking control y (c) contour control como se muestra en la figura 2.

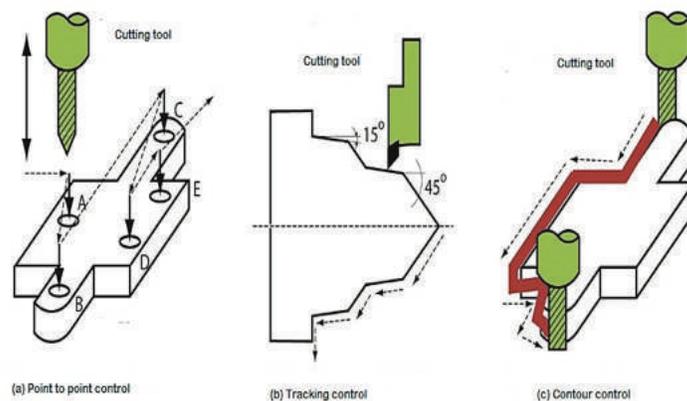


Figura 3. Estrategias de control de máquinas-herramienta CNC [5].

En una micro-máquina herramienta, cada eje de movimiento se maneja por un lazo de control independiente (figura 3). La variable a controlar representa la posición del eje que es realimentada y comparada con la referencia de entrada, que es la posición deseada. La señal resultante de la compensación del error, es la señal de accionamiento del motor por medio de un controlador, de tal manera que éste compense el error de posición que se genera. El control más simple es aquel donde la señal de salida es proporcional a la señal del error y es el llamado proporcional [4].

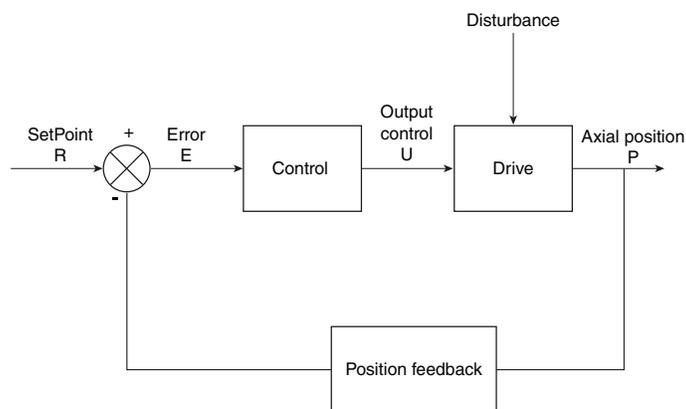


Figura 4. Diagrama de bloques de un lazo de control de posición utilizado en las micro-máquinas herramienta [6].

Por otra parte, es conveniente también garantizar una exactitud razonable y una robustez elevada contra las perturbaciones. Cada accionamiento en la micro-máquina herramienta está sujeto a errores inevitables entre la posición actual y la posición deseada, debido a la dinámica del sistema y errores debido a perturbaciones externas que ocurren durante un maquinado, dichos errores se corrigen con el controlador de posición entonces es un sistema que puede ser compensado gracias a la acción del control.

Tipos de mecanizado

A partir del desarrollo tecnológico de las máquinas-herramienta CNC, hoy en día se distinguen diferentes tipos de procesos de mecanizado en función de diferentes variables, tales como exactitud, precisión, volumen de metal cortado por unidad de tiempo, etc. A continuación, se hará una breve descripción de los procesos de mecanizado.

El mecanizado convencional, consiste en maquinar una determinada pieza utilizando las máquinas-herramientas convencionales, es decir, sin la utilización de controles avanzados. Esto implica la obtención de dimensiones con tolerancias entre 200 μm y 50 μm . El mecanizado de precisión consiste en efectuar el proceso de corte de metal, para obtener tolerancias muy precisas, que se encuentran en el rango entre 5 μm y 0.5 μm y rugosidad superficial inferior a los 0.18 μm . Existe el denominado maquinado de ultra-precisión, donde se alcanzan entre 0.05 μm y 0.005 μm de precisión [7].

Actualmente, el maquinado de alta velocidad (MAV) tiene diversas definiciones. No significa obligatoriamente mecanizar a altas revoluciones del husillo, ya que muchas de las aplicaciones se realizan con velocidades de husillo moderadas (3000 - 6000 rpm) y herramientas de gran diámetro (25 a 30 mm). Las condiciones del proceso (velocidad de corte, avance, profundidades de corte radial y axial, etc.) dependerán del material a mecanizar, así como de las máquinas y herramientas disponibles. Por tanto, para cada tipo de material existirá un rango de velocidad de rotación del husillo para el MAV [7].

Micro-máquina herramienta reconfigurable

La micro máquina-herramienta reconfigurable (mMHR), fue diseñada bajo el concepto reconfigurable, que consiste en obtener varias funciones para el mecanizado de piezas con solo reconfigurar el posicionamiento y cambiar la herramienta de corte. Las configuraciones posibles son: Taladradora, Fresadora y Torno (ver figura 5). A continuación, se enumeran los elementos que integran la micro-máquina herramienta reconfigurable (ver figura1):

1. BasePrincipal.
2. Soporte para reconfiguraciónvertical
3. BaseReconfigurable
4. Base para soporte de ejes
5. Ángulo para soporte de eje
6. Torre soporte de mordaza
7. Base sujetadora de abrazadera de husillo
8. Abrazadera de husillo
9. Husillo
10. Mordaza
11. Actuador eléctrico lineal
12. Portaactuador
13. Cilindro sujetador de mordaza
14. Herramienta de corte
15. Actuador movimiento eje
16. Actuador movimiento eje
17. Actuador movimiento eje
18. Butil
19. Inserto
20. Portabutil

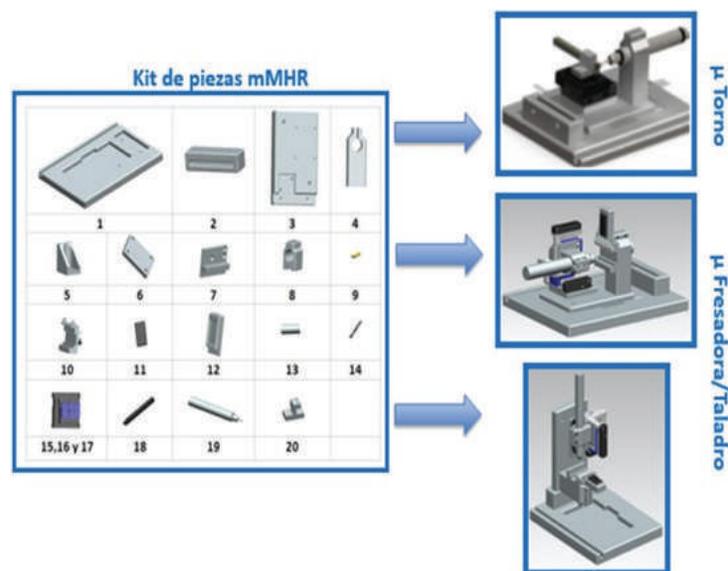


Figura 5. Elementos que integran la micro-máquina herramienta reconfigurable.

Sistemas digitales para control discreto

El control computarizado en un sistema operativo multipropósito (ejemplo: Windows 8) no puede operar en tiempo real pues sus instrucciones se ejecutan de acuerdo con un reloj que administra sus intervalos, de esta manera no es posible hablar de un valor determinístico de tiempo en la ejecución del control sino del intervalo de tiempo en que ocurrió algún evento. Además, pensando en un sistema discreto completo, la adquisición de señales analógicas y su conversión a un formato digital tomará cierta cantidad de tiempo, esto implica que la muestra analógica adquirida en un instante será diferente a la que se encuentra presente como entrada una vez que el controlador ofrezca una salida.

Para implementar un controlador en tiempo real, las FPGAs (Field Programmable Field Array) resultan adecuados pues permiten el cómputo de operaciones aritméticas a altas velocidades y en paralelo, haciendo que se respeten intervalos de tiempo real reducidos [8]. Si bien es posible utilizar microcontroladores, microprocesadores, DSPs (Digital Signal Processor) o ASICs (Application-specific Integrated Circuit), la velocidad de procesamiento, el manejo de entradas/salidas y circuitos periféricos, así como el costo reducido y la capacidad para reprogramarse entre otros, hace que las FPGAs sean una opción completa para cumplir con los propósitos garantizar en tiempo real el control [9].

Control dedicado en plataformas digitales

El control dedicado (digital) se refiere a la integración de un dispositivo con capacidad de procesamiento numérico sobre una planta, cuyas tareas están restringidas de manera exclusiva a la adquisición de datos, cómputo de valores de control y generación de salidas eléctricas hacia los actuadores. Limitar las tareas de un dispositivo y conocer el tiempo preciso que requiere cada una, hace que se cumplan los objetivos de tiempo real necesarios en la aplicación de técnicas de control discreto para tener una respuesta determinística; si el cálculo se realiza en paralelo y con altas tasas de cómputo, entonces el periodo de tiempo mínimo que el controlador puede alcanzarmejoras.

Como se planteó anteriormente, las FPGAs cumplen con las características mencionadas anteriormente, siendo idóneas para su aplicación en un control como el que se presenta en éste artículo, sin embargo, el uso de un controlador dedicado resta versatilidad a la aplicación final que ejecuta un operador. De esta forma, pueden abordarse dos perspectivas para proveer una interfaz competitiva.

- Topología maestro-esclavo
- Uso de sistemas operativos de tiempo real

La topología maestro esclavo es la que involucra un cliente que comúnmente corre un sistema operativo convencional donde se presenta la interfaz de usuario, un controlador dedicado y un canal de comunicación entre ellos. De esta manera, los valores de consigna se escriben desde la interfaz, son transferidos a través del canal de comunicación y el controlador ejecuta el algoritmo de control determinado. Dependiendo de la aplicación, el controlador podría reportar su estado actual o solamente fallos y alarmas (ambas perspectivas difieren evidentemente en la administración del tiempo en el controlador).

Implementación

La propuesta principal demuestra que el desempeño de un controlador digital implementado sobre una plataforma en la capa de aplicación de un sistema operativo convencional y de propósito general (Windows 8), se ve superado ampliamente por una plataforma dedicada en tiempo real y que el aseguramiento de intervalos de tiempo real cada vez más cortos favorece la precisión final del sistema, evaluado con pruebas de maquinado sobre diferentes materiales.

La técnica de control utilizada consiste en un PID paralelo discreto programado para ambas plataformas con la misma aritmética, Para el diseño digital se considera la siguiente ecuación continua del PID:

$$PID(s) = e(s) \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) \quad (4)$$

Cuya transformación discreta se realiza con la transformada bilineal o método de Tustin, para obtener:

$$K_B = \frac{2K_i T_s^2 - 8K_d}{2T_s} \quad (5)$$

$$K_C = \frac{2K_i T_s^2 - 2K_p T_s + 4K_d}{2T_s} \quad (6)$$

$$PID(z) = e(z) \left(\frac{K_A z^2 + K_B z + K_C}{z^2 - 1} \right) \quad (7)$$

Empleando las ecuaciones en recurrencia se tiene:

$$PID(k) = K_A e(k) + K_B e(k-1) + K_C e(k-2) + PID(k-4)$$

Donde k representa la muestra presente en un intervalo de T_s .

La comparación de una plataforma computacional y una plataforma dedicada, es demostrar su desempeño y su propósito para lo que están hechas específicamente, en el cuadro 1 se describen las plataformas de comparación.

Cuadro 1. Características de plataformas en comparación.

Windows 8, NI USB- 6211, 64 bits Plataforma computacional	FPGA cRIO-9074 Plataforma FPGA en tiempo real
<ul style="list-style-type: none"> • Precisión de punto flotante • Realimentación de posición a través de señales de encoder, interpretadas por contadores de 32 bits entradas digitales en la NI USB 6211 • Salida de valores de control a través de salida de voltaje analógica $\pm 10v$ y 12 bits para interpretarse por un circuito electrónico de puente H (L293d) para controlar el sentido de giro del motor. Tiempo de muestreo de 10 ms (mínimo tiempo de muestreo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Precisión simple de 6 cifras significativas • Realimentación de posición a través de señales de encoder, procesadas dentro del mismo programa, control en tiempo real y hasta 400 MHz • Salida de valores de control a través de salida de tensión analógica $\pm 10v$ y 12 bits para interpretarse por un circuito electrónico de puente H (L293d) para controlar el sentido de giro del motor • Tiempo de muestreo de 10 ms, 1 ms y 100 us • Plataforma de despliegue robusta y reconfigurable para aplicaciones embebidas y de control. • Dispositivos de E/S modular para E/S flexible • Control en Tiempo Real para implementar aplicaciones de control de tiempo crítico • Control dedicado

El controlador se implementa de forma individual a cada actuador de la mMHR. Por la limitante de la plataforma computacional y para establecer una comparación se realizaron pruebas con ciclos a 10 ms. Aunque la ejecución como se ha dicho no está sujeta estrictamente a este tiempo, éste es el que se solicita al programa para ejecutar cada ciclo.

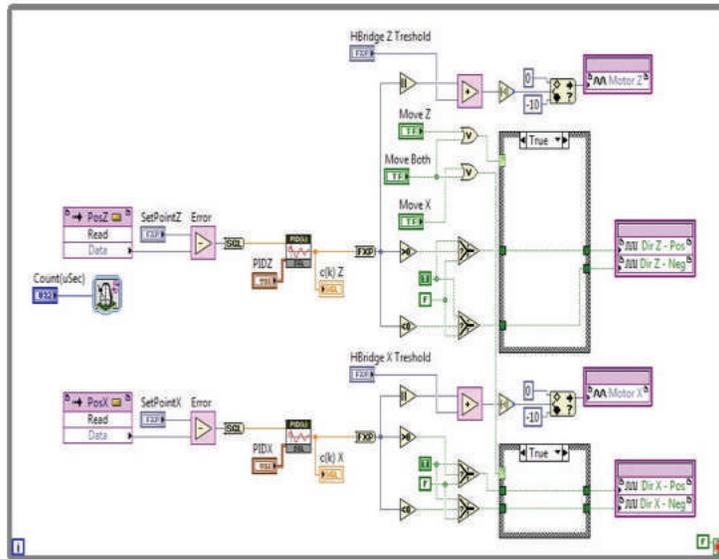


Figura 6. Programa de control en FPGA para la mMHR.

Como de observa en la figura 6, se muestra el programa del control de posición en tiempo real FPGA, que cuenta con las mismas características y parámetros de implementación para la plataforma computacional para evaluar el desempeño de cada plataforma de control.

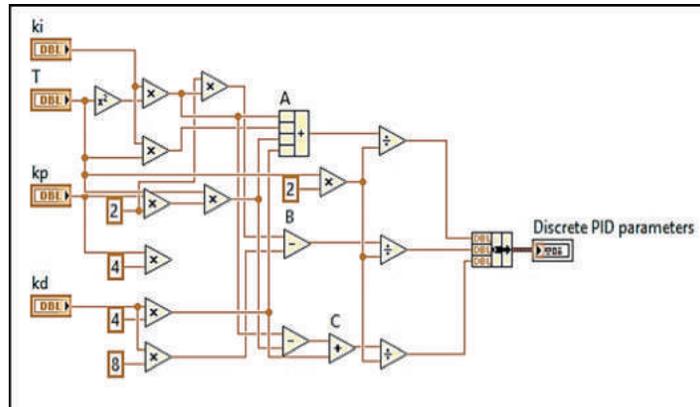


Figura 7. Control PID discreto en FPGA y labVIEW PC.

En la figura 7, se muestra el código del control discreto diseñado, donde se encuentra el control automático de posición de cada eje de movimiento, el control de posición se diseña e implementa de manera independiente a cada eje de movimiento, el entorno ofrece la flexibilidad de modificar los parámetros de control de forma sencilla, con un propósito comparativo dedesempeño.

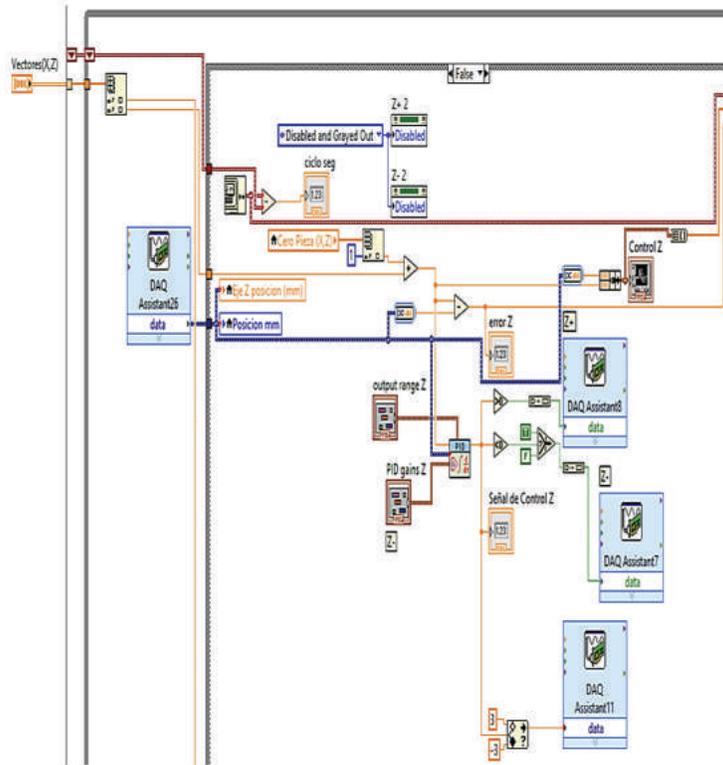


Figura 8. Programa de control en labVIEW en plataforma computacional con DAQ.

En la figura 8, se muestra el programa de control discreto diseñado y que es implementado en plataforma de control computacional con tarjeta de adquisición de datos, bajo las mismas condiciones y parámetros, con el fin de comparar el desempeño del control contra la plataforma de control FPGA en tiempo real y medir los resultados de su respuesta ante un maquinado de una pieza.

En la figura 9 se grafican los resultados que se obtienen al mecanizar una misma pieza prueba, tanto con una plataforma computacional y una plataforma dedicada FPGA los resultados de la pieza medidos con el mismo tiempo de muestreo de 10 ms son más precisos con la implementación de una plataforma dedicada ya que por las características antes mencionadas es un control dedicado en tiempo real, y que en una plataforma computacional donde el mínimo tiempo de muestreo es de 10 ms la precisión que se obtuvo es menos porque es una plataforma con un sistema que no garantiza el tiempo de ejecución de sus procesos, los recursos y capacidades son limitados de forma que la precisión de un mecanizado tiene un límite y además no garantiza la misma precisión en cada ejecución.

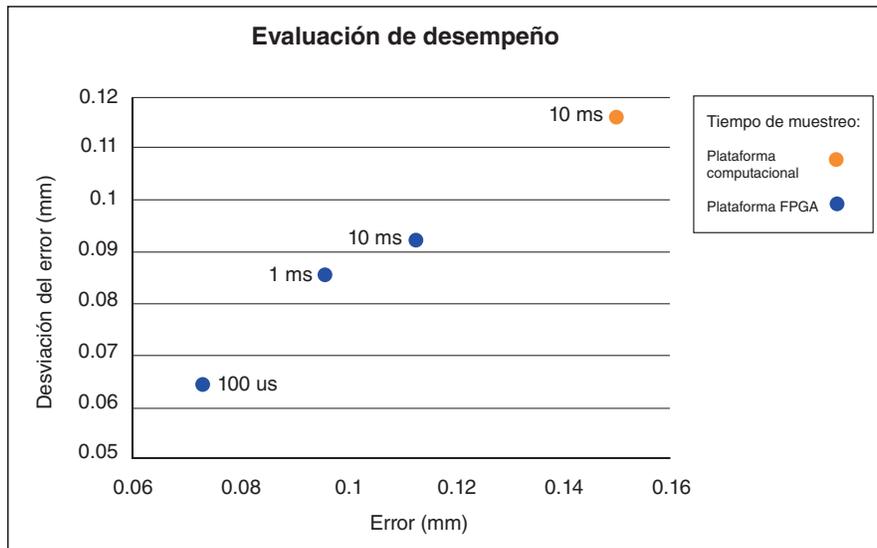


Figura 9. Gráfica de desempeño de control comparativo de plataformas de control.

Por otro lado, se realizaron las mismas pruebas en la plataforma dedicada FPGA con menores tiempos de muestreo y la precisión del mecanizado se vio mejorada. Las pruebas fueron con tiempos de muestreo de 1 ms y 100 us.

En el desarrollo y evolución de las máquinas-herramienta CNC y micro-máquinas herramientas reconfigurables la creciente tendencia y sobre todo para el beneficio de la industria de manufactura el generar el máximo de producción con los mínimos recursos, esto conlleva en implementar controladores que actúen con la mayor precisión y desempeño en un mínimo de tiempo posible.

Los actuadores son el objetivo principal de aplicación para poder considerar en una máquina su rentabilidad y desempeño energético de costos, así como garantizar una vida útil de diseño. El enfoque propuesto de este trabajo de maquinar una pieza de prueba además de determinar su desempeño y precisión en diferentes plataformas de control es maquinar diferentes materiales y determinar cómo se afectan las variables características del motor y graficar su curva para observar en que zona de puntos de operación trabaja el motor.

Conclusiones

El control de posición propuesto muestra la ventaja de operar una zona de operación de mayor eficiencia del motor de DC. No solo se obtienen una respuesta de control aceptable de acuerdo con el diseño del controlador, sino que también se logra obtener una operación durante el maquinado de mayor eficiencia. Los sistemas en tiempo real

en FPGA (en este caso MyRio) permiten lograr un maquinado más eficiente y contar con una respuesta con un error de seguimiento menor. La propuesta de incluir en el interpolador las condiciones de zona de operación que limitan los incrementos de los pasos permiten poder garantizar eficiencia de maquinado mayores, así como precisiones en el mismo adecuadas, en el empleo de micro maquinas con máquinas deDC.

Referencias

- [1] Jang, S., Jung, Y., Hwang, H., y Y. J. Park Choi. Development of a Reconfigurable Micro Machine Tool for Microfactory, Smart Manufacturing Application, ICSMA, pp.190-195. Korea,2008.
- [2] Aoyama, H., Fuchiwaki, O., Misaki, D., y Usuda, T. Desktop Micro Machining System by Multiple Micro Robots, IEEE. Japón, 2006.
- [3] Suh, M., Kang, S.K., Chung, D.H., Stroud, I.: Theory and Design of CNC Systems. Springer Series in Advanced Manufacturing. Springer, London, UK(2008).
- [4] Koren-Yoram, Lo. C. C. Advanced Controller for Feed Drives, CIRP Annals-Manufacturing Technology, Elsevier, 41(2), 689-698, 1992.
- [5] Luggen-W. Fundamentals of Numerical Control, N.Y: Editorial Delmar Publishers, 1988-287, ISBN 10:0827331398,1988.
- [6] Alfonso de Lara R. Diseño e implementación en FPGA del control numérico computarizado para fresadora de tres ejes: control manual e interpretación de coordenadas en dos dimensiones, Universidad Rey Juan Carlos. España,2011.
- [7] Hernandez-L.W. Estudio experimental del desgaste del flanco y de las fuerzas de corte en el torneado en seco de alta velocidad del acero AISI 1045, tesis (doctoral), Universidad deHolguin.
- [8] Yaodong Tao; Hu Lin; Yi Hu; Xiaohui Zhang; Zhicheng Wang, "Efficient implementation of CNC Position Controller using FPGA," Industrial Informatics, 2008. INDIN 2008. 6th IEEE International Conference on , vol., no., pp.1177,1182,2008
- [9] Alfonso de Lara R. Diseño e implementación en FPGA del control numérico computarizado para fresadora de tres ejes: control manual e interpretación de coordenadas en dos dimensiones, Universidad Rey Juan Carlos. España,2011.

Comparative Clouds

Kyle Flaherty, Rebecca Hack, Alina Pacheco¹

Flaherty, K; Hack, R; Pacheco, A. Comparative Clouds. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 155-165.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5490>



¹ Department of Computer Science. Wake Forest University. [flahkj15, hackrm12, pacha17]@wfu.edu



Abstract

With the cloud industry still in its infancy, it is imperative to complete a thorough analysis of the major competitors in this market. The research covered in this paper provides a comparative analysis of the main competitors in the cloud industry: Amazon Web Services, Google Cloud, and Microsoft Azure. The focus of this analysis will be structured around usability, performance and cost. While the other competitors have their niche markets, the best overall cloud provider was Amazon WebServices.

Introduction

From the inception of the cloud computing industry multiple companies have come forth to supply the growing demand. The earliest suppliers, such as Amazon Web Services (AWS), were able to take advantage of the industry while there were few competitors. This made it difficult for later providers such as Google Cloud (GC) and Microsoft Azure as they attempted to provide offerings that could compete against the set industry standard. With the growing number of companies that are entering this industry, for companies and individuals that use the cloud it is important that they evaluate the current industry offerings. By doing so, they can determine which cloud services will best match their needs.

The purpose of this paper is to evaluate the three most popular clouds, AWS, GC, and Azure, against three metrics to determine which is the best overall cloud service provider in the cloud computing industry. For the scope of this paper, the Infrastructure as a Service (IaaS) segment of the cloud computing industry will be the focus. The first metric evaluated is usability which will cover the provider's available cloud services, its number of data centers, and customer reviews on their strengths and weaknesses. The second metric is performance which will include an analysis of both hardware and software offerings that are available by the different IaaS providers. The last metric is a cost analysis which will evaluate the costs for various services available through the IaaS providers.

In the section to follow, we will provide a brief analysis of the current Cloud IaaS market. The three sections after that will cover the usability, performance, and then cost analysis for the three cloud providers we are analyzing. Finally, we will determine the best overall cloud provider based on the analysis from the previous sections.

Market Research

The recent emergence of the cloud industry has had a dramatic impact on the strategies of many businesses as they switch from using data centers to storing and managing their information on the cloud. In 2017, the market value of the cloud computing industry was listed at over \$18.5 billion after growing by 37.5% from 2016 and similar growth is expected in the years to come [1]. This industry is split into three segments: Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS), and Software as a Service (SaaS). This paper focuses on IaaS which accounts for 24.3% of the market value which equates to \$4 billion [2]. While there are numerous cloud providers in this industry, the market is mostly dominated by AWS (41.5% market share) and Azure (29.4% market share) [2]. Each of the other competitors, including GC, hold 3% of the market or less, but all these small competitors combined account for 29.2% of the market which is a sizable chunk. The breakdown of IaaS market share can be seen in figure 1.

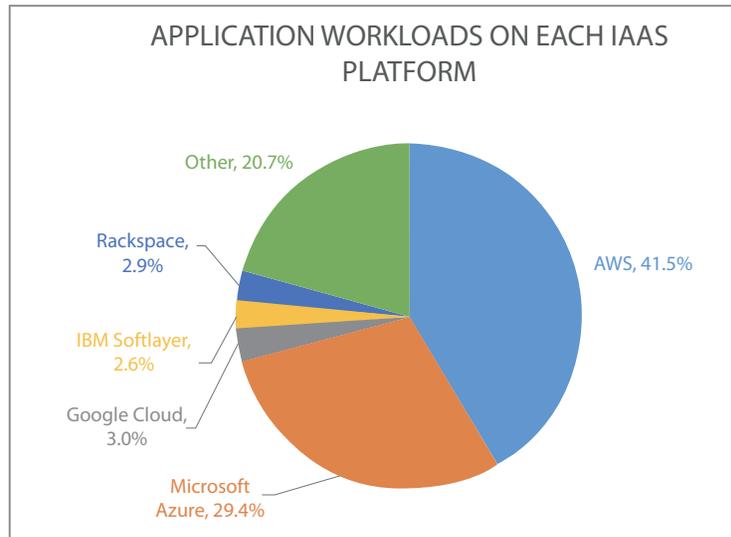


Figura 1. Cloud IaaS Market Share [2].

In 2017, a majority of application workloads executed were still being processed in data centers, but it is projected that companies will begin to shift these workloads over to the public cloud in the next one to two years. There are a number of reasons that prevent companies from adopting Cloud IaaS including concerns over storing sensitive data, having their account compromised by a third party user and potential misuser by end users. While these are valid concerns, 62.9% of IT professionals consider the cloud equally secure to their own data centers or even more secure in some cases leading to a more positive perspective of using cloud in the future [2]. As a result, it is important to evaluate the current cloud industry offerings in order to decide the strengths and weaknesses of each option before a company or individual jumps into the cloud industry for the first time.

Usability

In the sections to follow, analysis will be done of the three primary cloud providers regarding their current industry offerings, number of cloud-specific data centers and the best and worst aspects of their services as specified by customer reviews.

Amazon Web Services

AWS has been the dominant cloud provider since the industry first came into being. Its early launch was a large contributing factor, but its sustained market dominance results from its variety of service offerings and flexibility. AWS is split into the following three broad categories: Core Cloud Services, Rich Platform Services and Developer Productivity and Operational Efficiency. Each category has at least four sub-categories and the most central of the categories is the Core Cloud Services as it contains AWS's compute, storage, and networking offerings. These services are available globally thanks to AWS's nineteen data centers placed at different regions of the world (figure 2) along with the four additional data centers to be built in the near future [3].

Based off recent customer reviews [4], the most beneficial aspect of AWS is its large variety of available services and the flexibility users have in leveraging them. With the large number of customers AWS services, it is vital that their product meets the different needs of their clientele in an effective manner. On the other hand, AWS's major flaw is its' lack of adequate customer

support. While there is documentation for its various services, it can be difficult to find the topic most relevant for an issue a user is dealing with. Overall, customer reviews are quite positive when discussing AWS and on *Trust Radius*, reviewers gave it a 8.8/10 score on their likelihood to recommend [4].

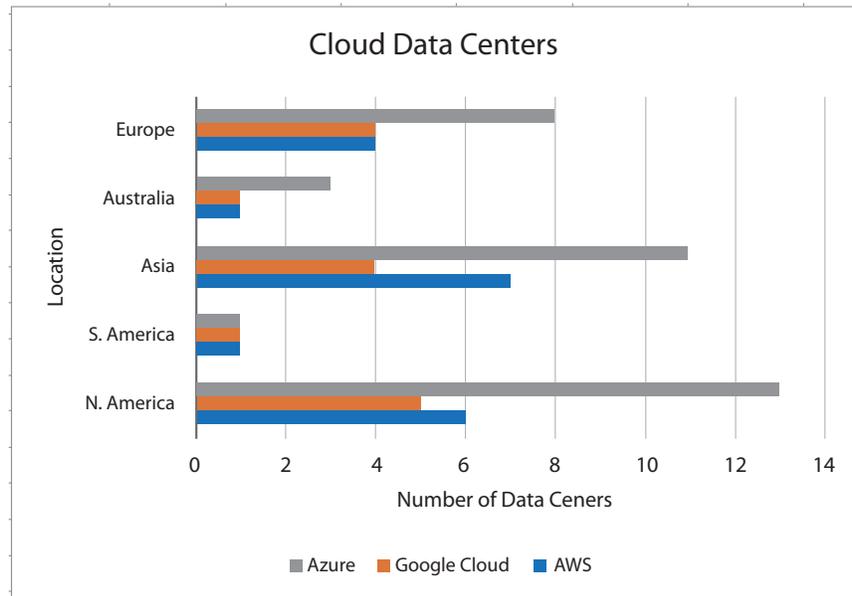


Figura. 2. Count of Cloud Data Centers in different Continents.

GoogleCloud

GC has four main categories for their available services including Computing, Storage, Networking and Management. They have fifteen data centers spread over the world for their clients.(figure 2) Even though they have fewer centers in comparison to AWS, the implementation time for their available on-demand resources is extremely fast. Over the next few years, GC has plans to build an additional four data centers. Moreover, GC boasts a user interface that is simple to use and intuitive in navigating around [5].

From customer reviews [6], the best aspect of GC is its efficiency and ease of use for development and deployment. With its appealing and simple user interface, developers generally enjoyed the environment. GC's ability to scale up an application provides a very appealing offering to developers. GC's main fault is its lack of training services for its available features. While the UI is easy to understand, how to utilize and leverage GC's offerings is not always straightforward. This makes it difficult to use all that GC has to offer since the training documentation and videos available are not adequate. Overall, customer reviews are pretty positive when discussing GC and on *Trust Radius*, reviewers gave it a 8.8/10 score on their likelihood to recommend [6].

Microsoft Azure

Azure's services are grouped under twelve different categories some of which include compute, data and storage, analytics, networking, management, and Internet of Things. In comparison to AWS and GC, Azure has the largest number of data centers with thirty-six spread all around the world (figure 2). This provides its clients with the ability to easily scale their business solutions

to all parts of the globe while handling a diverse set of workloads. Azure has plans to build an additional eight data centers in the near future to further expand their reach [7].

By far, the best aspect of Azure that is mentioned in customer reviews [8] is its ability to provide on- demand infrastructure scalability on a global scale. This is particularly important for larger corporations that have an invested interest in several places around the world. An additional benefit for these large corporations is Azure’s easy integration with other Microsoft Office Suite products. By contrast, Azure’s weakness is evident through its outdated UI and limited customization options with its available resources and templates. While those familiar with Microsoft products usually feel comfortable with the UI, most other customers have mentioned the need to update the UI to more modern standards. Finally, the flexibility of using Azure’s available resources is limited since there are minimal opportunities to customize them to match the needs of different clients. Overall, customer reviews are fairly positive when discussing Azure and on *Trust Radius*, reviewers gave it a 8.1/10 score on their likelihood to recommend [8].

Performance

The purpose of this metric is to analyze how reliable the hardware and software used by the cloud provider is to gauge its performance in a real-life scenario. In order to conduct the tests, Phoronix Test Suite version 7.8 was used. Phoronix Test Suite is an open source fully automated platform that allows testing and benchmarking. Table I contains the instance configuration for each one of the cloud providers analyzed.

Table I. Instance configuration

AWS	Azure	GC
Intel Xeon E5-2676 v3 @ 2.40GHz Cores: 1 RAM: 1 GB OS: Ubuntu 16.04	Intel Xeon E5-2673 v3 @ 2.39GHz Cores: 1 RAM: 1 GB OS: Ubuntu 16.04	Intel Xeon E5-2699 v3 @ 2.30GHz Cores: 1 RAM: 1.6 GB OS: Ubuntu 16.04

A. RAM Speed

Ram is an important metric because much of the overall performance of a computer is dependent upon the RAM. When a business is selecting a cloud provider the first thing in their mind is likely going to be speed which depends on RAM. While measuring RAM can not wholly indicate how fast a VM will run, it is a good indication. Below is a graph comparing the RAM speed of AWS, GC, and Azure.

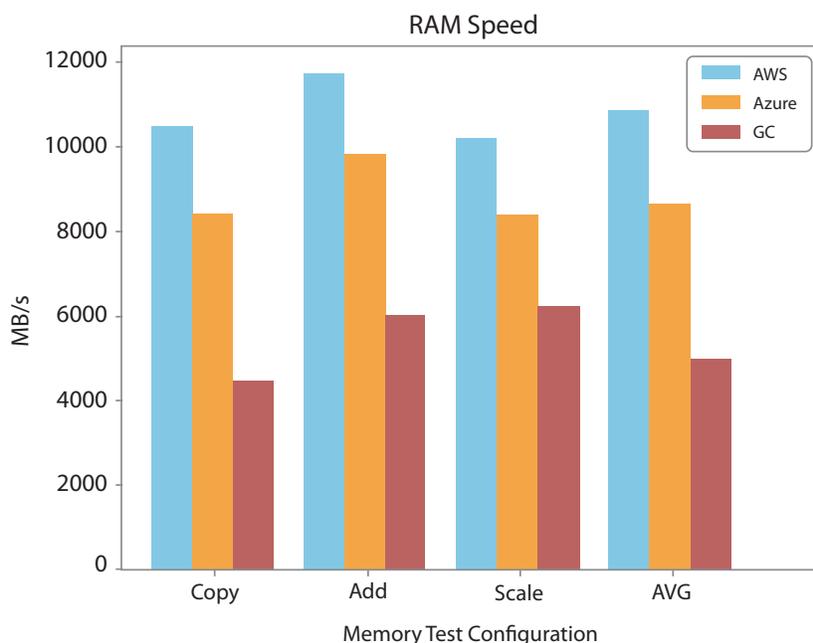


Figura 3. RAM Speed - Floating Point

As shown in figure 3 the performance of AWS is twice as better than GC. This is mainly because the hardware used by GC is not as modern as the one used by AWS (see Table I).

B. Disk Performance

The main purpose of this test is to stress the filesystem. Dbench simulates the I/O of a real server and measures the maximum workload that can be handled before the server starts lagging. This test creates, writes, reads, and deletes files of different sizes. The output of this test is the average throughput of the file system operations measured in MB/s. The following graph shows the results for Dbench test.

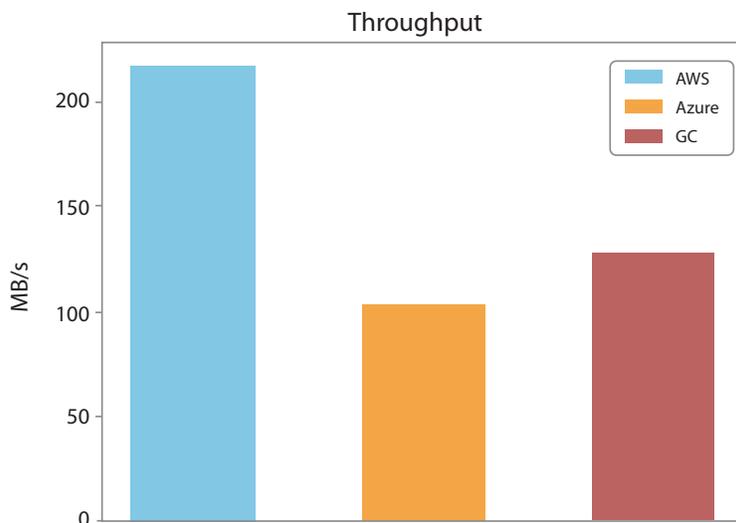


Figura 4. Disk Performance

As can be seen, GC has a better performance than Azure. The difference between both is 20 MB/s. However, with a difference of at least 110 MB/s AWS has a significant advantage over Azure and GC again.

C. Apache

The Apache test measures how many requests a server can respond when having 1,000,000 requests and 100 of them are concurrent. The test result can be seen in figure 5.

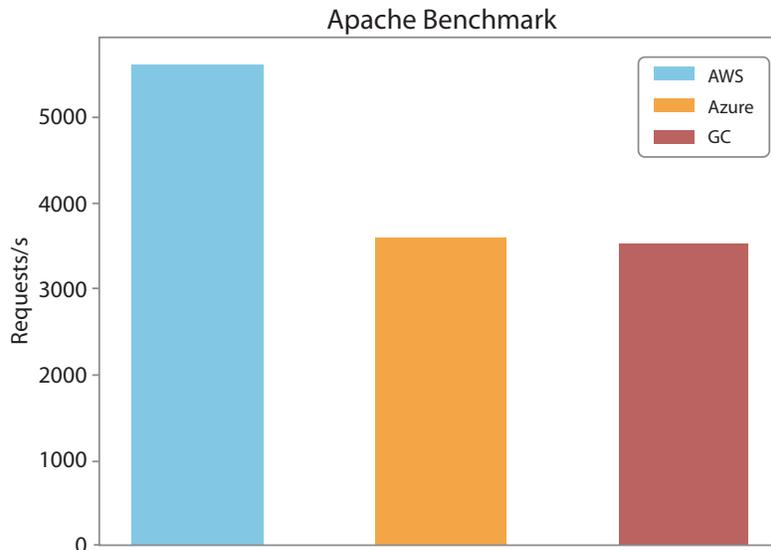


Figura 5. Apache Results

The results showed that AWS can handle an average of 5600 requests per second, while Azure and GC can handle at most 3600 requests per second. This result is valuable for the cloud users if they intend to host a web server or website using one of these providers.

Cost

We were interested in the cost metrics of the various cloud computing providers so that we could compare the cost against the usability and performance of the available cloud services. As this project focused on IaaS, we narrowed the cost analysis down to virtual machine, database, and storage rentals. Below are the charts displaying our findings.

A. Virtual Machine Rental

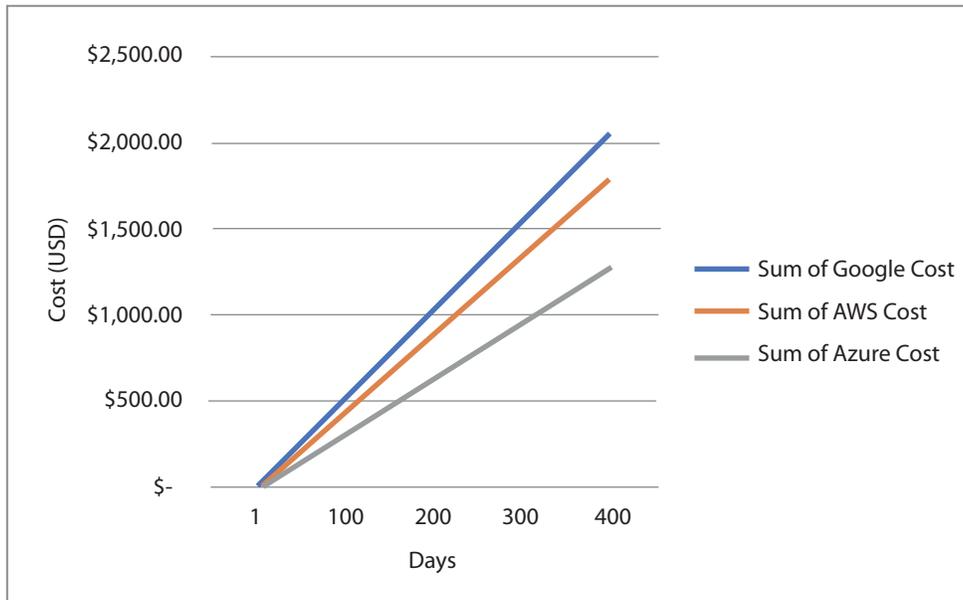


Figura 6. ~ 15G RAM Virtual Machines

In figure 6 we examined the total cost of running a UNIX instance with 15G Ram over a one year span. We chose this benchmark since this offering would commonly be used by medium to large companies and research facilities. As time goes on Azure continues to separate itself from the competition. The graph then demonstrates Azure's clear favoritism towards larger corporations as alluded to earlier in the usability portion.

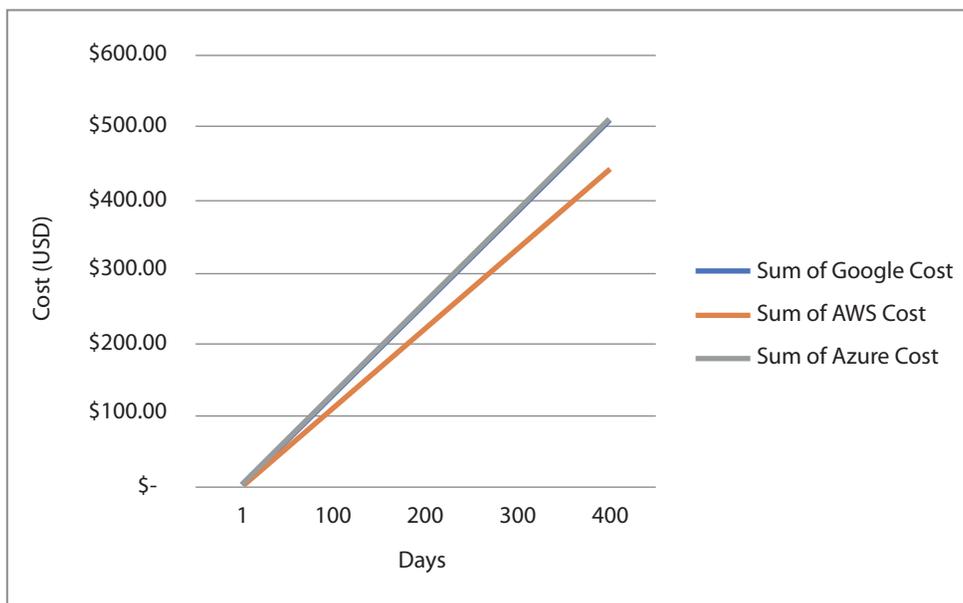


Figura 7. ~ 4G RAM Virtual Machines

As shown in figure 7 we examined what the cost of running a UNIX instance with 4G RAM over a year span. We chose this benchmark (4G) to serve as a contrast to the 15G chart pictured in figure 6. The reason being is that while a 15G machine would serve large enterprises a 4G machine would serve smaller business to the everyday user. AWS is far in front of the other VMs in this category as it not only provides better hardware, it is also offered at a lower cost. One consideration, however, is that for the smaller user Google offers much more free credit to play around with than the other two options.

B. Storage Rental

The cost of storage in various cloud providers is a very important metric to consider as many other services often depend upon data stored in these services

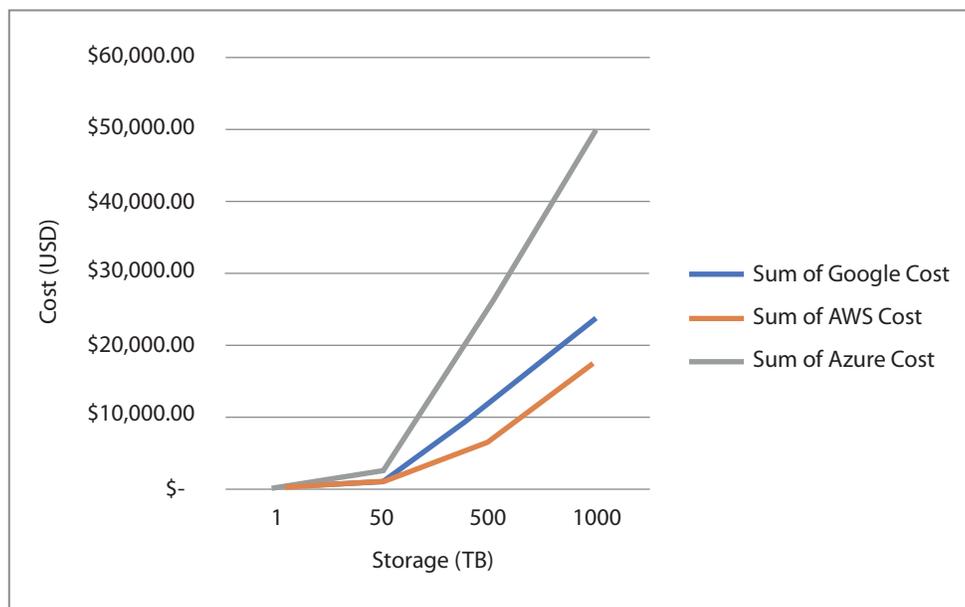


Figura 8. Storage

In the case of figure 8 above we examined the cost of storing 1TB-1000TB of data in each of the respective cloud providers. The scale of the x-axis is not constant because both AWS and Azure have varying levels of cost per GB depending on how much data is stored (1-50, 50-500, 500-), while Google's cost is constant. The graph shows us that while all providers are close in cost for small projects, as you scale up AWS becomes continuously cheaper.

C. Relational Database Rental

This metric too is very important when considering the best overall cloud provider because many other services depend upon information stored in these databases. For the below figures the cost is calculated using a Microsoft SQL Server because of its' popularity.

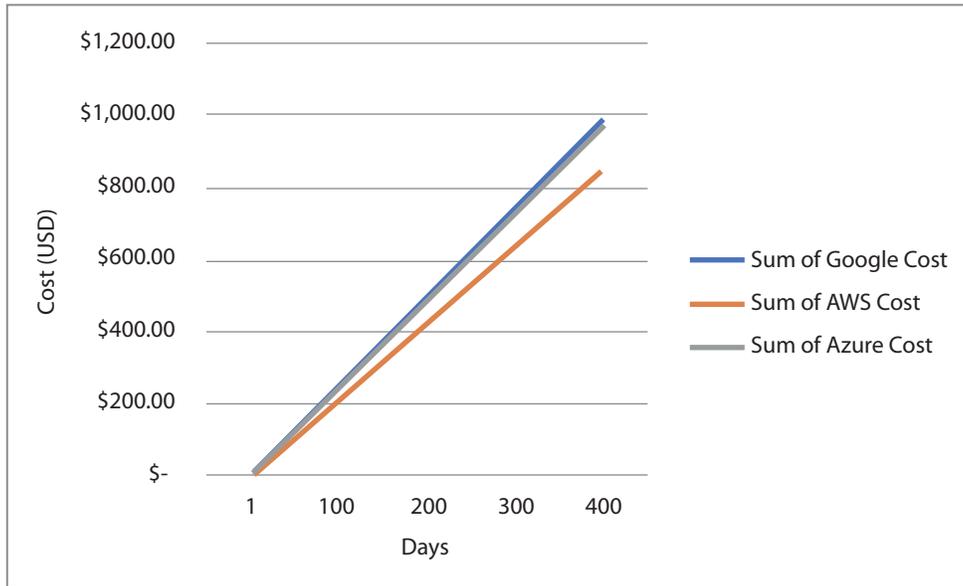


Figura 9. Medium Database

In figure 9 we compared the cost of renting a medium sized database (exact metrics differ slightly between cloud providers) on AWS, GC, and Azure. Just like the 15G Ram instances, medium to large companies are the target audience of this size database. Google Cloud and Azure’s cost difference becomes negligible as time goes on, but AWS continues to be the cheapest option.

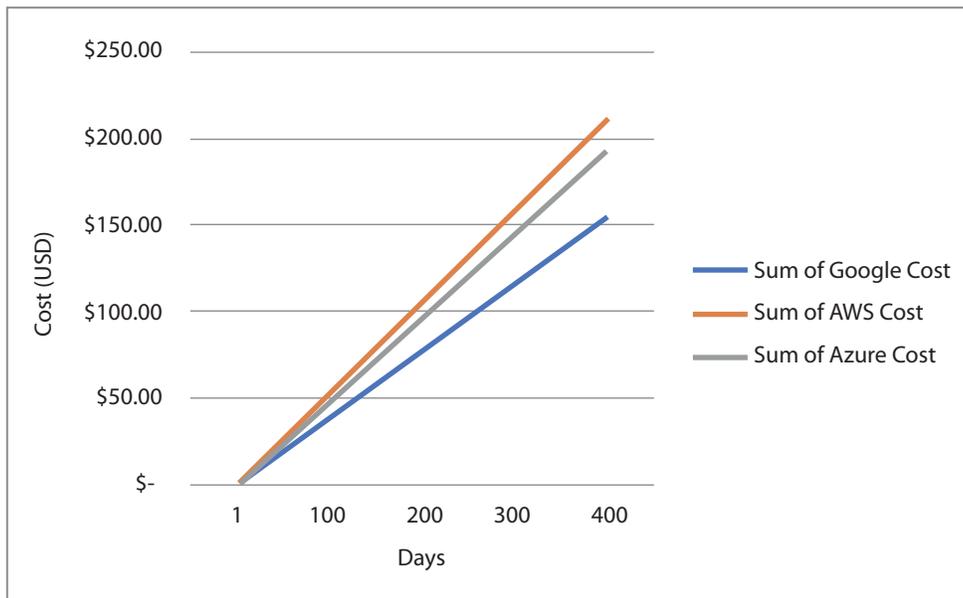


Figura 10. Micro Database

Figure 10 shows the cost comparison of renting a micro sized database (exact metrics differ slightly between cloud providers) on AWS, GC, and Azure. This sized database is geared towards those doing a personal project, or a small sized company. Here we see a change in best option from the larger database as GC emerges as a cheap alternative to AWS or Azure.

Conclusions & Future Work

Each of the cloud providers have their strengths and weaknesses as presented in this paper. While this is not a comprehensive analysis of each of the providers, by selecting the three most prominent characteristics, usability, performance, and cost, we were able to get a deep understanding of each of the studied providers.

After evaluating the results of this research, AWS became the clear winner for the best overall cloud provider. With AWS's wide array of features, impressive hardware, and reasonable pricing, it is the best overall option for businesses and individuals seeking to leverage the power of cloud computing. While GC and Azure are not able to meet this same level of excellence, GC is still a decent cloud offering specifically for small groups and individuals and Azure is a good option for large corporations and businesses. The above conclusion is supported by the fact that AWS has not only the largest, but a growing market share.

To expand upon this work, it would be beneficial to add other cloud providers, notably IBM SmartCloud and Rackspace. Adding more providers would create a more holistic view of the cloud market since the ones covered in this paper only account for approximately seventy percent of the IaaS market. Additionally, by including analysis of the PaaS and SaaS markets, a better understanding of the cloud computing industry as a whole can be obtained. The analysis of these other markets is important since many customers often use more than just IaaS with their cloud providers. Lastly, our performance tests only addressed a small part of the overall performance of the cloud services offered. Additional tests may include: boot-times, CPU speeds, and penetration testing.

Acknowledgment

Thank you to Dr. Sai Mukkavilli for the resources required to do this project.

References

- [1] "Global Cloud Computing", MarketLine. London, UK. December 2017.
- [2] C. Coles, "AWS vs Azure vs Google Cloud Market Share 2017", *Skyhigh*. 2017
- [3] S. Vaughan-Nichols, "Amazon Web Services", *PC Mag*. November 2016.
- [4] "Amazon Web Services Reviews", *TrustRadius*.
- [5] S. Vaughan-Nichols, "Google Cloud Platform", *PC Mag*. December 2015.
- [16] "Google Compute Engine Reviews", *TrustRadius*.
- [7] S. Vaughan-Nichols, "Microsoft Azure", *PC Mag*. July 2017.
- [8] "Microsoft Azure Reviews", *TrustRadius*.
- [9] Qi Zhang, Lu Cheng, Raouf Boutaba. Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. The Brazilian Computer Society, 2010.
- [10] Brian Hayes. 'Cloud computing'. In: Commun. ACM 51.7 (2008), pp. 911. ISSN: 0001-0782. url: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1364782.1364786>.
- [11] Keqiang He, Alexis Fisher, Liang Wang, Aaron Gember, Aditya Akella, Thomas Ristenpart. Next Stop, the Cloud: Understanding Modern Web Service Deployment in EC2 and Azure. ISBN: 978-1-4799-6191-7. IEEE, 2014.
- [12] Rabi Prasad Padhy, Manas Ranjan Patra, Suresh Chandra Satapathy. Cloud Computing: Security Issues and Research Challenges. ISSN: 2249-9555. IRACST, Dec 2011.
- [13] Phoronix Test Suite. Available: <https://www.phoronix-test-suite.com>

Reconocimiento gestual con Kinect para detectar comportamientos inseguros en conductores

Gesture recognition using Kinect to detect unsafe behaviors performed by drivers

Diana Esquivel-González¹

Esquivel-González, D. Reconocimiento gestual con Kinect para detectar comportamientos inseguros en conductores. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 166-175.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5491>



¹ Ingeniera Mecatrónica. Desarrollado en: Laboratório de Robótica Móvel, ICMC, Universidade de São Paulo, Brasil. Área Académica Mecatrónica, Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: dianaesquivel100@hotmail.com

Palabras clave

Kinect; "Point Cloud"; Sensor de profundidad; Substracción de fondo; Reconocimiento gestual; Procesamiento de imágenes.

Resumen

Los comportamientos inseguros por parte del conductor de un vehículo, como el uso de un dispositivo celular durante la conducción, son unas de las principales causas de accidentes de tránsito alrededor del mundo. Esta práctica es difícil de regular y controlar, mas con el uso de un sistema automatizado de detección de gestos que indique un comportamiento peligroso, es posible. El uso de cámaras con sensores de profundidad en 3D permite analizar objetos y personas en tiempo real con una alta precisión, identificando rasgos y figuras. Estos sensores utilizan una tecnología denominada "point cloud", la cual emite un arreglo de luz láser y mide el tiempo de regreso hacia el sensor, determinando la profundidad de cada uno de los puntos. Esta tecnología permitió realizar una aplicación de reconocimiento de gestos que es capaz de detectar de manera automática la acción que indica que el conductor está utilizando un dispositivo celular durante el tiempo de conducción. Utilizando algoritmos de substracción de fondo, análisis de rasgos y análisis de histogramas se consiguió realizar inicialmente una simulación funcional en el programa V-Rep que es capaz de detectar el gesto que indica este comportamiento. Posteriormente, se implementó un prototipo utilizando imágenes reales tomadas con un Kinect que fueron procesadas en el programa Octave con los mismos algoritmos utilizados en la simulación, para así probar la efectividad de la aplicación desarrollada.

Keywords

Kinect; "Point Cloud"; Depth sensor; Background Subtraction; Gesture Recognition; Image Processing.

Abstract

Vehicle drivers' unsafe behaviors, like using a cellular phone while driving, is one of the leading causes of traffic accidents worldwide. This unsafe practice is hard to regulate and control. However, it is possible with the use of an automated gesture detection system that indicates a dangerous behavior. The use of cameras with 3D depth sensors can aid in analyzing objects and people in real time with high precision, identifying features and figures. These sensors use a technology referred to as "point cloud", which emits an array of laser lights and measures the time of return (fly time) back to the sensor, determining the depth of each one of these points. This technology permitted the development of a gesture recognition application that is capable of automatically detecting the action that indicates that a driver is using a cellular phone while driving. An initial functional simulation was developed using background subtraction, feature analysis, and histogram analysis algorithms using the program V-Rep, which can detect the gesture that would indicate this behavior. Furthermore, a prototype was implemented using real images taken with the Kinect that were processed using Octave using the same algorithms used for the simulation, thus supporting the effectiveness of the application.

Introducción

La conducción inapropiada e insegura de automóviles genera millones de accidentes al año en todo el mundo. Según la Organización Mundial de la Salud, alrededor de 1.3 millones de personas mueren cada año en accidentes de tránsito (Organización Mundial de la Salud, 2009).

Gran parte de los accidentes que suceden, ya sea en la industria o en las carreteras, se deben a error humano. Este factor puede eliminarse con la automatización, ya que las máquinas y las computadoras no cometen errores y no sufren de características humanas como el cansancio y la distracción.

Un problema común que ha sido regulado por la ley pero que sigue siendo un problema es la de utilizar dispositivos móviles, como el celular, mientras se está conduciendo. Este acto es peligroso debido a que desvía la atención del conductor y evita que esté alerta a las situaciones de riesgo que suceden a su alrededor. A pesar de ser un acto penalizado por ley, es difícil poder detectar cuando se da una infracción y aún más difícil poder probar que efectivamente se estaba haciendo uso del dispositivo en el momento en que la persona iba conduciendo.

A pesar de que se han desarrollado aplicaciones automatizadas para detectar acciones inseguras y para prevenir accidentes de tránsito, aún no se cuenta con una solución comercial y confiable para detección del acto de hablar por celular mientras se conduce. Muchos de los proyectos que se han trabajado en este tema lo ven como un problema secundario al que abordan de manera superficial, por lo que no se ha logrado encontrar una solución viable al problema que se plantea.

En el presente artículo se expone la elaboración de una solución para dicha aplicación, que logra detectar de manera automatizada el uso del celular. Utilizando algoritmos para sustracción de fondo, análisis de rasgos de la figura humana y análisis de histogramas, se desarrolló una simulación en V-Rep y posteriormente una implementación de manera de prototipo utilizando las imágenes obtenidas con el sensor Kinect y analizadas en Octave.

Consideraciones para reconocimiento de gestos

Hay diversos pasos que se deben seguir para realizar un adecuado reconocimiento de gestos. El primero es tener un modelo de gestos, para el cual se debe estudiar las características del gesto que se quiere reconocer. Una vez que se tiene el modelo, se debe realizar un análisis para definir los parámetros que se tomarán en cuenta. Cuando se tienen los parámetros bien definidos, se procede a la etapa de reconocimiento, en donde se reconocen los distintos gestos que fueron predefinidos. Finalmente, se utilizan los gestos reconocidos para alguna aplicación o sistema. Para este último paso se le da un uso concreto al reconocimiento de gestos, con el cual se llevará a cabo una acción que está ligada a la información analizada. (Premaratne, 2014).

La complejidad en reconocimiento gestual se debe a la amplia variedad de gestos que pueden existir, y al hecho de que un mismo gesto no producirá la misma serie de imágenes en dos ocasiones distintas. Es por ello que se debe trabajar con modelos de gestos que puedan definir claramente lo que un gesto específico significa en términos de posiciones y movimientos de las manos y de expresiones faciales. Para simplificar la tarea de discernir entre una infinidad de gestos, se trabajó de manera simplificada haciendo detección de la mano y la cabeza, discerniendo entre ellas para detectar los movimientos que se producen.

Elaboración del programa

Se realizó inicialmente una simulación en V-Rep que hace uso de los sensores que se utilizarían para la aplicación real, permitiendo la visualización del comportamiento y la recolección de información del Kinect. Para cada elemento utilizado en el ambiente de simulación (sensores y actuadores) se puede modificar el "script" para así determinar los parámetros de funcionamiento y las condiciones de uso. También se puede simular una persona y regular su movimiento por medio del código que lo define. Otros elementos en la escena (mesa para posicionar el

Kinect, silla para simular el asiento del vehículo, elementos de fondo) se utilizaron para hacer la simulación más cercana a una situación real de uso, y para probar la eficacia del algoritmo de sustracción de fondo.

Se realizaron varias funciones utilizando el sensor Kinect, incluyendo la toma de imagen de fondo, la creación de la máscara que identifica a la figura humana (sustracción de fondo), la identificación de la zona de interés (zona de la cabeza) y la identificación del gesto de hablar por celular. La sustracción del fondo, como su nombre lo indica, se encarga de eliminar ciertos elementos para obtener solamente los puntos de interés, restando la imagen actual de una imagen tomada anteriormente que representa el fondo. El resultado de la aplicación de este algoritmo da como resultado una máscara binaria que indica los objetos que se quieren analizar, en este caso la figura de la persona. El archivo resultante que se crea al presionar el botón *Fondo* en el programa es un documento de texto con datos numéricos con 4 posiciones decimales que van del 0 al 1 (0 siendo el elemento más cercano a la cámara y 1 el elemento más lejano). Este archivo tendrá 64 columnas y 48 filas, correspondiendo a la cantidad de píxeles que se tienen por la resolución que se le estableció al Kinect. Es importante actualizar periódicamente la imagen del fondo, para así incluir otros elementos que pudieron entrar en el marco de visión y que realmente no son de interés. (Vacavant, Chateu, Wilhelm, & Lequièvre, 2013)

Para evitar detecciones falsas debido a movimientos leves de la cámara o a cambios en la iluminación, se utilizó un valor umbral al hacer la sustracción de fondo. Para la simulación este valor no es necesario ya que no hay dichas variaciones pero para el prototipo debió determinarse el valor umbral de manera experimental. Además se realizó pre-procesamiento de la imagen, que incluye conversión a escala de grises, suavizado de la imagen y filtros, para eliminar ruido que se pueda generar y facilitar la aplicación de los algoritmos. La sustracción de fondo se realiza de manera continua en un ciclo infinito mientras se esté corriendo el programa, con el fin de poder trabajar con la posición actual de la persona y poder hacer una detección apropiada.

La zona de interés con la que se trabajó es el área que va desde el cuello de la persona hasta la punta de la cabeza, ya que al identificar un objeto que se acerca a esta zona durante el tiempo en que la persona está conduciendo, indicaría la presencia de un celular. Antes de poder identificar que existe un objeto en cercanía a la cabeza, se debe determinar el punto en donde comienza y termina ésta, ya que varía con cada persona y con la posición del asiento que establezca la persona al conducir. La identificación de la zona de interés deberá hacerse una única vez y asegurando que la persona se encuentre en posición neutral (con los brazos abajo) para evitar mediciones erróneas. Para tomar estos datos, se estableció de nuevo un botón que almacena la información actual del sensor y a partir de ella realiza las mediciones para encontrar los dos puntos de interés.

Para detectar la forma de la cabeza, se calculó el punto máximo de ésta utilizando la coordenada Y máxima que además pertenezca a la máscara de valores de puntos de interés (punto máximo de la figura de la persona), utilizando la siguiente fórmula:

$$Coord Y = \tan(\text{Ángulo } Y) * Coord Z$$

En donde *Coord Z* es el valor de profundidad medido con el Kinect y *Ángulo Y* es un porcentaje del ángulo de medición del Kinect (en radianes) que se calcula con la siguiente fórmula que utiliza la resolución establecida del Kinect (en ambos ejes):

$$\text{ÁnguloY} = \frac{j - \frac{\text{ResY}}{2} + 0.5}{\frac{\text{ResY}}{2}} * \text{ÁnguloMedioY}$$

El siguiente paso fue encontrar el punto en donde inicia el cuello. Para ello hay dos métodos que se utilizaron. El primero de ellos consiste en realizar un histograma con la cantidad de píxeles que pertenecen a cada fila horizontal de la máscara. Se sabe que una persona en posición neutral tendrá un ancho casi uniforme a lo largo de su cuerpo hasta llegar al cuello, en donde se verá reducido significativamente el ancho medido (cantidad de píxeles). Para poder leer la cantidad de píxeles por fila, se recorrió cada fila y se incrementó un contador cada vez que se reconoce un píxel que no pertenece al fondo. Al finalizar el recorrido de todas las filas, se obtuvo un vector con todos los valores correspondientes al conteo de cada fila. Comparando la proporción entre el ancho máximo del cuerpo y el ancho de la fila medida se consiguió identificar la posición del cuello.

Otro método que se puede utilizar para identificar el cuello es comparar los valores de profundidad, ya que hay un cambio significativo entre la profundidad medida en la cara y la que se puede medir en el cuello. Esto permite identificar la forma de la cabeza de la persona. Ya que el punto máximo de la cabeza tiene una profundidad mayor que cualquier punto de la cara pero menor que cualquier punto del cuello, se utilizó este valor para detectar el punto de inicio del

cuello, que tendría una relación $\frac{\text{Profundidad medida}}{\text{Profundidad del punto máximo de la cabeza}} > 1$. Con una resolución mayor al utilizar un sensor Kinect en una aplicación real, esta ecuación es aún más exacta.

Para detectar la presencia del dispositivo móvil, se analizó el área alrededor de la cabeza para detectar objetos cercanos a ella. Para esta aplicación, cualquier objeto de tamaño significativo que se acerque a la oreja por un tiempo prolongado (5 segundos) es interpretado como un dispositivo móvil. Para la detección, se utilizó el mismo método de análisis de histogramas para detectar un aumento significativo en la cantidad de píxeles medidos por el sensor en las zonas laterales.

Una vez realizada la simulación, se utilizó un sensor Kinect real para obtener datos que permitieran determinar si la aplicación desarrollada realmente es efectiva. Se utilizó un ambiente similar al de la simulación, en donde se tienen algunos elementos que forman parte del fondo y una persona en posición sentada. Para ello, se utilizó el software de Microsoft SDK con un sensor Kinect II (Xbox One), y se tomó una serie de 80 imágenes (en formato .bmp) que incluyen el fondo sin personas en la escena e imágenes de la persona sentada con los brazos en posición neutral y utilizando el celular con cada una de las manos.

Resultados

Para la simulación realizada se obtuvieron resultados favorables utilizando ambos métodos.

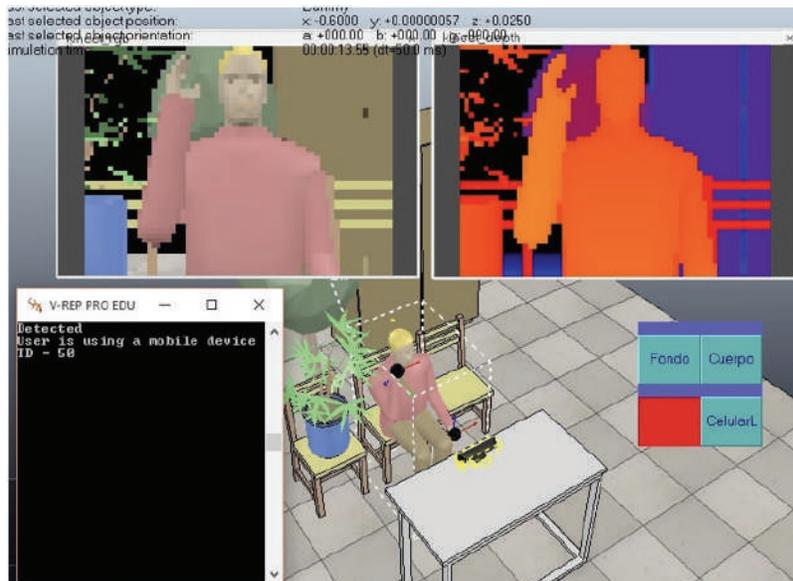


Figura 1: Detección de gesto de uso de dispositivo móvil (Creado por el autor).

En la figura 3 se puede observar cómo, al tener a la persona hablando por celular, el programa detecta la mano en cercanía a la cabeza e imprime un mensaje de detección en pantalla. Este mensaje se imprime aun cuando la detección se ha dado por un tiempo muy corto, pero no activará una alarma hasta que se alcancen los 5 segundos. Al detectarse la acción de hablar por celular por más de 5 segundos, se imprime el segundo mensaje en pantalla “El usuario está usando un dispositivo móvil” y se activa una alarma sonora para alertar al conductor. Se puede observar que el tiempo de detección en número de ciclos es de 50, lo cual equivale a 5 segundos.

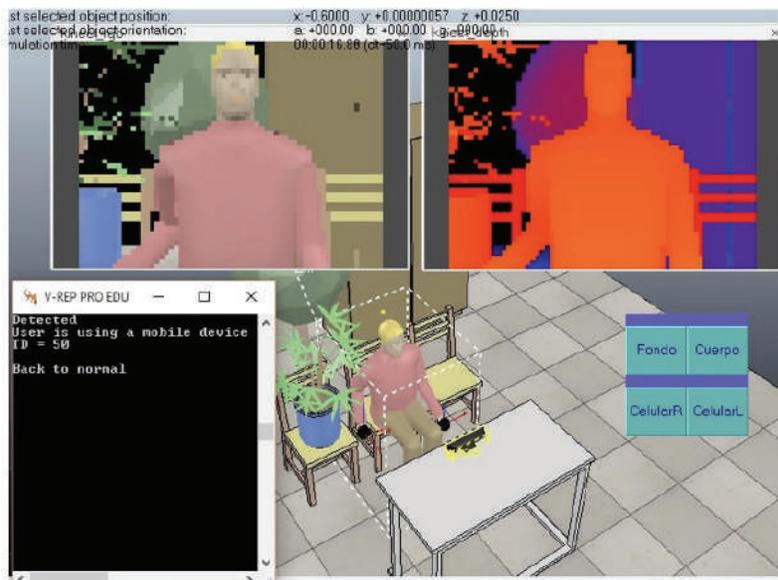


Figura 2: Detección de final de gesto (Creado por el autor).

Finalmente, al regresar a la posición neutral, el programa reconoce que ya no hay ningún objeto cercano a la cabeza que pueda representar un acto inseguro. Cuando el programa deja de detectar el gesto, se imprime un mensaje en pantalla “Vuelta a la normalidad”, indicando que el usuario ya no corre peligro y que el contador ha vuelto a cero.

Para los datos del Kinect se realizó primero un pre-procesamiento de suavizado de las imágenes. Se obtuvo un promedio de imágenes que representan el fondo, y un promedio de imágenes de la persona en posición neutral, para así realizar la sustracción de fondo y facilitar el procesamiento en Octave.

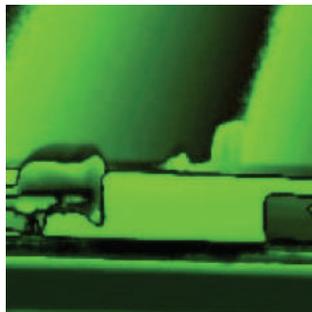


Figura 3: Imagen de fondo con suavizado (Creado por el autor).



Figura 4: Persona en posición neutral con suavizado (Creado por el autor).

Utilizando los algoritmos utilizados en la simulación y con un valor umbral determinado experimentalmente, se obtuvieron los siguientes resultados:



Figura 5: Detección de objetos de interés después de sustracción de fondo (Creado por el autor).

Aunque hay algunos espacios en negro, se puede detectar claramente el contorno de la figura humana, y con esta imagen se realizó el análisis de los contornos para encontrar los puntos de interés (punto máximo de la cabeza, extremos laterales, posición del cuello). Se utilizaron una variedad de imágenes en diferentes posiciones: neutral, con las manos al frente, sosteniendo el celular con la mano izquierda y con la derecha, para probar los algoritmos y realizar la detección.

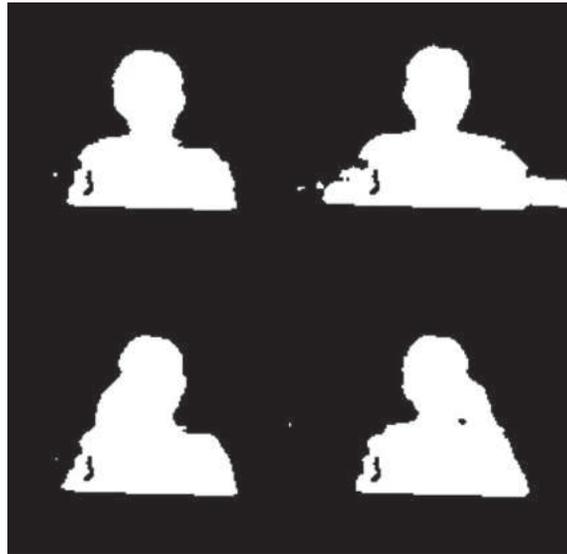


Figura 6: Imágenes para análisis en diferentes posiciones después del pre-procesamiento y sustracción de fondo.

Para la posición neutral de la persona, el programa determinó que no hay un dispositivo móvil presente y por tanto, las condiciones de conducción son seguras. Este mismo resultado se obtiene para la imagen con las manos al frente.

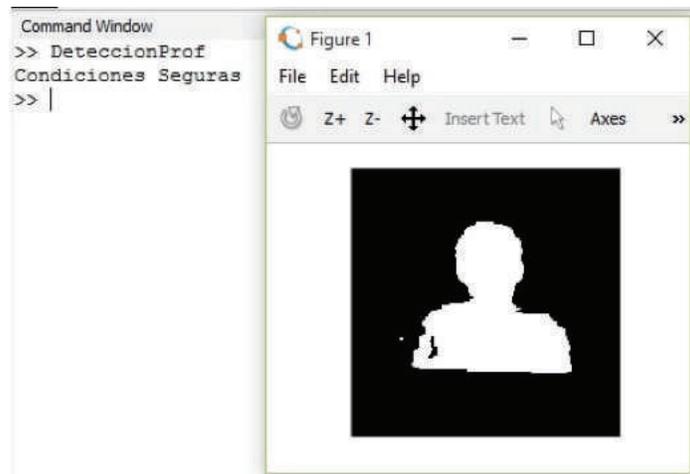


Figura 7: Análisis de imagen en posición neutral (Creado por el autor).

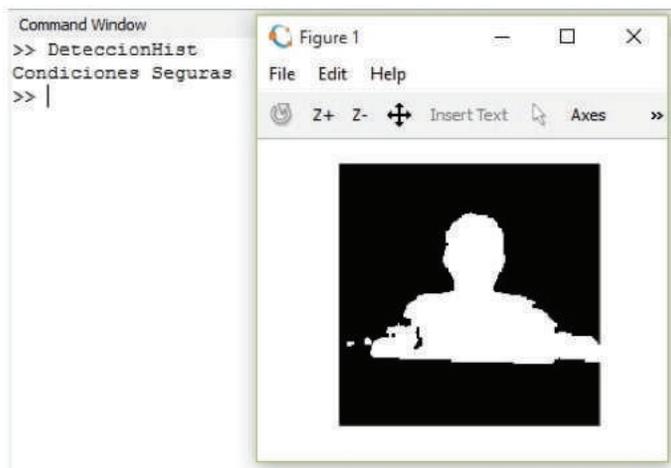


Figura 8: Análisis de imagen con manos al frente (Creado por el autor).

Finalmente, al correr el programa con las imágenes en donde se hace uso del celular, se detectó la presencia del mismo y se imprimió un mensaje de alerta para el usuario, indicando que la conducción no es segura.



Figura 9: Análisis de imagen utilizando dispositivo móvil (Creado por el autor).

Conclusiones

Dados los resultados obtenidos se puede concluir que se consiguió realizar exitosamente el diseño de una aplicación de reconocimiento gestual que permitiera reconocer el gesto de hablar por celular de manera automatizada. Asimismo, se realizó una simulación funcional utilizando dos métodos distintos con el programa V-REP con los cuales se obtuvieron resultados deseables. Posteriormente, se utilizó exitosamente los datos de un sensor real para respaldar los resultados obtenidos en la simulación con un programa funcional utilizando dos métodos distintos con el programa Octave. Al igual que en la simulación, se obtuvieron resultados

deseables de la parte de verificación de datos, realizando detección de gesto correctamente con ambos métodos.

Aunque este desarrollo funcionó adecuadamente, hay espacio para ampliar y mejorar los algoritmos de detección que permitan una solución más robusta. Se debe considerar las variaciones en iluminación y movimiento, las variaciones anatómicas de las personas y la presencia de obstáculos (cabello y accesorios) para poder obtener datos más confiables y realizar detecciones más exactas. Asimismo, se debe ampliar la aplicación para detectar más concretamente la presencia de un dispositivo móvil (contrario a detección únicamente de un objeto en cercanía a la oreja). La detección de gestos utilizando visión computacional permite la investigación y desarrollo en una variedad de aplicaciones que permitan mejorar la seguridad y a experiencia de usuario.

Referencias

- [1] T. Bouwmans, F. Porikli, B. Höferlin, & A. Vacavant. (2014). *Background Modeling and Foreground Detection for Video Surveillance*. Chapman and Hall/CRC.
- [2] S.-C. S. Cheung, & C. Kamath. (2007). *Robust techniques for background subtraction in urban traffic video*. Technical Paper, Center for Applied Scientific Computing, Lawrence Livermore National Laboratory, California. Recuperado el 27 de setiembre de 2015, de <https://computation.llnl.gov/casc/sapphire/pubs/UCRL-CONF-200706.pdf>
- [3] Dramanan. (2013). Background Subtraction. Recuperado el 27 de setiembre de 2015, de http://www.ics.uci.edu/~dramanan/teaching/cs117_spring13/lec/bg.pdf
- [4] E. Murphy-Chutorian, A. Doshi, & M. M. Trivedi. (2007). Head Pose Estimation for Driver Assistance Systems: A Robust Algorithm and Experimental Evaluation. *Intelligent Transportation Systems Conference, 2007* (pp. 709-714). IEEE. Recuperado el 22 de setiembre de 2015, de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4357803&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fstamp%2Fstamp.jsp%3Ftp%3D%26arnumber%3D4357803>
- [5] Open CV. (n.d.). *Open Source Computer Vision*. Recuperado el 26 de setiembre de 2015, de How to Use Background Subtraction Methods: http://docs.opencv.org/master/d1/dc5/tutorial_background_subtraction.html#gsc.tab=0
- [6] Organización Mundial de la Salud. (2009). *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2009*. Recuperado el 29 de agosto de 2015, de http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/report/web_version_es.pdf?ua=1
- [7] Premaratne, P. (2014). Historical Development of Hand Gesture Recognition. En *Human Computer Interaction Using Hand Gestures* (págs. 5-29). Singapore: Springer. doi:10.1007/978-981-4585-69-9_2
- [8] A. Vacavant, T. Chateu, A. Wilhelm, & L. Lequière. (2013). A benchmark dataset for outdoor foreground/background extraction. *Computer Vision-ACCV 2012 Workshops*, (págs. 291-300). Springer. doi:10.1007/978-3-642-37410-4_25
- [9] Zhang, C., Yang, X., & Tian, Y. (2013). *Histogram of 3D Facets: A Characteristic Descriptor for Hand Gesture Recognition*. New York: IEEE. Recuperado el 16 de octubre de 2015, de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6553754>

Implementación de sensores 3D para la navegación de robots móviles y vehículos autónomos

3D sensors implementation for mobile robots and autonomous vehicles navigation

Sergio Valverde-Moreno¹

Valverde-Montero, S. Implementación de sensores 3D para la navegación de robots móviles y vehículos autónomos. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 176-186.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5492>



¹ Ingeniero Mecatrónico. Área Académica Mecatrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: sergiovalverdem@hotmail.com

Palabras clave

Navegación autónoma; Robótica móvil; Pioneer P3-DX; Kinect, Campos potenciales; Point Clouds; Waypoints.

Resumen

La navegación autónoma de vehículos, así como el mapeo de zonas tiene un sinfín de aplicaciones comerciales como industriales. Este artículo explica el desarrollo de una aplicación para que un robot móvil pueda navegar de forma autónoma, evitando obstáculos, hasta llegar a una coordenada específica definida por el usuario, utilizando sensores 3D de bajo costo. Para diseñar e implementar esta aplicación se debe tomar en cuenta que la navegación y detección de obstáculos se realizó con base en sensores 3D, para lo cual se seleccionó un Kinect. La aplicación se simuló y probó en un ambiente de simulación especial para aplicaciones robóticas, llamado V-REP. El algoritmo de navegación para evitar obstáculos se implementó por medio de la teoría de campos potenciales. Otros sensores, como un GPS y un IMU, fueron utilizados para determinar la posición y orientación del robot en el espacio, con el objetivo de definir una trayectoria hasta la coordenada meta y así hacer la navegación más eficiente. Por último, se trabajó con los datos reales de los sensores en físico para corroborar el funcionamiento de la aplicación y así compararlo con los resultados obtenidos anteriormente de la parte simulada.

Keywords

Autonomous navigation; Mobile robotics; Pioneer P3-DX; Kinect; Potential fields; Point Clouds; Waypoints.

Abstract

Autonomous vehicles navigation, as well as mapping areas have endless commercial and industrial applications. This article explains the development of an application that allows a mobile robot to navigate autonomously, avoiding obstacles, until it reaches a specific coordinate point defined by the user, using low cost 3D sensors. For the design and implementation of this application, it is necessary to keep in mind that navigation and obstacle detection are based on the use of 3D sensors. For this purpose, the Kinect was selected. The simulation and testing of the project was done in a special simulation environment for robotic applications, called V-REP. The navigation algorithm for obstacle avoidance was implemented through the potential fields theory. Other sensors, as GPS and IMU, were used to determine the robot's spatial position and orientation, with the objective of defining a trajectory to the goal coordinate point, thus doing a more efficient navigation. Finally, real data from the physical sensors was used to corroborate the functioning of the application, with the purpose of comparing it with the previously obtained results from the simulated part.

Introducción

La navegación autónoma de vehículos, así como el mapeo de zonas tiene un sinfín de aplicaciones. En zonas de riesgo, como por ejemplo donde han ocurrido desastres naturales, estas aplicaciones toman aún más relevancia. En estas situaciones es muy peligroso enviar a una persona a realizar tareas de exploración ya que puede resultar herida o en el peor de los casos perder la vida. Es aquí, donde un vehículo o robot autónomo, que pueda llevar a cabo estas tareas es una excelente solución.

Por otro lado, este tipo de vehículos también tienen aplicaciones muy importantes a nivel comercial e industrial. Por ejemplo, en una industria, un vehículo capaz de llegar a una coordenada específica, con la capacidad de evitar obstáculos y evitar colisiones con objetos o personas, sería de gran provecho ya que se pueden mejorar los procesos productivos y la eficiencia de las fábricas.

En el sector comercial, se pueden realizar aplicaciones para facilitar la vida cotidiana. Un robot autónomo con las características descritas anteriormente se puede utilizar para seguir a una persona con el fin de cargarle sus pertenencias. Por ejemplo, en un aeropuerto se podrían usar como un servicio de transporte de maletas para los viajeros. También se podría usar como un método para llevar las pertenencias de personas adultas mayores o de personas con alguna discapacidad, lo cual les beneficiaría considerablemente en sus tareas diarias.

Si bien es cierto existen vehículos especializados para realizar este tipo de tareas, estos poseen un alto costo y no es tan fácil tener acceso a este tipo de tecnología. Por esta razón en el siguiente artículo se presenta una aplicación basada en sensores 3D de bajo costo para habilitar la navegación autónoma de un robot o vehículo.

La aplicación está basada en el uso de un sensor 3D Kinect junto con un giroscopio y un GPS. Los datos de estos sensores se integraron en el modelo de control de un robot Pioneer P3-DX para que navegue de forma autónoma, utilizando los métodos de campos potenciales y waypoints. Los resultados iniciales se verificaron por medio del simulador V-Rep y luego se verificó la aplicación por medio del análisis de los datos reales de los sensores.

Consideraciones para navegación autónoma

El desarrollo de esta aplicación se basa en el uso de tres sensores: un Kinect, el cual permite mapear el entorno por medio de points clouds y a través de ellos detectar obstáculos en la trayectoria de navegación. Una unidad de medición inercial (IMU), la cual permite obtener información de la velocidad angular y la aceleración lineal. Y finalmente un GPS, el cual permite obtener coordenadas precisas de la ubicación del robot móvil.

La información de estos sensores se combina con técnicas de navegación como lo son campos potenciales y waypoints. La primera técnica se basa en la idea de concebir al robot como una partícula que se ve influenciada por la fuerza de campos artificiales de atracción y repulsión. El espacio por el que se desplaza la partícula es el resultado de la suma de un campo potencial de atracción, el cual posee una fuerza que jala la partícula hacia el destino o meta, y también el de un campo de repulsión que contiene fuerzas que la alejan de los obstáculos [1]. Mientras que los waypoints son una serie de puntos o coordenadas que definen una trayectoria de navegación.

Análisis de point clouds

El point cloud generado por el Kinect posee una resolución de 640 x 480 píxeles. Sin embargo, para fines de simulación en V-Rep y desarrollo del algoritmo de detección de obstáculos se trabajó con una resolución de 64 x 48 píxeles, ya que se obtienen mejores velocidades de simulación, con variaciones insignificantes en los resultados. [2]

El algoritmo de análisis del point cloud busca detectar el punto más cercano al robot. Este comienza recorriendo los 64 píxeles de resolución en el eje X del sensor y posteriormente calcula el ángulo entre este eje y cada uno de los puntos. De igual forma este proceso se repite para los 48 píxeles del eje Y. El cálculo de los ángulos con respecto a los ejes X y Y viene dado por las siguientes fórmulas:

$$xAngle = \left(\frac{32 - i - 0.5}{32} \right) * camXHalfAngle$$

$$yAngle = \left(\frac{j - 24 + 0.5}{24} \right) * camYHalfAngle$$

Donde i es posición de un pixel en el eje X y j la posición de un pixel en el eje Y. Las variables $camXHalfAngle$ y $camYHalfAngle$ corresponde a la mitad del ángulo de visión en cada uno de los ejes. Dicha información se puede ver con detalle en la figura 1.

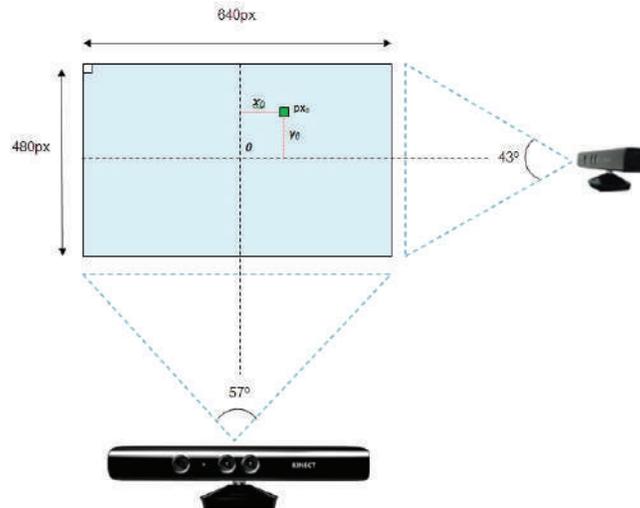


Figura 1. Características del sensor Kinect. Recuperado de: [3]

De igual forma para cada uno de los elementos del point cloud se calcula su profundidad. Estos valores se almacenan en un vector de 3072 elementos (64x48) llamado *depthBuffer*. Estos valores de profundidad se encuentran entre 0 y 1 y vienen dados por la siguiente fórmula.

$$depthValue = depthBuffert \left[i + (j-1) * 64 \right]$$

Luego la variable *depthValue* se multiplica por la constante de la máxima distancia de profundidad que se puede medir y se le suma el "NearClippingPlane", que es la menor distancia a partir de la cual puede medir el Kinect, esto con el fin de obtener el valor de la coordenada en el eje Z del punto i, j . [2]

Una vez con la coordenada en Z (valor de profundidad), se puede obtener por medio de trigonometría las coordenadas en X y en Y, ya que anteriormente se habían calculado las variables *yAngle* y *xAngle*. Dichos cálculos se pueden ver a continuación:

$$xCoord = \mathit{math.tan}(xAngle) * zCoord$$

$$yCoord = \mathit{math.tan}(yAngle) * zCoord$$

Finalmente se obtiene la distancia euclídea del punto i, j del point cloud con las coordenadas tridimensionales *xCoord*, *yCoord* y *zCoord* y se almacena en una variable llamada *dist*.

El siguiente paso es determinar si esa variable *dist* es la distancia más cercana al sensor del Kinect de todos los puntos del point cloud. Para ello se realiza una simple comparación, en caso

de el valor actual almacenado en *dist* sea menor que el valor anterior, se actualiza la distancia más cercana y se procede a almacenar las coordenadas tridimensionales de dicho punto.

Una vez que se cuenta con la información del elemento del point cloud más cercano al sensor, se utilizan sus coordenadas para la implementación de los campos potenciales de repulsión que serán generados por los obstáculos.

Implementación de campos potenciales

De acuerdo al acercamiento de campos potenciales expuesto en [6], donde se define el gradiente del campo potencial en función del vector de posición de la partícula., se obtienen las funciones del gradiente del campo de atracción en función de distintos radios de influencia:

$$\Delta x = \begin{cases} 0, & d < r \\ \alpha(d-r)\cos\theta, & r \leq d \leq (s+r) \\ \alpha * s * \cos\theta, & (s+r) < d \end{cases}$$

$$\Delta y = \begin{cases} 0, & d < r \\ \alpha(d-r)\text{sen}\theta, & r \leq d \leq (s+r) \\ \alpha * s * \text{sen}\theta, & (s+r) < d \end{cases}$$

Las fórmulas anteriores dan como resultado los componentes X, Y, del gradiente del campo de atracción. Donde *d* es la distancia euclídea entre el robot y la meta, la cual se calcula a partir de los datos generados por el GPS. La variable *r* es la distancia con respecto a la meta, a la cual se desea que la influencia del campo potencial sea nula o deje de actuar. Se puede ver como la distancia de la meta a la que se desea que el robot se detenga.

La variable *s* es la distancia sobre la cual se extiende el campo de atracción. La variable es una constante con la cual se puede ajustar la magnitud del campo. La variable θ es el ángulo existente entre la posición del robot y la posición de la meta, con respecto al marco universal, la cual viene dado por la unidad de medición inercial.

Basado en la misma idea para obtener los campos potenciales de atracción, se obtienen los de repulsión que están descritos por las siguientes fórmulas [4]:

$$\Delta x = \begin{cases} -\text{sign}(\cos\theta)\gamma, & d < r \\ -\beta(s+r-d)\cos\theta, & r \leq d \leq (s+r) \\ 0, & (s+r) < d \end{cases}$$

$$\Delta y = \begin{cases} -\text{sign}(\text{sen}\theta)\gamma, & d < r \\ -\beta(s+r-d)\text{sen}\theta, & r \leq d \leq (s+r) \\ 0, & (s+r) < d \end{cases}$$

Se puede observar que para este caso se mantienen las mismas condiciones de los intervalos. La diferencia es que ahora la variable *d*, denota la distancia euclídea entre el robot y el obstáculo

la cual viene dada por el análisis del point cloud generado por el Kinect. La variable r denota la distancia dentro de la cual se presenta la mayor influencia del campo de repulsión y la variable s ahora representa la distancia sobre la cual se extiende el campo de repulsión.

Se puede observar que se tienen dos nuevas variables β y γ . La primera viene a cumplir la función que anteriormente cumplía , con la diferencia de que este ángulo viene dado por los cálculos previamente explicados del Kinect, y la segunda es una constante para definir el máximo valor que se desea que posea el gradiente.

Cuando se acaban de calcular los gradientes de ambos campos, los componentes se suman para obtener el vector final que da la dirección de la trayectoria que debe seguir el robot para evitar obstáculos y llegar a la meta. Este vector también da una velocidad proporcional a la que debe navegar el robot de acuerdo a las distancias a las que se encuentre de la meta y los objetos. Esta velocidad se calcula por medio de la norma de dicho vector, la cual corresponde a la raíz cuadrada de la suma de cada uno de sus componentes al cuadrado.

Desarrollo del modelo de control de velocidad y ángulo resultante de la trayectoria

Para obtener el ángulo final con respecto al cual debe girar el robot, se debe tener en cuenta la diferencia entre el ángulo que está girado el robot, dado por la unidad de medición inercial y el ángulo resultante de la trayectoria, dado por los campos potenciales, todo esto referenciado con respecto al marco universal. Esto se hace con el fin de que el robot tenga que girar el menor ángulo posible y determinar si debe girar en sentido horario o anti horario y que así la navegación sea lo más eficiente posible.

Una vez que se conoce el ángulo resultante de la trayectoria y el sentido de giro se procede a desarrollar el control de velocidad para el robot Pioneer P3-DX. Para ello se utiliza como base el modelo cinemático de un robot de tracción diferencial de dos ruedas. El esquema que lo describe se muestra en la figura de abajo.

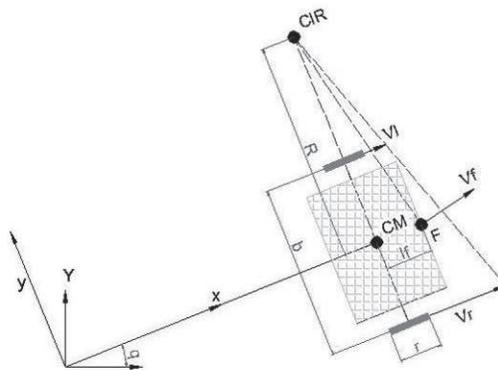


Figura 2. Modelo cinemático de un robot móvil de tracción diferencial de dos ruedas. [4]

Las ecuaciones de velocidad lineal y angular que describen este modelo se presentan a continuación [5]:

$$v = \frac{vr + vl}{2}$$

$$\omega = \frac{vr - vl}{b}$$

La variable v corresponde a la velocidad lineal del robot, ω a la velocidad angular, vr es la velocidad lineal de la llanta derecha, vl es la velocidad lineal de la llanta izquierda y b es la distancia entre el centro de una llanta y el centro de la otra [4]. Estas ecuaciones se reescriben en función de la velocidad angular y la velocidad lineal, ya que lo que se requiere saber es la velocidad que se le debe asignar a cada llanta del robot.

$$vr = v + \frac{\omega * b}{2}$$

$$vl = v - \frac{\omega * b}{2}$$

Como se puede observar las velocidades de las ruedas están compuestas por un componente de velocidad lineal y angular. Esta ecuación final se ajusta para que dependiendo de la distancia a la que se encuentre el robot de un obstáculo, los componentes angulares y lineares respondan de una forma específica. Se definieron dos intervalos para la respuesta de velocidad de cada una de las llantas.

Si la distancia con respecto al obstáculo es menor a 0,5 metros, el robot únicamente tendrá velocidad angular (gira sobre su propio eje) con el fin de que pueda evitar el obstáculo y una posible colisión contra él. En este punto el robot también girará con la máxima velocidad posible, por lo que no se usa el valor proporcional dado por los campos potenciales.

El valor proporcional de los campos potenciales se utiliza cuando la distancia del robot a los obstáculos es mayor a 0,5 metros. Para este caso, se definió también una velocidad angular proporcional al ángulo resultante que tiene que girar el robot (denominado *angle*). Este ángulo de giro nunca supera 180°, por lo tanto si se quiere girar este ángulo máximo se debe establecer la velocidad máxima del robot Pioneer (1,2 m/s), y para ángulos menores a 180° se obtiene la siguiente fórmula de velocidad que vendría a reemplazar el término $(\omega * b)/2$ de las ecuaciones descritas anteriormente:

$$v2 = \frac{1,2 * \text{angle}}{\pi}$$

Finalmente, el término de la velocidad lineal de las ecuaciones anteriores se sustituye por el valor de velocidad proporcional dado por los campos potenciales (denominado como v) multiplicado por la velocidad máxima del robot. Esto hace que las ecuaciones de velocidad para una navegación autónoma, basadas en el modelo cinemático del robot y el algoritmo para evitar obstáculos basado en campos potenciales, sean las siguientes:

$$v_r = 1,2 \left(v + \frac{\text{angle}}{\pi} \right)$$

$$v_l = 1,2 \left(v - \frac{\text{angle}}{\pi} \right)$$

Implementación de waypoints

Los waypoints se utilizaron con el fin de que el robot pueda navegar mayores distancias y así no tenga problemas con los mínimos locales que pueden presentarse durante la navegación del robot. Una consideración importante al utilizar esta técnica es que, para fines de la aplicación el usuario debe tener un conocimiento básico de dónde podrían originarse estos puntos conflictivos.

Los waypoints son puntos que definen la trayectoria del robot. El algoritmo de control de trayectoria y velocidad se aplica para el primer waypoint guardado, una vez que este punto es alcanzado, se actualiza el algoritmo con el siguiente waypoint y así consecutivamente hasta que el robot alcanza la coordenada meta o waypoint final [5].

Resultados

Por medio de la simulación realizada en V-Rep se pudo corroborar que el algoritmo de navegación autónoma basado en los datos del sensor 3D Kinect para la detección de obstáculos y la definición de trayectoria por medio de campos potenciales y waypoints tuvo resultados positivos.

El robot fue capaz de desplazarse sin problemas, evitando obstáculos y llegando a su objetivo en un espacio de 400 m² el cual cuenta con pasillos de 1,70 metros, anchos de puertas de 1 metro y un pasillo principal de 2 metros de ancho.

Durante la navegación el robot esquivó con éxito objetos que se encontraban en los pasillos, pasó sin problemas a través de las puertas de los recintos y de igual forma fue capaz de rotar completamente su posición para retornar a un punto, todo esto sin colisionar con objetos en ningún momento. En la figura 3 se puede observar el espacio simulado para probar los algoritmos de detección de obstáculos y campos potenciales, así como parte de la navegación realizada por el robot Pioneer utilizando como base un sensor Kinect junto con un GPS y una unidad de medición inercial. Los puntos en rojo son los waypoints establecidos para definir los tramos de navegación.

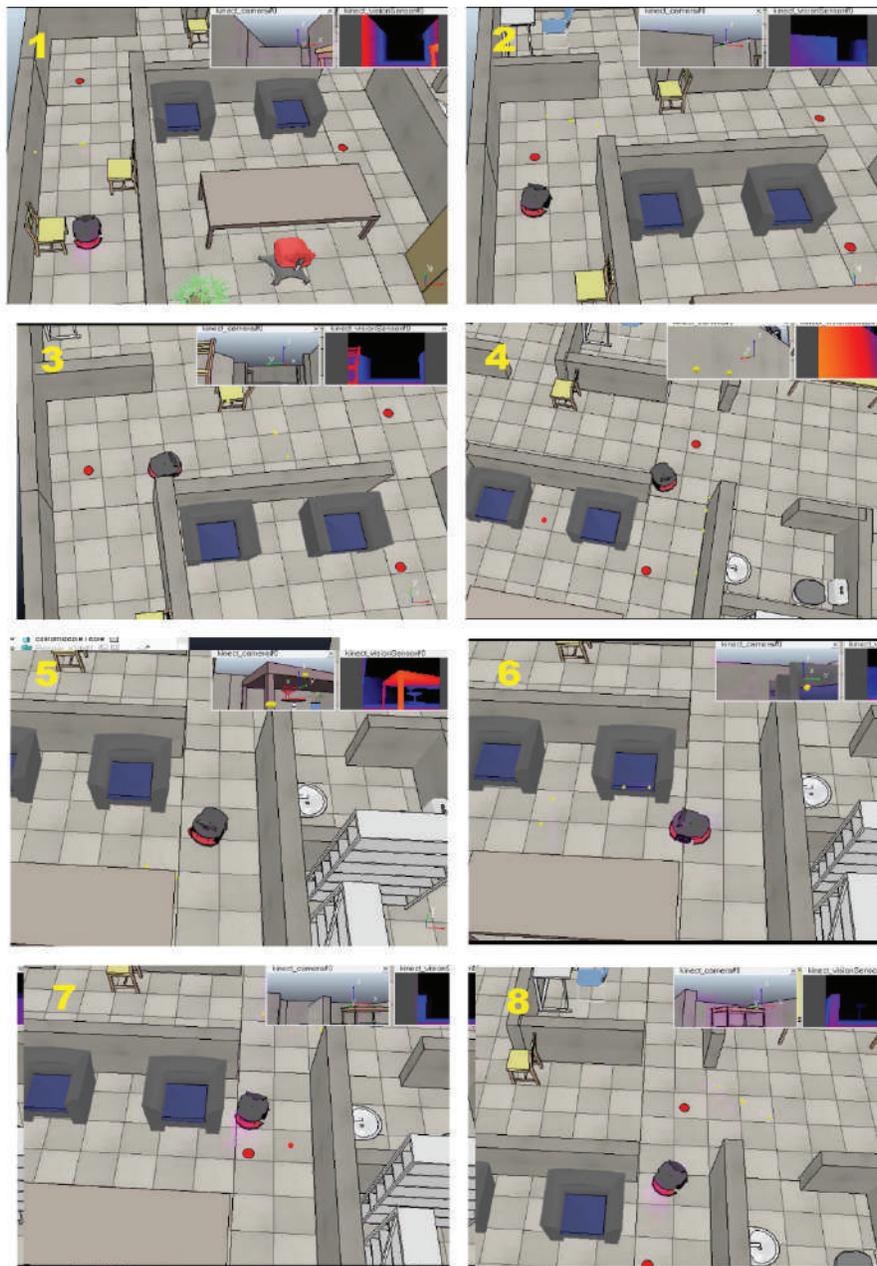


Figura 3. Parte de la navegación final realizada por el Pioneer P3-DX.

De igual forma se pudo verificar que al utilizar los sensores en físico, la aplicación desarrollada fue capaz de detectar el punto más cercano al robot dentro el point cloud generado por el Kinect. Esta actividad se llevó a cabo en un ambiente con obstáculos similar al que se simuló, donde se pudo verificar el correcto funcionamiento del algoritmo.

En la figura 4 se analiza un point cloud donde hay un obstáculo muy cercano al robot, que para este caso es una persona de pie. En esta situación, una persona se posicionó a medio metro del robot. La distancia entre la posición del robot y el waypoint es de 5 metros y el ángulo de orientación del robot es de 1,61 radianes ($92,24^\circ$). Se recuerda que todos los ángulos son referenciados respecto al marco universal. En la captura de la izquierda se puede observar el point cloud capturado por el Kinect mientras que en la captura de la derecha se muestra el resultado del punto más cercano detectado (en rojo).

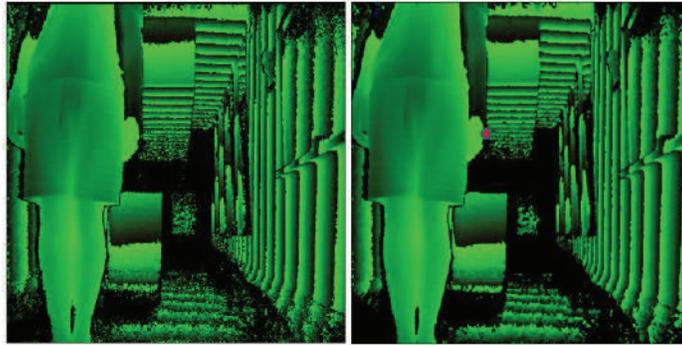


Figura 4. Caso de análisis. Pasillo con obstáculo principal a 0,5 m.

A continuación, se presentan los datos reales brindados del análisis del point cloud y la respuesta del robot en función del obstáculo más cercano al robot.

Datos Kinect (Sistema de coordenadas del sensor):

- Coordenada X: 0,043658 m.
- Coordenada Y: 0,043915 m.
- Coordenada Z: 0,50941 m.
- Distancia al punto más cercano: 0,51128 m.

Señales de actuación en el robot (Sistema de coordenadas universal):

- vLeft: 0,68 m/s.
- vRight: 0,56 m/s.
- Ángulo resultante de la trayectoria: 1,45 radianes (83,08°).
- Ángulo entre el objeto y el robot: 1,70 radianes (97,41°)
- Ángulo entre la meta y posición del robot: 1,57 radianes (90°).

Estos datos corroboran que el robot efectivamente evitaría la colisión con el objeto que se encuentra en su trayectoria y puede continuar su navegación de tal modo que alcance el punto meta. Como se puede observar la velocidad de la llanta izquierda es mayor que la de la derecha lo cual hace que el robot gire en sentido contrario al que se encuentra el obstáculo. También se puede corroborar como el ángulo o trayectoria resultante se ajusta en función del ángulo existente entre el robot y el obstáculo y el robot y la meta.

Conclusiones

Se demostró que a partir del análisis de point clouds generados por sensores 3D de bajo costo y la utilización de técnicas de navegación como campos potenciales se puede desarrollar una aplicación para que un robot móvil sea capaz de navegar de forma autónoma. A nivel de simulación de la aplicación se obtuvieron excelentes resultados donde el robot logró alcanzar todos los puntos del trayecto evitando obstáculos y colisiones. Por otro lado, también se pudo verificar con los sensores en físico el correcto funcionamiento de la detección de obstáculos por medio del point cloud y de igual forma se verificó una correcta respuesta del control de velocidad del robot para definir una trayectoria. Los resultados con los sensores en físico confirman los positivos resultados obtenidos por medio de la simulación en V-Rep.



Si bien es cierto los resultados obtenidos fueron los deseados, todavía existe espacio para mejora. Uno de estos puntos es el de evitar con métodos más eficientes que los waypoints, posibles mínimos locales del algoritmo de campos potenciales. Esto con el fin de incrementar el nivel de autonomía de la aplicación desarrollada.

Referencias

- [1] H. Espitia y J. Sofrony, «Sistema de Información Científica Redalyc,» 2012. [En línea]. Consultado en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91126903005>. [Último acceso: 03 Octubre 2015].
- [2] Sociedade Brasileira de Computação, Anais da 34a Jornada de Atualização em Informática JAI 2015, Recife: Sociedade Brasileira de Computação, 2015, pp. 275-290.
- [3] Grupo de Investigación en Robótica Autónoma, «GIRA,» 15 julio 2015. [En línea]. Consultado en: <http://tecnodacta.com.ar/gira/2015/07/conociendo-coordenadas-reales-con-kinect/>. [Último acceso: 06 octubre 2015].
- [4] A. Bañó, «Análisis y diseño del control de posición de un robot móvil con tracción diferencial,» junio 2003. [En línea]. Consultado en: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/333pub.pdf>. [Último acceso: 16 noviembre 2015].
- [5] T. Puls, M. Kemper y R. Küke, «GPS-based position control and waypoint navigation system for quadcopters,» 2009. [En línea]. Consultado en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5354646/authors#authors>.
- [6] M. Goodrich, «Potential Fields Tutorial,» 12 Mayo 2008. [En línea]. Consultado en: http://phoenix.goucher.edu/~jillz/cs325_robotics/goodrich_potential_fields.pdf.

Optimization of a portable nanoparticle detection device

Optimización de un dispositivo portátil de detección de nanopartículas

Oscar O. Soto-Rivera¹

Soto-Rivera, O. Optimization of a portable nanoparticle detection device. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 187-202.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5493>



¹ Licentiate degree in Electronic Engineering. Costa Rica Institute of Technology, School of Electronic Engineering, Costa Rica. Email: osotoriv@gmail.com

Keywords

Electrical circuit; electromagnetism; electrochemistry; electric power; nanotechnology.

Abstract

The use of silver nanoparticles has grown in both the industrial and medical areas. Along its widespread use, interest in understanding its effects on the human body and the environment has also increased. As a result, novel and improved techniques and tools are being investigated to characterize this material. The neuroelectronics group at the Technical University of Munich is developing a portable device for detecting silver nanoparticles *in-situ*. To achieve this, using cell phone technology to communicate with the device is anticipated, as well as making the necessary calculations for the characterization of these nanoparticles. The system consists of analog and digital circuits which still require performance and portability optimizations, in such a way that they contribute to the successful completion of this task. This article will describe three phases for achieving device optimization. The first phase includes the design and implementation of a power management system, which will allow the portability of the sensor with an operating time of at least one hour. The second phase will be about noise characterization and reduction in the analog system. The third and last phase will focus on verifying the cutoff frequency of the circuit. In addition, this article will explain how these three phases relate to each other and contribute to optimizing the silver nanoparticle detection device.

Palabras clave

Circuito eléctrico; electromagnetismo; electro química; potencia eléctrica; nanotecnología.

Resumen

El uso de nanopartículas de plata ha crecido tanto en el ámbito industrial como en el médico. Junto con su uso generalizado, también ha aumentado el interés por comprender sus efectos en el cuerpo humano y el medio ambiente. Como resultado, se están investigando técnicas y herramientas novedosas y mejoradas para caracterizar este material. El grupo de neuroelectrónica de la Universidad Técnica de Múnich está desarrollando un dispositivo portátil para detectar nanopartículas de plata *in-situ*. Para lograrlo, se prevé utilizar tecnología de telefonía celular para comunicarse con el dispositivo, así como realizar los cálculos necesarios para la caracterización de estas nanopartículas. El sistema consta de circuitos analógicos y digitales que aún requieren optimizaciones de rendimiento y portabilidad, de tal manera que contribuyan a la exitosa realización de esta tarea. Este artículo describirá tres fases para lograr la optimización del dispositivo. La primera fase incluye el diseño e implementación de un sistema de gestión de energía, que permitirá la portabilidad del sensor con un tiempo de funcionamiento de al menos una hora. La segunda fase tratará sobre la caracterización y reducción del ruido en el sistema analógico. La tercera y última fase se centrará en verificar la frecuencia de corte del circuito. Además, este artículo explicará cómo estas tres fases se relacionan entre sí y contribuirán a optimizar el dispositivo de detección de nanopartículas de plata.

Introduction

Due to the physical and chemical properties of silver nanoparticles, interest in their use has increased. Some of the products and industries using them include textiles, the automobile and electronics industry, health products, air and water treatment, among others [1-3]. This

has amplified human and environmental contact with these nanomaterials. However, the long-term effect of this interaction is not yet fully understood [2], [4]. As a result, interest has arisen in the study of silver nanoparticles and their effects, developing different techniques for their characterization. The device of this project uses the nano-impact technique based on the experiments carried out by Micka [5]. In this technique, an electrode is placed into the solution containing the nanoparticles and its potential is modified. When the nanoparticles interact with the electrode, a current spike on the order of picoamperes (pA) occurs. This electrical signal can be used to characterize the nanoparticles being studied [5].

In this project, the current spike is recorded by a device consisting of an analog and a digital system. The analog system has four circuits called PicoAmp which transform 1pA into 1mV, while the digital system converts an analog signal into a digital signal, store data and sends the information to a cell phone using a Bluetooth module. The cellphone runs an application that makes the necessary calculations to obtain useful data about the silver nanoparticles, such as their concentration or size. In order to create a portable silver nanoparticle detection device that uses the nano-impact method, enhancing the signal collection procedure is necessary. This process is linked to the physicochemical phenomenon happening in the electrode-nanoparticle interaction, as well as to the manipulation and reading of the current spike. Therefore, the characterization and reduction of electromagnetic noise in the system is a key factor to improve sensor's response and achieve adequate signal analysis. In addition, the device requires a power supply that meets its energy demand and at the same time provides portability. When designing the power supply, the noise this system adds to electronics shall be considered.

This work focuses on the characterization and reduction of noise in the analogue system, as well as on the verification of the cut-off frequency it was devised with. Jonathan N. Rapp was responsible for design and implementation, and it is based on a design built by Norbert Wolters at FZ Juelich [6]. The digital system was formulated by Handenur Çalışkan and implemented by Julian Feuerbach [7].

This article also describes the design and implementation process for a power management system that meets system power requirements, so that the sensor operates for at least one hour, while allowing portability to perform in-situ experiments.

This paper summarizes the most relevant work and results derived from an internship in the Neuroelectronics group of the Technical University of Munich. The information presented here is part of the work developed as a graduation project to obtain the Licentiate degree of Electronics Engineering [8].

First, some fundamentals of the nano-impact technique are briefly explained. Then, the design criteria that were used for the power management system are discussed. In addition, the scenarios and elements that were considered for the characterization and reduction of noise are described, as well as the methodology used for the verification of the cut-off frequency. Subsequently, the results achieved are presented and analyzed. Finally, the article presents the conclusions and recommendations obtained from this work.

Fundamentals

In the characterization of silver nanoparticles, two methods stand out: electron microscopy and optical methods [5], [9]. In electron microscopy, a difference can be made between the transmission electron microscope (TEM) and the scanning electron microscope (SEM) [5]. Regarding optical methods, there are light scattering techniques such as dynamic light scattering (DNS) and nanoparticle tracking analysis (NTA) [9]. Both, electron microscopy methods and light scattering techniques present some challenges when it comes to nanoparticles characterization.

For example, the techniques used in electron microscopy are implemented out of the place where the sample was taken; sample preparation makes aggregation characterization difficult, and agglomeration does not provide kinetic information [5]. The main problem in light scattering techniques occurs when nanoparticles of different sizes coexist, since the result may be biased towards larger particles, thus delivering wrong conclusions [5]. Additionally, the methods described above are very expensive and require prior training and good handling of the equipment.

Nano impacts

As an alternative, the nano-impact electrochemistry technique is presented. Through this alternate, nanoparticles can be sized *in-situ*. To perform this technique, an electrode is introduced into a solution containing the silver nanoparticles being studied. The potential of the electrode can be modified. When some particle interacts with the electrode, a charge is released, the electrode absorbs it and causes a current spike in the pA range. This signal can then be used to obtain information on the size and concentration of silver nanoparticles [5]. Figure 1 shows the basic setup for conducting most nano-impact experiments. Here, there is a three electrodes configuration, the working electrode (WE) -which quantifies the electric power generated by the reaction-, a counter electrode (CE) and a reference electrode (RE), which helps to determine the potential difference at which the reaction between the working electrode and the nanoparticle occurs [5], [10]. The setup of the nanoparticle detection device being developed has two electrodes, specifically the working electrode and the reference electrode.

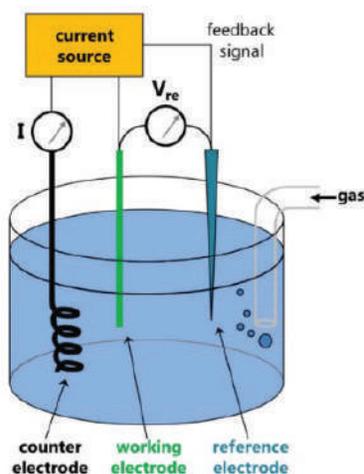


Figure 1. Three-electrode setup for nano-impact experiments. Source: [7].

When due to Brownian motion the nanoparticle approaches the working electrode, an oxidation reaction takes place because of the potential difference between this and the reference electrode. This reaction releases a charge from the nanoparticle which is then absorbed by the electronics through the working electrode. This charge produces a current spike that may be studied to obtain information related to the nanoparticle. For example, if a complete oxidation and a spherical shape are assumed, knowing the nanoparticle size is possible with the current spike integral. Furthermore, when there are multiple impacts by several nanoparticles, quantifying the number of current spikes can provide information about concentration [2], [5], [11].

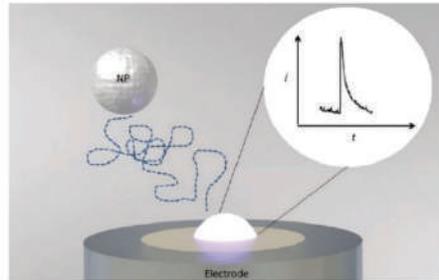


Figure 2. Illustration of nano impact and current spike generated by the oxidation reaction between the nanoparticle and the working electrode. Source: [5].

The accuracy of this method is influenced by three main aspects: charge transfer characteristic, mass transport and the measurement system, which includes the electronics used. The noise in the electronic system must be lower than the signal to be measured in order to study it [5].

Cutoff frequency

Figure 3 exemplifies the current spike captured by the working electrode versus a single impact from a nanoparticle. The red trace corresponds to the impact of a 10 nm nanoparticle with a 3 μm electrode. The blue trace represents the impact of a 20 nm nanoparticle with a 24 μm electrode [9].

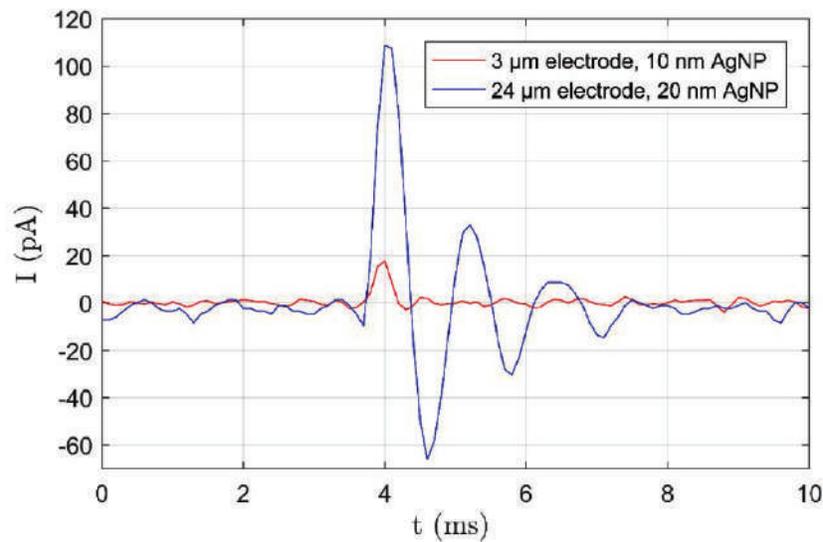


Figure 3. Current spike due to nano impacts. Source [9].

Useful information occurs in the first oscillation; the other oscillations derive from system electronics instabilities. To reduce these oscillations, a low-pass filter is used. Using this filter adds an additional benefit: the cutoff frequency allows modifying the length or width of the current spike. By changing signal length, amplitude varies too, preserving the area under the curve, which allows to continue obtaining the nanoparticle's size [12].

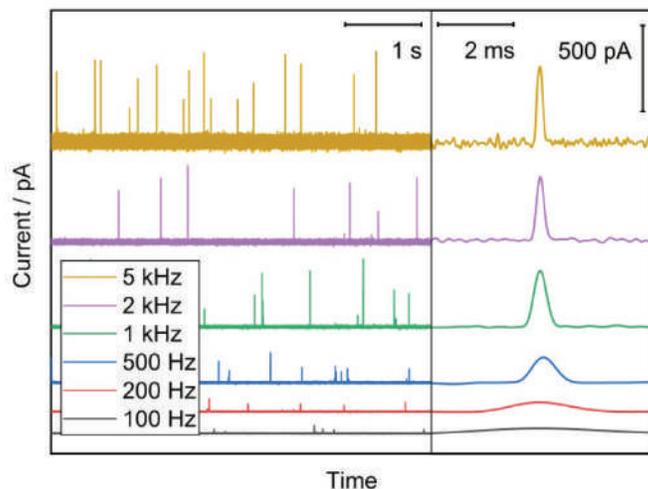


Figure 4. Change in the current spike when using different cutoff frequencies in the low-pass filter. Source: [12].

Concentration measurement depends on the diffusion coefficient provided by equation 1. The use of low cut-off frequencies may lead to incorrect results in this parameter as a result of increased length [12].

$$D_{x^-} = \frac{\rho r^2}{2 \ln(2) N_A t_{dur} C_{x^-}} \quad (1)$$

D_{x^-} is the diffusion coefficient for ion X^- ; C_{x^-} is the concentration of the anion; ρ is density of nanoparticle and t_{dur} is the time of the transformative impact signal [12].

Noise

Usually, circuit noise is an unpredictable and unwanted signal that affects system performance. The term noise floor refers to the noise level at a circuit output in the absence of an input signal [13]. This defines the minimum signal that can be registered by the circuit. A lower noise floor makes the sensor more sensitive to smaller electrical signals, or in other words, it increases sensor's sensitivity.

Circuit noise originates in external and internal sources. Some internal sources of noise are the operational amplifiers (Op-Amps) or the PCB layout, while external noise sources may include nearby electronics, fluorescent lights, or the environment. With proper shielding, reducing the noise generated by external sources is possible in order to analyze only the noise from internal sources [13-16].

Materials and methods

Design and implementation of a power management system

The analog system has four channels, each with an identical PicoAmp circuit. In addition, circuit input allows coupling of a printed sensor made up of an array of microelectrodes. When the project started, the device was fed by a TENMA 72-10495 power source. This power source not only made portability difficult due to its size and weight, but it also added noise due to the power line, as will be shown later. To solve these difficulties, a power management system was designed and implemented. The design process began with establishing power requirements for both, the analog and digital circuits.

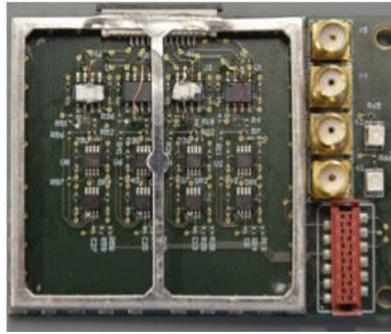


Figure 5. Four-channel analog circuit. Source [8].

Quiescent current was used [17] in order to get the maximum current necessary that the power system must provide for the analog system. This is the current flowing in an Op-Amp when its output is connected to a high impedance load. All the Op-Amp in the PicoAmp circuit have their output connected to the input of another Op-Amp, which is high impedance. Although this system has four PicoAmp circuits, an upcoming eight-channel design will be created. Therefore, the power system was designed with this future upgrade in mind. The maximum currents and voltages for the digital system were obtained from the datasheets of each component. Tables 1 and 2 summarize current and voltage requirements for both systems.

Table 1. Current and voltage requirements for the digital circuit. Source: [8].

Component	Model number	Quantity	Voltage supplied (V)	Maximum current supplied (mA)	Total maximum current supplied per component (mA)
ADC	ADS8688	1	+5	16	16
Voltage reference	REF5040	1	+5	1.2	1.2
DAC	DAC8563	1	+3.3	1.6	1.6
Voltage reference	REF2033	1	+5	0.46	0.46
Dual Op-Amp	OPA2188	1	+5	0.6	0.6
Bluetooth module	RN-42	1	+3.3	50	50
Voltage inverter	LM2776	1	+5	0.2	0.2
Microprocessor	STM32F429I	1	+3.3	46.8	46.8

Table 2. Current and voltage requirements for the analog circuit. Source: [8].

Component	Model number	Quantity	Voltage supplied (V)	Maximum current supplied (mA)	Total maximum current supplied per component (mA)
Ultra-Low input biased amplifier	OPA129UB	8	±5	1.8	14.4
Voltage offset amplifier	AD822A	8	±5	1.6	12.8
Summing amplifier	AD820A	8	±5	0.8	6.4

The sum of total maximum current supplied per component in tables 1 and 2 determines the maximum current that each voltage level or power rail must be capable of supplying. This information is summarized in table 3.

Table 3. Voltage and current required by digital and analog circuits. Source: [8].

Power rails voltage (V)	Current (mA)
+3.3	52.06
+5	33.6
-5	98.4

In order for the device to operate for at least one hour and meeting the requirements set out in table 3, a battery of at least 200 mAh is required. However, commercial batteries between 1800 mAh and 2000 mAh are available at affordable prices. These batteries increase the operating time of the device and meet power requirements. In addition, their compact size makes them ideal for portable devices.

Another consideration when designing the power management system is the noise that will be added to the overall system. Consequently, circuit design and its components should introduce the least amount of noise to the sensor. The general blocks for the proposed design are shown in figure 6, and table 4 details the components that were used for implementing the design.

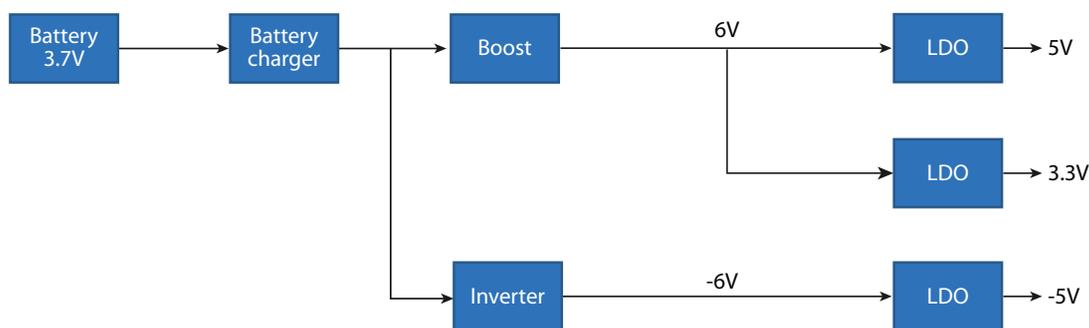


Figure 6. Block diagram of the power circuit.

Table 4. Components used in the power circuit. Source: [8].

Function	Component
Battery charger	BQ2506
Boost and Inverter circuits	TPS65131
LDO to generate + 5V and + 3.3V	TPS7A47
LDO to generate -5V	TPS7A33

The power circuit is fed by a LI-ION battery of 3.7 V as nominal voltage and with a 2050 mAh capacity. The charging circuit for this battery was included in the power management system.

The nominal battery voltage is within the voltage levels required for the nanoparticle device. As a consequence, voltage regulators must be used to reach the desired levels. Battery voltage was set to ± 6 V with Boost and Inverter circuits. Voltage levels in table 3 are generated with the help of Low-Dropout Regulators (LDO). Despite battery discharging over time, the Boost and

Inverter circuits keep a stable input voltage for the LDOs. As a result, supply voltage for the silver nanoparticle sensor also remains stable.

The Boost circuit is used when the desired output voltage is greater than the input voltage, while the inverter circuit is used when the desired output voltage has opposite polarity to the input voltage [18-20]. However, the Boost and inverter circuits produce noise due to the switching frequency of the transistor controlling output voltage, and this noise is added to the rest of the system [21].

LDOs not only help set the desired end voltage, but are ideal for filtering noise because of transistor switching of Boost and Inverter topologies. Furthermore, LDOs benefit from the output voltage of these topologies, since their input voltage shall be greater than output voltage [22], [23]. The chosen LDOs are ultra-low noise and thus, the amount of noise added to the sensor is minimized.

Circuit schematics and layout were made using the Altium Designer 18 software. The PCB design criteria set in the data sheets and application notes for each component were followed.

Characterization and noise reduction in the analog circuit

The Peak-to-Peak value (Pk-to-Pk), the Root Mean Square (RMS) and the Power Spectral Density (PSD) [23-25] were used to study the noise in the analogue system. These tools allow characterizing this random signal [26-28].

The conversion from 1 pA to 1 mV made by the PicoAmp circuit requires a feedback resistor. It was experimentally evaluated whether the position at which this resistor is connected to the Op-Amp has any effect on reducing noise in the circuit. Figure 7 illustrates the four resistors arrangement, one for each channel.

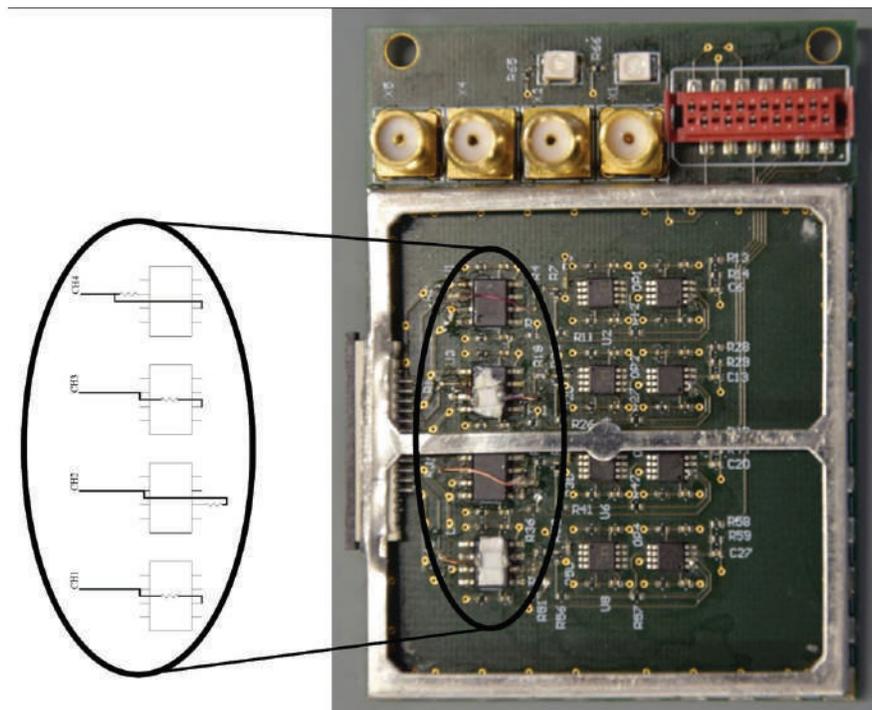


Figure 7. Feedback resistors in different positions. Source [8].

At the moment of developing this project, channel 3 did not work. However, the position of the feedback resistor was the same as in channel 1, so its effect could still be evaluated.

Silver nanoparticles are detected by placing the electrolyte on a printed sensor coupled to the analog system's input. Through this sensor, the current spike is recorded by the PicoAmp circuit. The electrode-electrolyte interface and the antenna-like behavior of the printed sensor add noise to the system once it is coupled to it. The experiments and improvements carried out made it possible to quantify the noise level added by these factors.

Verification on the circuit cut-off frequency

The analog circuit was designed to interact with 50 nm silver nanoparticles and for the first oscillation shown in figure 3 to be 0.303 ms. To achieve this, the cutoff frequency of the low-pass filter was planned to be 3.3 KHz. Cutoff frequency was calculated using the ratio of the output signal to the input signal using a frequency sweep from 400 Hz to 12 KHz.

Results

Power management system

Figure 8 shows the final result of the PCB manufacturing for the power management system. A multimeter was used to measure output voltages as well as the maximum current delivered by the power rails. Output voltage results correspond to those in table 3. The total output current for the positive power rails is 400 mA, and -400 mA for the negative power rail. These results satisfactorily meet the power requirements of the silver nanoparticle detection device.

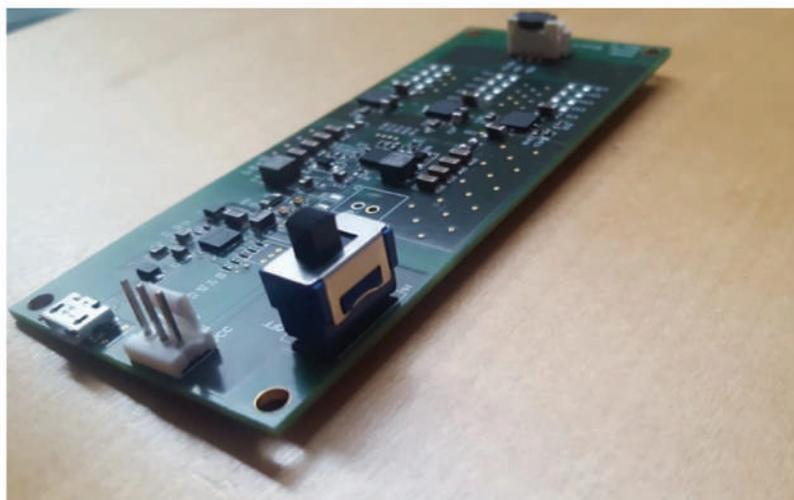


Figure 8. Power circuit PCB. Source [8].

To determine the operating time of the device when connected to this new power system, the LI-ION battery charge and discharge characteristic curve was used. This information was obtained with the help of the VSP-300 Bio-Logic Science Instruments. This equipment helped to set a constant load on the battery and thus, configure different current demands corresponding to diverse amounts of connected channels (PicoAmp circuits). Table 5 summarizes the three most relevant channel quantity settings for the device and their corresponding operating time.

Setting 1 represents the number of channels currently in use, setting 2 will be present for a future analog system upgrade and setting 3 determines the maximum number of channels that may be fed by the power management system. The initial goal was to operate the device for one hour; however, the new power source exceeds this goal by 10 hours and 30 minutes. In all cases, battery charging time is 3 hours and 50 minutes.

Table 5. Discharge time according to the number of channels. Source: [8].

Configuration	Number of channels	LI-ION battery discharge time
1	4	11 h and 30 min
2	8	9 h and 45 min
3	60	3 h and 45 min

To determine the load that should be connected to the battery, the current used by the digital circuit, the power circuit and the amount of current required by each channel in the analog system were added. Afterwards, the number of channels that may be added was determined so that the total current does not exceed 400 mA in any of the power rails.

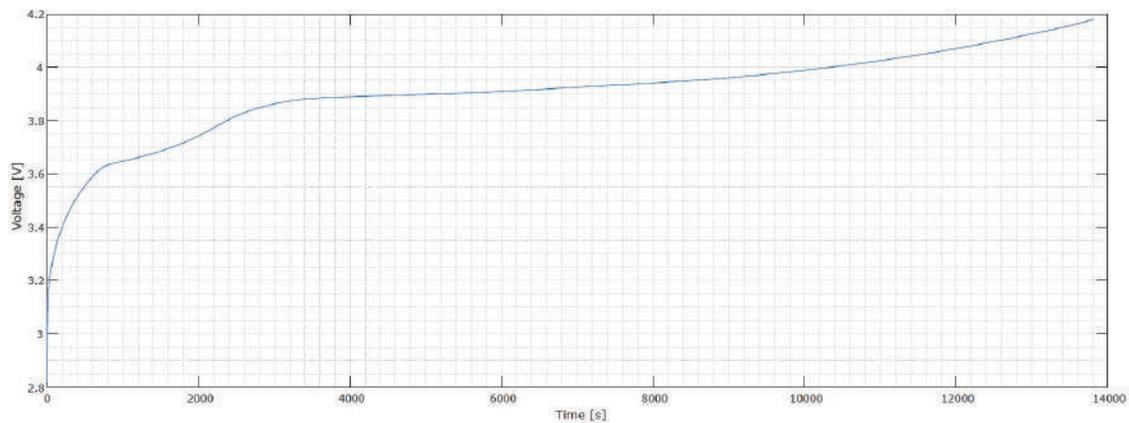


Figure 9. LI-ION battery charge characteristic curve for 4 channels. Source [8].

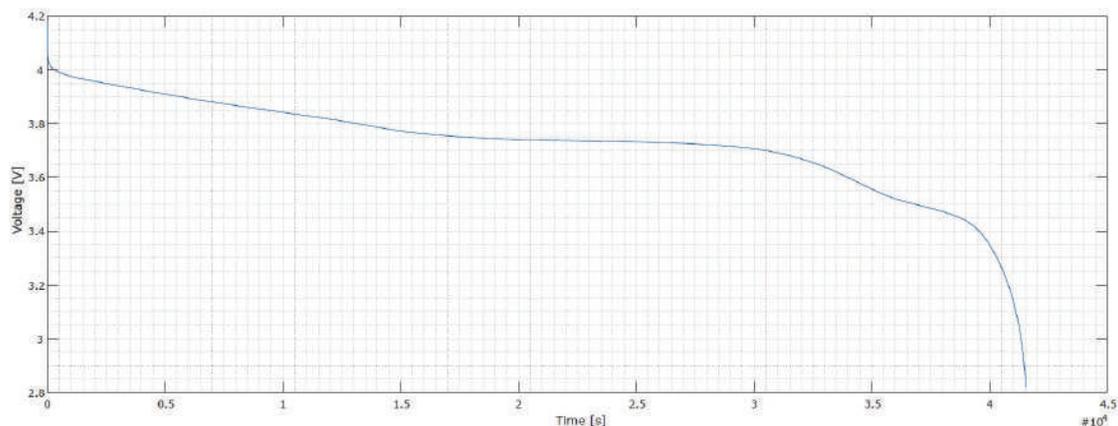


Figure 10. LI-ION battery discharge characteristic curve for 4 channels. Source [8].

The charge and discharge curve for the LI-ION battery in figures 9 and 10, together with the results in table 5, show that output voltage varies in time and that it depends on the charge connected to it. However, the Boost and Inverter topologies maintain constant input voltage over time for the LDOs. As a result, the output voltage of the power management system is constant despite the variation in battery voltage.

Results of noise characterization and reduction

At the beginning of this project, PSD analysis showed a spectral component at 50 Hz in all channels. This component corresponds to the power line, which is a common source of external noise. Figure 11 shows the power spectral density for channel 1, clearly evidencing a peak at 50 Hz with $50 \times 10^{-2} \text{ V}^2/\text{Hz}$ magnitude.

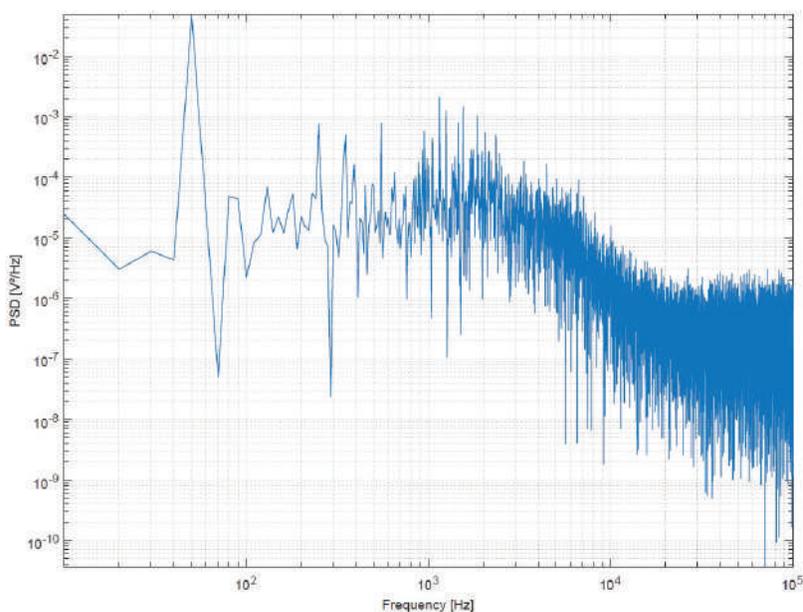


Figure 11. Power spectral density for channel 1. Source [8].

Coupling a printed sensor to the analog system increased the noise added by the power line. The reason behind this phenomenon is the antenna-like behavior by the sensor, thus capturing external electromagnetic noise. Therefore, an aluminum case was used to have an appropriate shield against external noise sources, and thus, reduce the effects of the power line and the antenna-like behavior by the sensor.



Figure 12. Modified aluminum case to contain analog system. Source [8].

Figure 13 shows the power spectral density of channel 1 when the analog system is introduced in the aluminum case. As can be seen, the 50 Hz spectral component has been successfully reduced. In the case of figure 13, the 50 Hz magnitude is now $3 \times 10^{-6} \text{ V}^2/\text{Hz}$. The same behavior was observed in all the other channels.

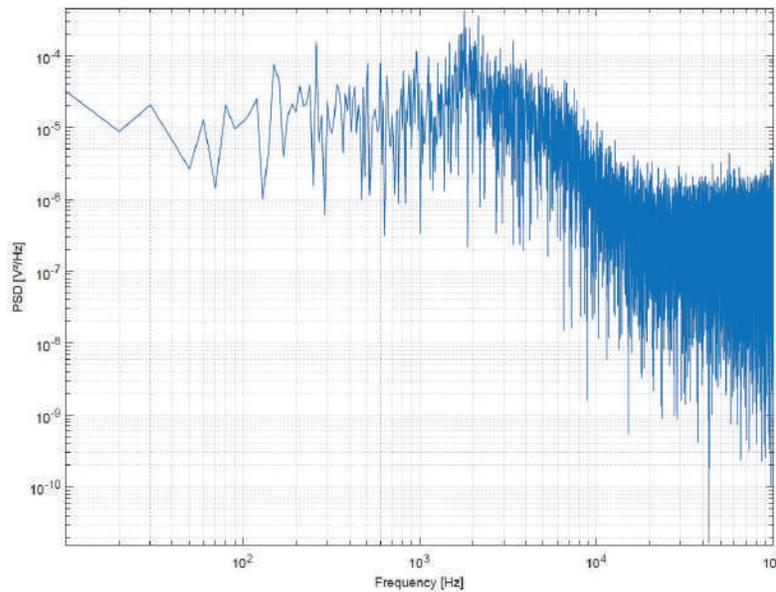


Figure 13. Power spectral density of channel 1 with the analog system inside the aluminum case as a shield. Source [8].

Tables 6 and 7 show noise characterization results after introducing the analog system to the aluminum case shown in figure 12. Each row represents a channel in order to compare the noise level depending on the feedback resistor position. Additionally, each table shows RMS value and peak-to-peak voltage results. In these experiments, silver nanoparticles were not used on the printed sensor, since the purpose was to evaluate only system noise in the absence of an input signal.

Table 6. Noise characterization in each channel of the analog system when there is not a printed sensor coupled to the circuit input. Source: [8].

Channel	RMS (mV)	Peak-to-peak voltage (mV)
1	0.209	1.849
2	0.196	1.817
4	0.199	1.640

Table 7. Characterization of noise in each channel of the analogue system when there is a printed sensor coupled to the circuit input. Source: [8].

Channel	RMS (mV)	Peak-to-peak voltage (mV)
1	0.210	1.705
2	0.196	1.962
4	0.198	1.624

In the absence of an input signal, tables 6 and 7 show that there are no significant differences in terms of noise addition as a result of the positioning of feedback resistors. The difference in RMS values and peak-to-peak voltage is negligible between each channel. Furthermore, shielding has reduced the noise added by the printed sensor, due to its antenna-like behavior. This is evident when comparing tables 6 and 7, which present minimal differences between their peak-to-peak and RMS values.

Noise comparison in power sources

Table 8 and 9 present the noise characterization for the three power rails used from both, the TENMA72-10495 desktop power supply and the designed power management system. Because the desktop source transforms AC into DC, the noise level is considerably higher than the LI-ION battery. In addition, LDOs reduce the noise produced by the Boost and Inverter switching sources. As a result, the power management system improves device sensitivity.

Table 8. RMS and peak-to-peak measurement of the noise in the TENMA72-10495 power supply. Source: [8].

Output voltage	RMS (mV)	Peak-to-peak voltage (mV)
3.3	1.747	28.744
5	1.648	29.146
-5	2.581	44.221

Table 9. RMS and peak-to-peak measurement of the noise in the power management system. Source: [8].

Output voltage	RMS (mV)	Peak-to-peak voltage (mV)
3.3	0.353	2.894
5	0.367	3.698
-5	0.186	2.332

Quantification of noise due to electrolyte

Table 10 shows the noise characterization of the electrode-electrolyte interface for each channel. Obtaining these values was possible only after shielding the circuit with the aluminum case, since the noise caused by the power line was superimposed on any other signal, interfering with the analysis.

Table 10. Noise added by the electrode-electrolyte interface on each available channel. Source: [8].

Channel	RMS (mV)	Peak-to-peak voltage (mV)
1	5.300	31.357
2	4.701	33.568
4	2.942	19.698

Frequency response

Table 11 includes cutoff frequency for each channel. Only channel 1 approaches the design criteria of the low-pass filter. A possible cause for the cutoff frequency breach in channels 2 and 4 is the degradation of some electronic components due to extensive circuit use in several tests over the last year. However, the cutoff frequency of all channels is in the order of KHz range, sufficient for the detection of silver nanoparticles.

Table 11. Cutoff frequency for each channel of the analog circuit. Source: [8].

Channel	Cutoff frequency (KHz)
1	3.2
2	2.0
4	2.4

Conclusions and / or recommendations

A power system meeting the power requirements of the silver nanoparticle sensor was designed and implemented. Moreover, this design is light enough to allow easy sensor transport. The operating time of the device is 11 hours and 30 minutes when using four channels. Furthermore, it allows increasing the number of channels to 60, with an operating time of 3 hours and 45 minutes. The new power source is more noise-free than the TENMA72-10495 source, thus improving silver nanoparticles detection.

External noise sources were identified and effectively reduced with the use of an aluminum shield. This shield also counteracts the antenna-like behavior of the printed sensor. Additionally, the aluminum case helped to quantify noise derived from the electrode-electrolyte interface. This also means that there is now a better scenario for future device testing.

Detecting silver nanoparticles can be satisfactorily made with the current cutoff frequency of the low-pass filters, since it is in the range of KHz. However, in a future system update, it is expected that all filters will meet the design criteria.

Noise characterization was made using printed sensors of different lengths. It was observed that by increasing length, added noise increased too. The longer the length, the printed sensor is more sensitive to small openings in the aluminum shield and to vibrations on the surface. Furthermore, the coupling between the input of the analog circuit and the printed sensor leaves room for oscillations between metal contacts. The effect of these oscillations is greater for longer sensors. Using short printed sensors and improving coupling with the analog circuit is recommended for future updates.

The design of the power management system can be implemented without LDOs at the expense of increasing system noise. However, this change in the end device may be considered if the extra noise does not affect the detection of silver nanoparticles. As a result, manufacturing costs would be reduced, since both LDOs and associated electronic components would not be used anymore.

Because this is an ongoing project, there are numerous assessments and improvements to be made. For example, unifying all systems (power management system, digital system and analog system) in a single PCB, increasing the number of channels, detecting silver nanoparticles, among others. However, the advances made in this project bring us closer to the creation of a portable device for the detection of silver nanoparticles in-situ.

Acknowledgment

Thanks to the School of Bioengineering at the Technical University of Munich for the space used for the development of this project. I also thank each member of the Neuroelectronics group at the Technical University of Munich, especially Prof. Dr. Bernhard Wolfrum and M. Eng. Leroy Grob for their supervision and support with which this project was possible.

References

- [1] K. Chitra and G. Annadurai. "Antibacterial activity of pH-dependent biosynthesized silver nanoparticles against clinical pathogen," *BioMed Research International*, vol. 6, 2014. URL <https://doi.org/10.1155/2014/725165>
- [2] K. J. Krause, A. Yakushenko and B. Wolfrum. "Stochastic on-chip detection of subpicomolar concentrations of silver nanoparticles," *Analytical Chemistry*, vol. 87, pp. 7321–7325, 2015. URL <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b01478>. PMID: 26079741.
- [3] F. Sambale et al. "Investigations of the toxic effect of silver nanoparticles on mammalian cell lines," *Hindawi*, vol. 2015, 2015. URL <https://doi.org/10.1155/2015/136765>
- [4] A. Mohammadi Bardbori, M. Korani, E. Ghazizadeh, S. Korani, and Z. Hami. "Effects of silver nanoparticles on human health," *European Journal of Nanomedicine*, vol. 7, pp. 51–62, 2015. URL <https://doi.org/10.1515/ejnm-2014-0032>
- [5] S. V. Sokolov, S. Eloul, E. Kätelhön, C. Batchelor-McAuley and R. G. Compton. "Electrode-particle impacts: a user's guide," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 19, pp. 28–43, 2017. URL <http://dx.doi.org/10.1039/C6CP07788A>.
- [6] J. Rapp. Compact sensitive Amplifier Circuit for the Detection of Nanoparticles Design und Evaluation einer Verstärkerschaltung für die Konzentrationmessung von Nanopartikel. Bachelor thesis, 2017.
- [7] D. W. Kumsa et al. "Electron transfer processes occurring on platinum neural stimulating electrodes: a tutorial on the i(Ve) profile," *Journal of Neural Engineering*, vol. 13, 2016. URL <http://stacks.iop.org/1741-2552/13/i=5/a=052001>
- [8] O. Soto. Optimization of an analogue circuit design for a portable nanoparticle detection device (POND) using printed sensors, graduation project to obtain the Bachelor's Degree in Electronics Engineering, Costa Rica Institute of Technology, Cartago 2018. URL <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10407>
- [9] P. G. Figueiredo, L. Grob, P. Rinklin, K. J. Krause and B. Wolfrum. "On-chip stochastic detection of silver nanoparticles without a reference electrode," *ACS Sensors*, vol. 3, pp. 93–9, 2018. URL <https://doi.org/10.1021/acssensors.7b00559>. PMID: 29276833.
- [10] L. Grob. Design and Implementation of a Miniaturised Bipotentiostat in Master thesis, 2015.
- [11] T. H. Shuang and R. G. Compton. "Nano-impacts: An electrochemical technique for nanoparticle sizing in optically opaque solutions," *ChemistryOpen*, vol. 4, pp. 261–263, 2015. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/open.201402161>
- [12] K. Kanokkanchana, E. N. Saw and K. Tschulik. "Nano-impact electrochemistry: Effects of electronic filtering on peak height, duration, and area," *ChemElectroChem*, vol. 5, 2018. URL <https://doi.org/10.1002/celec.201800738>
- [13] R. Mancini. *Op Amps for Everyone Design Reference*, 2001.
- [14] K. Armstrong, *Testing Conducted Emissions*, pp. 1–20, 2002.
- [15] Gamry Instruments. *The Faraday Cage: What Is It? How Does It Work?*, pp. 1–3, 2010.
- [16] A. Kumar and P. Madaan. *Top 10 EMC Design Considerations*. Cypress Semiconductor 4, 2011.
- [17] F. Hussien and B. Eckmann. *Guide to Choosing the Best DCDC Converter for Your Application*, 2016.
- [18] R. V. Roy. *Power Management Introduction*, pp. 1–11, 2014.
- [19] Texas Instruments. *Understanding Boost Power Stages in Switchmode Power Supplies: Application Report*, 1999.
- [20] Texas Instruments. *Understanding Buck Power Stages in Switchmode Power Supplies: Application Report*, 1999.
- [21] S. Valavan. *Understanding electromagnetic compliance tests in digital isolators*.
- [22] M. Day. *Understanding Low Drop Out (LDO) Regulators*, 2002.
- [23] K. V. Renterghem. *How to measure LDO noise*, 2015.
- [24] Keysight Technologies. *Spectrum Analysis Basics*, pp. 1–89.
- [25] J. C. Teel. *Understanding noise in linear regulators*, pp. 5–8, 2005.
- [26] A. Kay. *Operational Amplifier Noise: Techniques and Tips for Analyzing and Reducing Noise*, (january 2012), first edn.
- [27] A. Pini. *Analyze noise with time, frequency, and statistics*, 2017.[28]
- [27] S. W. Smith. *Statistics, "Probability and Noise. In technical Publishin"*, in *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing Statistics, Probability and Noise*, chap. 2, 664. San Diego, California, 1999.

Visualización de datos de movilidad en la Ciudad de México, Santa Fe

Sleyter Angulo-Chavarría¹

Angulo-Chavarría, S. Visualización de datos de movilidad en la ciudad de México, Santa Fe. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 203-214.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5494>



¹ Escuela de Ingeniería en Computación. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

Palabras clave

Ciudades inteligentes; rápida urbanización; incremento acelerado de la población, congestión vial; datos abiertos; patrones de comportamiento; sistema multi-pantalla.

Resumen

Las ciudades inteligentes emergen como una estrategia para poder combatir la rápida urbanización, el incremento acelerado de la población y el congestionamiento vial. Este artículo propone una solución basada en la recolección de datos abiertos, que nos permita encontrar variables o patrones de comportamiento, para luego ser analizados en un sistema multi-pantalla. A través de este sistema, se pueden generar distintos escenarios con datos reales como: el clima, eventos en la ciudad, fechas de pago; permitiendo a los tomadores de decisiones realizar análisis críticos de la situación expuesta.

Keywords

Smart cities; accelerated urbanization; rapid population growth; traffic jam; open data; behavior patterns; multi-screen system; decision makers.

Abstract

The smart cities are emerging as a strategy to mitigate the problems generated by accelerated urbanization, rapid population growth and traffic jam. This paper proposes a solution based on the collection of open data, which allows us to find variables or behaviour patterns, and then be analyzed in a multi-screen system. Using this tool, different scenarios can be generated with real data such as: weather, city events, payment days; allowing to decision makers to perform critical analyzes of the situation described.

Introducción

Actualmente, más de la mitad de la población mundial vive en áreas urbanas [5-7]. La migración de personas de áreas rurales a urbanas se prevé que siga en aumento en los próximos años. Ante esta situación se empiezan a crear una serie de problemas como dificultad de la gestión de residuos, escases de recursos, contaminación, enfermedades, congestión vial e infraestructuras deterioradas [8]. Otro tipo de problemas que existen son los relacionados con diferentes interesados, altos niveles de interdependencia, complejidad social y política. Convirtiendo los problemas de la ciudad en terribles y enredados [4,9,15,17]. Ante este panorama surge un problema de cómo las ciudades, las regiones circundantes y las áreas rurales pueden evolucionar hacia ecosistemas de innovación sostenibles, abiertos e impulsados por el usuario, para promover la investigación y experimentaciones futuras de servicios impulsados por el usuario y cómo pueden acelerar el ciclo de investigación, innovación y adopción en entornos reales.

El concepto de “Smart Cities” o ciudades inteligentes ha atraído una atención considerable en el contexto de las políticas de desarrollo urbano. Tecnologías como sistemas empujados y redes de bandas anchas han facilitado servicios electrónicos, los cuales son cada vez más importantes para el desarrollo urbano, mientras que las ciudades asumen cada vez más un papel crítico como impulsores de la innovación en áreas como la salud, la inclusión, el medio ambiente y los negocios.

Dichas problemáticas no son nada ajenas a la Ciudad de México, la cual tiene una población de 8.5 millones de habitantes. Donde destacan problemas de movilidad, generación de energía, contaminación, ordenamiento urbano [3]. Una de las zonas más afectadas por la problemática es Santa Fe, anteriormente esta zona era un relleno sanitario, el cual se convertiría con el pasar de los años en la zona económica – industrial más importante de la ciudad de México. El crecimiento de Santa Fe no fue planificado ni diseñado por lo que ha agravado el problema del congestionamiento vial.

Dentro de este documento se detallan cinco secciones, el capítulo dos menciona el problema que afecta la Ciudad de México, específicamente la zona de Santa Fe, cómo surgió la zona y fue desarrollándose; el capítulo tres se encuentran los retos y desafíos que tienen las ciudades inteligentes. En el capítulo cuatro, se trata de la solución implementada y por último conclusiones y comentarios que se obtuvieron en la elaboración del proyecto.

Santa Fe y su problemática vial

La ciudad de México es la capital de los Estados Unidos Mexicanos, la cual fue establecida como ciudad el 18 de noviembre de 1824 [10].

La ciudad de México ha ido creciendo a un ritmo sumamente acelerado y muchas veces sin planificación. Actualmente tiene una población que supera los 8 millones de habitantes y con una superficie que ronda los 1485 km², la cual se encuentra dividida en 16 delegaciones que conforman la ciudad. Las cuales son:

1. Álvaro Obregón
2. Azcapotzalco
3. Benito Juárez
4. Coyoacán
5. Cuauhtémoc
6. Cuajimalpa
7. Gustavo A. Madero
8. Iztacalco
9. Iztapalapa
10. Magdalena Contreras
11. Miguel Hidalgo
12. Milpa Alta
13. Tláhuac
14. Tlalpan
15. Venustiano Carranza
16. Xochimilco

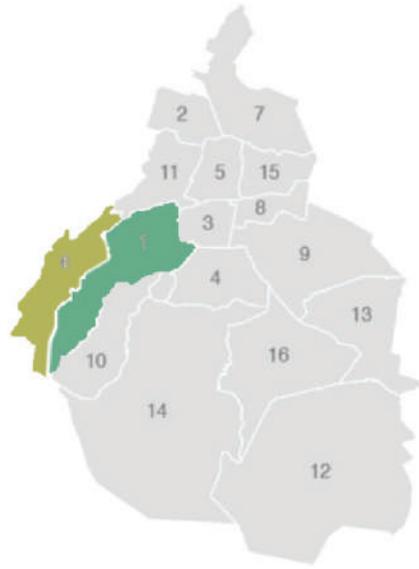


Figura 1. Delegaciones de la Ciudad de México.

La figura 1 muestra la división territorial de las delegaciones que conforman la Ciudad de México. La zona de Santa Fe se encuentra entre las delegaciones Álvaro Obregón (1) y Cuajimalpa (6):

“La zona de Santa Fe es un distrito financiero de la Ciudad de México, el cual se encuentra ubicado al lado de la Carretera Federal No. 15D México-Toluca y la autopista México-Toluca 134D.” [11].

La zona de Santa Fe fue hace 30 años una zona dedicada a la extracción y/o explotación de arena; con el crecimiento que tenía la industria constructiva en la Ciudad de México provoca la sobre explotación de las minas, lo que tuvo como consecuencia la alteración de la fisiografía, estabilidad de los terrenos, la topografía y el paisaje de la zona. Posterior a eso la zona es convertida en tiraderos o rellenos sanitarios.

A finales de la década de los ochentas se propone la creación de una “Zona Especial de Desarrollo Controlado (ZEDEC)”, la cual crea el Plan Maestro para el Desarrollo de Santa Fe y es cuando se aprovecha la compra de terrenos e inicia el proceso de construcciones, de forma paralela se encuentra la construcción de la Autopista México-Toluca, que de esta manera se empieza a ver el potencial y consolidación de la zona [11-13].

La zona empezó a crecer y con esto una serie de problemáticas comenzaron a surgir en la zona, principalmente por la falta de planificación y diseño a la hora de la construcción de la ciudad. Esto debido a que los desarrolladores tenían permitido un diseño individual y protagónico. Con esto surge nuevas problemáticas que afectan actualmente a la zona de Santa Fe.

En la actualidad, la zona de Santa Fe tiene el problema de insuficiencia de infraestructura para el transporte, esto se debe a la desarticulación de las áreas internas, generadas por las barreras físicas y naturales que existen en la zona. Además, se suma la ausencia de otros medios de transporte como el metro o metrobús; lo que ha provocado el fomento de utilizar el vehículo como medio de desplazamiento de personas, inclusive en distancias sumamente cortas.

La desarticulación de Santa Fe con el resto de la ciudad, y su relativa lejanía con la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, aunado a las condiciones del terreno (desniveles pronunciados y barrancas) y a los limitados accesos/salidas existentes, ha provocado que las personas tarden

hasta 5 veces más en sus recorridos. Se prevé que en los próximos años un incremento urbano en Santa Fe complique aún más el conflicto de movilidad ya existente.

La Encuesta Nacional de Movilidad y Transporte elaborada por el Instituto de Investigaciones Jurídicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en el año 2014, revela que la mayoría de los propósitos de un viaje es ir al trabajo (46.3%), seguido de adquirir un bien o servicio (19.1%). La figura 2 se muestra otras causas por las cuales las personas se desplazan de un lugar a otro [1].

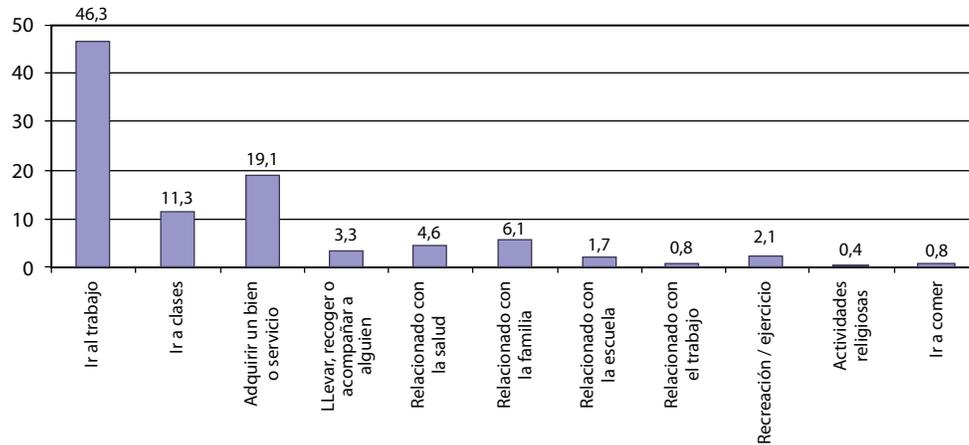


Figura 2. Propósitos de los viajes – sin considerar el regreso.

Sumado a los propósitos de viaje que tienen las personas, también se encuentra el periodo de duración de los viajes ronda los 43.6 minutos; dichas cifras también revelan que aumentan en zonas en específico como la parte norte del país. En la figura 3 se muestra la duración de los recorridos de acuerdo con el modo de transporte utilizado [1].

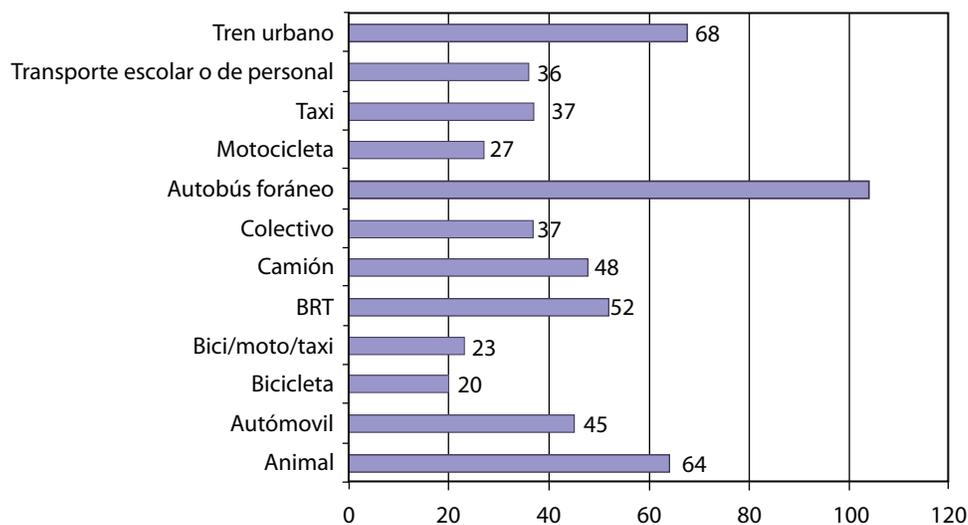


Figura 3. Tiempo de recorrido en viajes unimodales por modo de transporte.

Además, la forma de como los usuarios prefieren desplazar de un lugar a otro. La figura 4 nos muestra un gráfico de los principales medios de transporte utilizados en la ciudad de México para desplazarse.

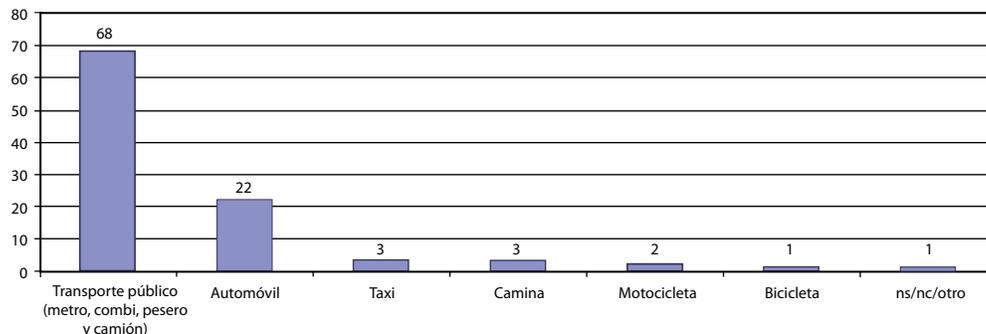


Figura 4. Principales medios de transporte utilizados para moverse en la ciudad (Porcentaje).

Con esas estadísticas proporcionadas la UNAM, es fácil identificar la problemática de la movilidad vial que existe en la Ciudad de México, además de los impactos económicos y ambientales que genera al país, como a sus habitantes. Recorridos que deberían de tardar una hora, dilatan hasta más de una hora con treinta y tres minutos de tráfico, que conlleva a que los ciudadanos presenten otros problemas como tensión, estrés, mal humor e inclusive otras enfermedades.

Desafíos y Retos Urbanos de una ciudad inteligente como México

Existen muchos desafíos y retos para implementar tecnologías de punta y crear ciudades inteligentes. Muchos de estos desafíos tienen que ver con aspectos o intereses políticos, sociales, ambientales, económicos y tecnológicos.

A. Intereses Político - Económicos

Existen grupos elitistas que controlan o tienen miedo de perder un “statu quo” permanecen resistentes a la integración y a compartir información necesaria para crear la infraestructura básica para las ciudades inteligentes.

B. Sector transporte

El transporte es una de las áreas que se debe desarrollar, ya que presenta problemas como: diseños de espacios compartidos, donde puedan coexistir distintos usuarios/actores de transporte (peatones, ciclistas, autobuses, entre otros). Implementación de semáforos inteligentes que permiten acortar el tiempo de espera de acuerdo con el volumen de vehículos. En cuanto al transporte público se puede ampliar (horarios y líneas) de acuerdo con las necesidades actuales de los usuarios [2].

C. Ambientales

Sensores que permitan el aprovechamiento al máximo de la luz solar o sensores en procesos de distribución de agua que permitan la reducción de pérdidas. Un diseño que permita una adecuada recolección de desechos y limpieza de alcantarillas.

D. Tecnología

La tecnología es un gran aliado en nuestra sociedad, pero es necesario tomar medidas con respecto a seguridad y privacidad en el Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things). En base a la seguridad es necesario aplicar políticas o diseñar sistemas que permitan asegurar que las operaciones no se vean afectadas o que la información de los usuarios no sea divulgada o difamada en ambientes distribuidos [14].

Solución implementada

Este proyecto nace con la finalidad de mejorar las rutas entre Miguel Ángel de Quevedo y Balderas hacia la zona de Santa Fe, dicha iniciativa busca que las personas disminuyan el tiempo de traslado entre sus hogares y lugares de trabajo mediante el uso de la tecnología.

El Tecnológico de Monterrey ha creado un proyecto estratégico denominado Red Nacional de Centros para la Toma de Decisiones. Esta red está compuesta por un conjunto de nodos donde cada uno de ellos existe una sala especialmente acondicionada para la toma de decisiones basada en evidencia. Esta sala es denominada Centro para la Toma de Decisiones y se caracteriza por su alta capacidad de despliegue inmersivo, donde un grupo de tomadores de decisiones pueden revisar escenarios que simulan un problema real. A través de los escenarios se logran modificar variables que representan cambios en escenarios futuros. De esta manera los tomadores de decisión pueden llegar a un consenso con base en la evidencia presentada.

El Centro para la Toma de Decisiones fue inaugurado en el Campus de la Ciudad de México en mayo 2015. Desde entonces se han realizado proyectos académicos y de investigación. En noviembre de 2016, se realizó un acuerdo de colaboración entre la Red Nacional de Centros para la Toma de Decisiones y el Laboratorio para la Ciudad de México. Este laboratorio es una entidad del gobierno de la Ciudad de México que busca mejorar los servicios ciudadanos a través de la tecnología. Uno de los objetivos de esta colaboración es el análisis de grandes volúmenes de datos para la propuesta de nuevos proyectos hacia la mejora de servicios ciudadanos en la Ciudad de México.

Es a través del Centro de Toma de Decisiones que se implementará la solución, la cual consiste en obtener los datos de los GPS que tiene cada uno de los autobuses y empezar un proceso de limpieza de datos, continuando con un análisis de los comportamientos que tienen los datos (ejemplo: cuando hay un cambio en las condiciones del tiempo, se puede presentar un patrón distinto en los datos). Una vez encontrados dichos patrones, se deberá implementar una solución o propuesta visual, la cual es analizada en el Teatro de Toma de Decisiones.

A. Extracción de los datos

El proceso de extracción de datos es realizado por el Laboratorio de la Ciudad de México, el cual facilita un archivo Excel que contiene datos como: Placa, Fecha, Día de la semana, Tiempo, Grupo de Vehículo, Nombre del Territorio, Ubicación, Geocodificación inversa, Distancia de viaje (km), Distancia de Ubicación (Km), Mudanza tipo estatal, Dirección, Dirección de grado, Velocidad (Km/h), Latitud y Longitud.

B. Limpieza y estandarización de los datos.

De los datos suministrados por Laboratorio de la ciudad de México, son necesarios los siguientes: Placa, Fecha, Tiempo, Nombre del Territorio, Latitud y Longitud. Por lo cual el resto de datos no utilizados son descartados para no entorpecer el análisis de los mismos.

Se debe estandarizar las fechas, esto porque el archivo Excel brindado, no contiene el formato "timestamp" y este tipo formato es necesario para ser utilizado, por lo cual se realiza una unión entre los campos de fecha y tiempo.

Se calcula la distancia a través de la fórmula de Harvesine [16], la cual consiste en sacar la diferencia entre dos coordenadas georeferenciadas utilizando el radio de la tierra, para esta fórmula se considera que la circunferencia de la tierra es esférica. A continuación, se muestra la fórmula de Harvesine que se utiliza:

$$a = \left[\sin\left(\frac{\Delta\text{latitud}}{2}\right) \right]^2 + \cos(\text{latitud}_1) \cdot \cos(\text{latitud}_2) \cdot \left[\sin\left(\frac{\Delta\text{latitud}}{2}\right) \right]^2 \quad (4.1)$$

$$c = 2 \cdot \arctan\left(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}\right) \quad (4.2)$$

$$\text{dist} = R \cdot c \quad (4.3)$$

Donde:

- *dist* es la diferencia de la distancia entre dos puntos.
- *a* es la variable que se usa para el resultado de aplicar la fórmula de Harvesine, puede utilizar cualquier otra letra.
- $\Delta\text{latitud}$ es la diferencia entre la latitud_2 y latitud_1 .
- $\Delta\text{longitud}$ es la diferencia entre la longitud_2 y longitud_1 .
- *R* es el radio de la tierra, el cual es una constante de 6356.752 km aproximadamente
- *c* cálculo para tener el resultado en grados en vez de radianes
- latitud_1 es la latitud del primer punto
- latitud_2 es la latitud del segundo punto
- longitud_1 es la longitud del primer punto
- longitud_2 es la longitud del segundo punto

La distancia es dada en kilómetros y se utiliza además para el cálculo de las velocidades de cada uno de los registros en las placas. Para este cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$v = \frac{d}{t} \quad (4.3)$$

Donde:

- *v* es la velocidad
- *d* es la distancia, se utiliza la calculada anteriormente.
- *t* es el tiempo, el cual es calculado en cada registro, a través de una diferencia entre el registro anterior y el actual.

De esta forma se termina de realizar la limpieza y estandarización de los datos.

C. Visualización en un sistema multi-pantalla

Los datos procesados anteriormente, son cargados a la herramienta “Tableau Public”, esta herramienta reconoce de forma automática los tipos de datos. Una vez que los datos han sido cargados, se procede a trabajar con los datos para que a través de n pantallas, se pueda comenzar a llevar a cabo un proceso de análisis a partir de un caso de estudio con datos reales.



Figura 5: Recorrido de los camiones

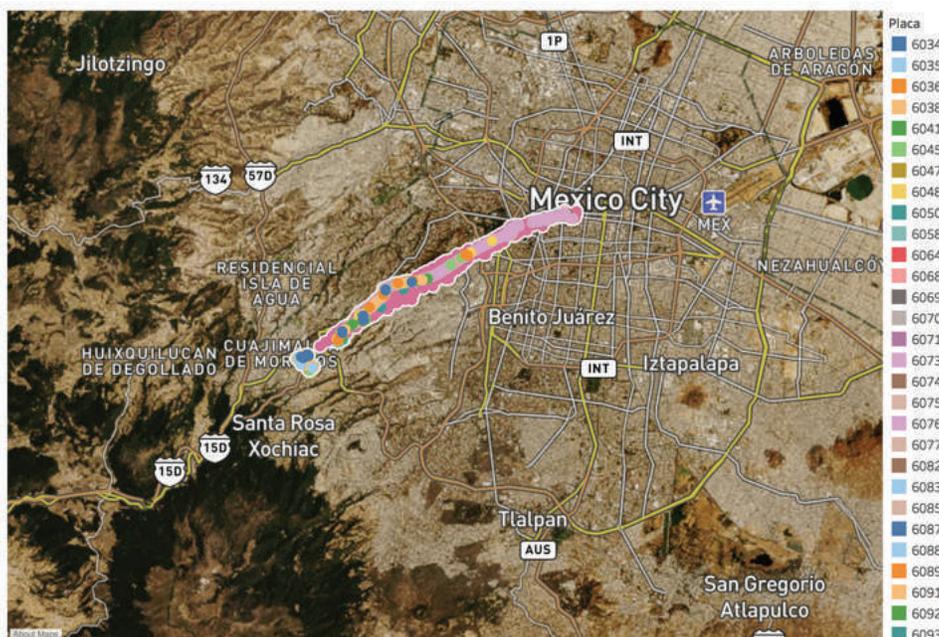


Figura 6: Recorrido Satelital de los camiones

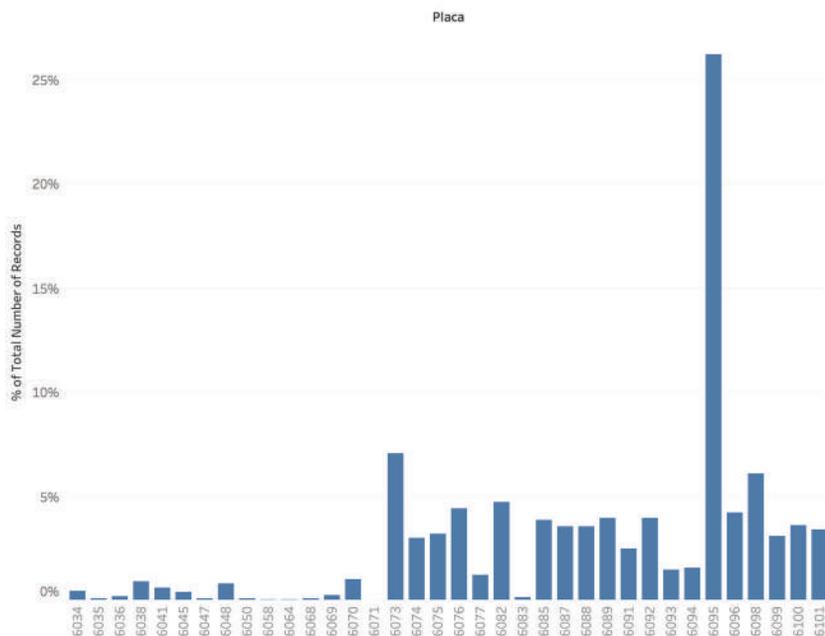


Figura 7: Placas más utilizadas

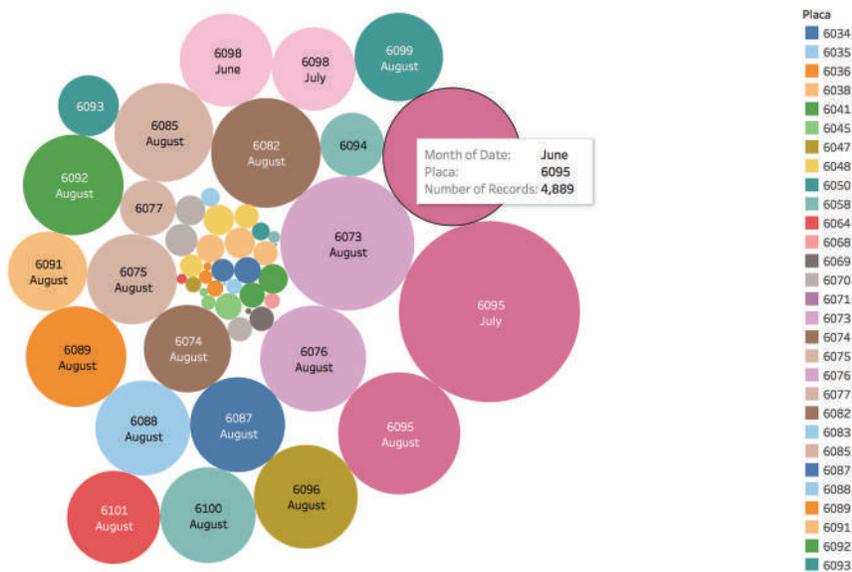


Figura 8: Placas más utilizadas por mes

La figuras de la 5 a la 8, muestran los datos que empiezan a ser trabajados de manera visual y que permite, en un sistema multi-pantalla iniciar un pensamiento crítico analizando los distintos escenarios con datos reales en un momento deseable para llegar a un acuerdo en la toma de decisiones.

D. Toma de Decisiones

La Toma de Decisiones es la parte más importante, esto debido a que personas van a recibir una información tratada previamente, que le permita al usuario a través de un despliegue inmersivo de datos realizar un análisis crítico y profundo de la situación experimentada.

Una vez analizada toda la información los tomadores de decisiones empiezan a sacar sus comentarios, dudas y conclusiones para así llegar a una respuesta consensuada.

V. Conclusiones y Comentarios

Dentro de las conclusiones se puede mencionar que a través de grandes volúmenes de datos obtenidos de distintos dispositivos involucrados en nuestra vida cotidiana podemos analizar datos e información para la realización de procesos que optimicen y mejoren la calidad de vida de las personas. Otras conclusiones obtenidas fueron las siguientes:

- Se logra detectar que, en la Ciudad de México, conforme se acercan las fechas de pago (días 15 y 30 de cada mes), la utilización de transporte va aumentando considerablemente. Este efecto no solo incluye al transporte público, sino que también los vehículos personales/privados de los ciudadanos, lo que incrementa el congestionamiento vial.
- Otro factor que se logra detectar es que hay un mal uso o aprovechamiento de los autobuses debido a que son utilizados unos más que otros. Hubo autobuses que fueron más utilizados en un mes que otros.
- Se puede implementar un mejor control a través de una aplicación que recoja datos e información de controladores o chequeadores que se encuentren en paradas de buses que permitan ver si es necesario utilizar mayor o menor cantidad de autobuses e incluso si hay eventos en la ciudad que generen un conglomerado de personas fuera de lo normal, que saturen el servicio.
- Se logra detectar que la entrada y salida de las personas a sus respectivos trabajos o centros de estudio hace un incremento en el transporte público de forma considerable.
- Se recomienda la implementación de un sistema que permita traer los datos de manera directa de Laboratorio de la Ciudad de México, que permita una inserción de forma directa a la plataforma de Tableau Public, con la finalidad que los datos sean procesados más rápidos.

Referencias

- [1] J. Aguirre Quezada. (2017). Movilidad urbana en México. Retrieved from <http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/3391/Cuaderno%20de%20investigaci%C3%B3n%2030%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [2] América Retail. (2018). México: Desafíos de la movilidad inteligente. Retrieved from (2018). Retrieved from <https://www.america-retail.com/mexico/mexico-desafios-de-la-movilidad-inteligente/>
- [3] J. Arteaga. (2018). 6 problemas ambientales y sociales que colapsarán al DF • Forbes México. Retrieved from <https://www.forbes.com.mx/6-problemas-ambientales-y-sociales-que-colapsaran-al-df/>
- [4] J. Borja. (2007). Counterpoint: Intelligent cities and innovative cities. Universitat Oberta de Catalunya (UOC) Papers: E-Journal on the Knowledge Society, 5. Available from <http://www.uoc.edu/uocpapers/5/di/eng/mitchell.pdf>.
- [5] S. Dirks, C. Gurdgiev, & M. Keeling. (2010). Smarter Cities for Smarter Growth: How Cities Can Optimize Their Systems for the Talent-Based Economy. Somers, NY: IBM Global Business Services. Available from <ftp://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/en/gbe03348usen/GBE03348USEN.PDF> .

- [6] S. Dirks, & M. Keeling. (2009). A Vision of Smarter Cities: How Cities Can Lead the Way into a Prosperous and Sustainable Future. Somers, NY: IBM Global Business Services. Available from ftp://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/en/gbe0322_7usen/GBE03227USEN.PDF.
- [7] S. Dirks, M. Keeling, & J. Dencik. (2009). How Smart is Your City?: Helping Cities Measure Progress. Somers, NY: IBM Global Business Services. Available from <ftp://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/en/gbe03248usen/GBE03248USEN.PDF>
- [8] B. Johnson. (2008). Cities, systems of innovation and economic development. *Innovation: Management, Policy & Practice*, 10(2-3), 146-155.
- [9] J. Marceau. (2008). Introduction: Innovation in the city and innovative cities. *Innovation: Management, Policy & Practice*, 10(2-3), 136-145
- [10] G. México. (2017). Gobierno. [online] Portal Ciudadano de la CDMX. Disponible en: <http://www.cdmx.gob.mx/gobierno> [Accedido 28 nov. 2017].
- [11] Soluciones Integrales en Tránsito y Transporte S.A de C.V (2017). Plan Maestro de Movilidad Urbana de Santa Fe. Tomo I Resumen Ejecutivo.
- [12] Soluciones Integrales en Tránsito y Transporte S.A de C.V (2017). Plan Maestro de Movilidad Urbana de Santa Fe. Tomo II Informe de Campo.
- [13] Soluciones Integrales en Tránsito y Transporte S.A de C.V (2017). Plan Maestro de Movilidad Urbana de Santa Fe. Tomo III Diagnóstico.
- [14] C. Spera. (2016). Los desafíos de las ciudades inteligentes. Retrieved from <https://www.cronista.com/columnistas/Los-desafios-de-las-ciudades-inteligentes-20160113-0004.html>
- [15] D. Toppeta. (2010). The Smart City Vision: How Innovation and ICT Can Build Smart, “Livable”, Sustainable Cities. The Innovation Knowledge Foundation. Available from https://inta-aivn.org/images/cc/Urbanism/background%20documents/Toppeta_Report_005_2010.pdf
- [16] G. Van Brummelen. (2017). Heavenly Mathematics. [online] Google Books. Disponible en: https://books.google.co.cr/books?id=0BCCz8Sx5wkC&pg=PR7&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false [Accedido 5 nov. 2017].
- [17] D. Washburn, U. Sindhu, S. Balaouras, R. A. Dines, N. M. Hayes, & L. E. Nelson. (2010). Helping CIOs Understand “Smart City” Initiatives: Defining the Smart City, Its Drivers, and the Role of the CIO. Cambridge, MA: Forrester Research, Inc. Available from https://s3-us-west-2.amazonaws.com/itworldcanada/archive/Themes/Hubs/Brainstorm/forrester_help_cios_smart_city.pdf

Modificación de librería de control para mejorar interacción de robot con el entorno

Control Library Modification To Improve Robot Interaction With Environment

José Antonio Ruiz-Jara¹

Bajo la tutela de: Martín Naya Varela², Francisco Bellas Bouz³ y Esteban Arias Méndez⁴

Ruiz-Jara, J. Modificación de librería de control para mejorar interacción de robot con el entorno. *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 215-226.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5495>



- 1 Estudiante de Ingeniería en Computación. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: jruizj6@gmail.com.
- 2 Investigador en el Grupo Integrado de Ingeniería de la Universidade da Coruña. España. Correo electrónico: martin.naya@udc.es
- 3 Profesor titular en la Universidade de Coruña. España. Correo electrónico: francisco.bellas@udc.es
- 4 Profesor titular en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: esteban.arias@itcr.ac.cr

Palabras Clave

Interacción Humano-Robot; Visión Artificial; Sensorización; Robot Humanoide; Robot Poppy, Pypot.

Resumen

Uno de los objetivos del proyecto Poppy es hacer la plataforma accesible para principiantes y expertos por igual, permitiendo que los robots puedan ser utilizados en múltiples ámbitos, entre ellos investigación y enseñanza.

Durante el trabajo con la librería de control Pypot, encargada de controlar los robots Poppy, se han detectado varias limitaciones existentes que se pretenden subsanar. Una de las más importantes, a nivel del trabajo de investigación planteado, es la poca cantidad de sensores a los que se puede acceder mediante ésta.

Gracias a que tanto el software como el hardware son públicos y abiertos para que los usuarios puedan ajustarlos a sus necesidades, se pretende realizar una serie de modificaciones a la librería de control, para poder utilizar el robot humanoide Poppy en el proyecto de investigación. Uno de los principales requerimientos es que la librería sea capaz de utilizar y comunicarse con los nuevos sensores y actuadores añadidos al robot.

Finalmente, en un periodo de cuatro meses de trabajo, se han podido finalizar exitosamente mejoras al módulo procesado de imagen, comunicación con placas IMU y Arduino, implementación de reconocimiento facial, sensores de proximidad en simulación, uso de motores personalizados en simulación, ejecución simultanea de instrucciones en múltiples robots, despliegue de animaciones mediante la pantalla LCD, y un módulo que permite combinar más de una funcionalidad para poder crear comportamientos.

Keywords

Human-Robot Interaction; Artificial Vision; Sensorization; Humanoid Robot; Poppy Robot; Pypoy.

Abstract

One of the objectives of the Poppy Project is to offer a platform accessible to beginners and experts, allowing robots to be used in multiple fields, including research and teaching.

During the work with Pypot, the control library in charge of controlling the Poppy robots, several limitations have been detected that are needed to be fixed. One of the most important problem related to the research work that is going to be done, is the small number of sensors that it can access.

Thanks to the fact that both software and hardware are open source and the users can adjust them to their needs, a series of modifications are intended to be done on the control library, to use the humanoid robot Poppy in the research project. One of the main requirements is the capacity to use via Pypot the new sensors and actuators added to the robot.

Finally, in a period of four months of work, the library got improvements in the image processing module, communication with IMU and Arduino boards, implementation of facial recognition, use of proximity sensors in simulation, use of custom motors in simulation, simultaneous execution of instructions in multiple robots, display of animations through the LCD screen, and a behavior controller that allows combining more than one functionality to create behaviors.

Introducción

Durante muchos años, los robots humanoides han sido principalmente utilizados para estudiar y simular comportamientos del ser humano [1] [2], a tal punto que existen robots que han sido llevados fuera de los límites del planeta [3]. Siguiendo la línea de investigación de los robots humanoides, dentro del Grupo Integrado de Ingeniería de la Universidad de Coruña, el investigador Martín Naya estudia la influencia de la morfología del robot en el aprendizaje y adaptación a su entorno, a una tarea específica, o en la interacción del robot con el ambiente en el que se encuentra.

El robot seleccionado para realizar la investigación es el robot humanoide Poppy, creado por el equipo Flowers de los laboratorios INRIA en Francia. Las principales características de este robot son el código abierto de su software y el acceso a los usuarios a los esquemas del hardware para que puedan crear su propio robot. El robot Poppy está inspirado en aspectos básicos de la morfología humana, enfocándose principalmente en una estructura que permita simular los movimientos humanos de una forma más natural y fluida [4].

Pypot [5] es la librería de código abierto desarrollada con la finalidad de poder controlar los robots de la familia Poppy y cualquier otro robot que haga uso de motores dynamixel. El robot Poppy dispone además de un modelo simulado al cual la librería se comunica mediante el API remoto del simulador V-REP.

No obstante, a pesar de que la librería Pypot permite trabajar con una versión simulada del robot y con el robot real, durante el trabajo con esta librería de control, se han detectado varias limitaciones existentes que se pretenden subsanar. Una de las más importantes, a nivel del trabajo de investigación que se planea llevar a cabo, es la poca cantidad de sensores a los que se puede acceder mediante ésta, lo cual es entendible debido a que es una librería de uso general. Gracias a que el proyecto Poppy es de código abierto, es posible agregar a la librería aquellos sensores y actuadores que sean necesarios para que el robot pueda interactuar de una mejor manera con el usuario y su entorno.

Tomando como base el problema descrito anteriormente, la solución planteada para solventarlo consiste en la ampliación, flexibilización y mejora de la librería de control Pypot, principalmente en los módulos de sensorización, actuadores y comunicación con el API Remoto del simulador V-REP, con la finalidad de dotarla de nuevas funcionalidades para su aplicación concreta con el robot humanoide Poppy, tanto en el entorno de simulación como en el robot real.

Tecnologías utilizadas

Debido a que el trabajo realizado se enfocaba principalmente en el desarrollo de nuevas funcionalidades para el robot, las tecnologías utilizadas fueron principalmente herramientas de software. La principal tecnología utilizada es el lenguaje de programación Python, el lenguaje interpretado y de alto nivel [6] en el cual está desarrollada la librería Pypot, la cual es la librería encargada de controlar todos los aspectos del robot, desde los motores hasta los sensores y actuadores adicionales. Cabe destacar que se ha utilizado la variante de OpenCV para Python, en las tareas que involucran operaciones con matrices, específicamente en el manejo de imágenes. Adicionalmente se ha utilizado el lenguaje de programación compatible con las placas Arduino, para el desarrollo de un protocolo de comunicación que será descrito más adelante.

Otra herramienta de software utilizada es el simulador V-REP. Este framework de simulación permite la creación de escenas en las cuales contengan modelos de robot y sus respectivos sensores y actuadores, con los cuales se puede interactuar mediante API para clientes remotos desarrollados en algunos lenguajes de programación entre los cuales Python se encuentra incluido [7].

Además de las herramientas de software, se ha utilizado un robot humanoide Poppy equipado con sensores capacitivos, micrófonos, altavoz, pantalla LCD táctil y una placa Arduino. A lo largo del proceso de desarrollo se utilizó una Odroid UX4 y una Raspberry Pi 3 como placa base del robot, en la cual se ejecuta la librería Pypot para controlar al robot.

Sensores y actuadores agregados

Uno de los principales puntos de la librería a mejorar, era la capacidad de poder controlar y utilizar sensores y actuadores externos, distintos a los ya integrados originalmente en la librería. Con la finalidad de dotar al robot con las capacidades básicas necesarias en las tareas de investigación, se tomó la decisión de agregar la capacidad de interactuar con los componentes que serán descritos a continuación.

a. Sensor de vision

Los sensores de visión [8] son sensores simulados, propios del simulador V-REP, que permiten la visualización de aquellos objetos renderizables en la escena, que se encuentren dentro de su campo de visión. El papel de los sensores de visión en la librería es proveer a un robot simulado las mismas funcionalidades que se pueden llevar a cabo con las cámaras de un robot físico, las cuales son utilizadas mediante OpenCV.

Si bien las cámaras físicas y los sensores de visión tienen métodos distintos para obtener una imagen, a nivel de código se aprovechan las bondades de la abstracción para que el usuario final sea capaz de utilizar ambos elementos indistintamente (ver figura 1). Esta implementación permite que sea más sencillo agregar un nuevo tipo de sensor de visión o cámara que pueda utilizar las funcionalidades existentes.

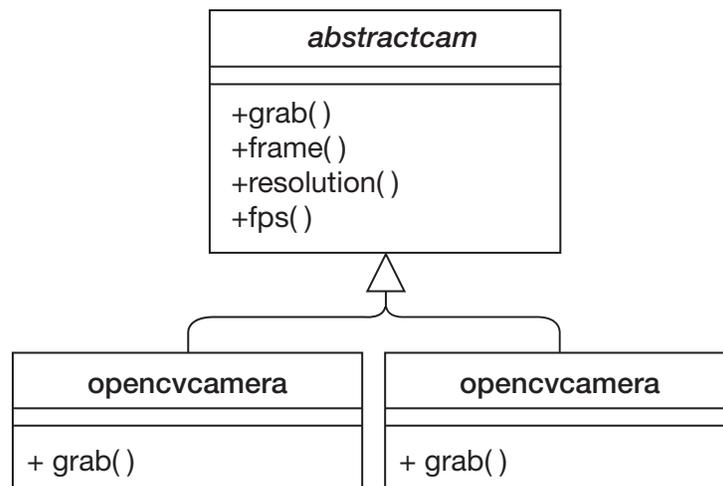


Figura 1. Implementación de clase abstracta para cámaras.

Las cámaras en general ya sean físicas (mediante OpenCV) o simuladas (sensor de visión), pueden ser declaradas en el archivo de configuración, el cual se detallará más adelante, indicando el tipo de cámara (física o simulada), cantidad de imágenes por segundo, resolución y el índice de la cámara (en caso de que exista más de una cámara física). Una vez declaradas en dicho archivo de configuración, podrán ser accedidas directamente desde la clase robot que se haya inicializado.

b. Sensor de proximidad

De igual manera que los sensores de visión, los sensores de proximidad [9] son sensores simulados que pueden detectar objetos en una escena, siendo utilizados como sensores ultrasónicos o infrarrojos entre otros. Este tipo de sensores solo está disponible para ser utilizado dentro de un robot simulado. Los sensores de proximidad permiten identificar si existen objetos dentro del rango de detección, la ubicación del objeto con respecto al centro del sensor, el *handler* del objeto detectado y el tamaño de la superficie detectada. Estos sensores deben ser declarados en el archivo de configuración para su posterior utilización mediante el objeto robot inicializado.

c. Motores simulados

Aprovechando que la funcionalidad existente para el control de motores es capaz de utilizar los motores físicos predeterminados del robot y los motores virtuales predefinidos en el esquema del robot simulado, se ha realizado una pequeña modificación que permitiera utilizar motores personalizados agregados a una escena en el simulador. Gracias a esto, es posible controlar objetos *joints* como si fuese un motor más dentro del esquema del robot y que no necesariamente tengan el mismo patrón de movimiento que los predefinidos. Ver ejemplo en figura 2.

```
"L_shoulder_y": {  
  "offset": 90.0,  
  "type": "MX-28",  
  "id": 41,  
  "angle_limit": [  
    -180.0,  
    150.0  
  ],  
  "orientation": "direct"  
},  
"L_arm_z_extension": {  
  "offset": 0.0,  
  "type": "simulated",  
  "id": 98,  
  "angle_limit": [  
    0.0,  
    1.0  
  ],  
  "orientation": "direct"  
},
```

Figura 2. Ejemplo de definición de motor simulado en archivo de configuración.

Los nuevos motores deben ser especificados en el archivo de configuración, con sus respectivos parámetros personalizados.

d. Unidad de medición inercial

Una Unidad de Medición Inercial, IMU según sus siglas en inglés, es un dispositivo electrónico que permite obtener mediciones de aceleración, orientación, magnetismo entre otros. Es utilizado principalmente en tareas de estabilización y navegación [10]. Se ha dotado a la librería con la capacidad de utilizar una *9DOF Razor IMU* mediante una clase que emplea comunicación USB Serial, para poder obtener datos de acelerómetro, giroscopio y magnetómetro desde la IMU. Desde el archivo de configuración se puede definir la frecuencia de comunicación y el puerto a utilizar.

e. Placa arduino

El uso de una placa Arduino viene a reducir la carga de trabajo que tendría la placa base del robot, ya sea una placa Odroid o una Raspberry Pi, al ser la encargada de las tareas que involucren el manejo de actuadores o sensores analógicos. Para la actual etapa de desarrollo se implementaron los respectivos métodos que permitan enviar señales altavoces y obtener datos desde sensores capacitivos, micrófonos. A su vez, se han definido las bases para enviar mensajes que muevan los motores y obtener la posición actual de estos. Los motores que sean agregados a una placa Arduino serán completamente independientes a los que se encuentran en el robot directamente, por lo cual tampoco deberán ser declarados en el archivo de configuración.

Una vez cubierta la comunicación interna entre la Arduino y sus respectivos dispositivos, se implementó un protocolo de comunicación, para poder enviar mensajes bidireccionales entre la placa base del robot hasta la placa Arduino. Dicho protocolo hace uso de la comunicación mediante USB Serial.

En este protocolo de comunicación, la placa Arduino es la encargada de enviar mensajes de estado, los cuales contengan la información actual de los micrófonos, sensores capacitivos y posición de los motores. La frecuencia en la que se envía el mensaje de estado es parametrizable y que puede ser modificada por el usuario. La placa base del robot, es la encargada de recibir los mensajes de estado y almacenar los valores de los datos recibidos para su posterior uso. Además de recibir los mensajes, la placa base puede enviar mensajes para configurar la frecuencia de mensajes de estado, reproducir un sonido y mover motores. Ambas placas envían un mensaje ACK luego de hacer recibido exitosamente un mensaje.

Cuadro 1. Formato de mensaje entre placa base y placa Arduino

Cabecera. (1 byte)	Tipo mensaje (1 byte)	Tamaño de datos (1 byte)	Checksum cabecera (1 byte)	Datos. (Variable)	Checksum datos. (1 byte)
-----------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------------	----------------------	-----------------------------

En el cuadro 1 se puede observar la estructura definida para los mensajes en el protocolo de comunicación. La cabecera del mensaje indica que en ese punto inicia la secuencia de datos que ha sido enviada o recibida.

El tipo de mensaje hace referencia al tipo de mensaje que desea transmitir. Cada mensaje tendrá un código asignado que permitirá identificarlo. El checksum de la cabecera servirá para verificar que se ha recibido una cabecera de mensaje válida.

El tamaño de datos indica cuantos bytes deberán ser leídos en el sector de datos, antes de leer el checksum de estos. El tamaño de los datos variará en función al mensaje enviado.

```
def loop():
    while recibir_mensajes:
        byte_leido = obtener_byte()
        if byte_leido is not None:
            verificar_inicio_cabecera(byte_leido)
            buffer_cabecera.append(byte_leido)
            if buffer_cabecera_lleno():
                if (es_valido_checksum_cabecera()
                    and
                    es_valido_tipo_message()):
                    leer_y_validar_datos_mensaje()
                    procesar_mensaje()
                    reiniciar_buffer()
```

Figura 3. Pseudocódigo de método de lectura de mensajes.

En la figura 3 se puede observar un ejemplo del método de recepción de mensajes, el cual se encarga de verificar que ha recibido un mensaje válido verificando en primera instancia la cabecera del mensaje, y posteriormente recibiendo los datos del mensaje y procesándolo si los datos son válidos.

Funcionalidades implementadas

a. Acceso a funciones del API Remoto del Simulador V-REP

La librería Pypot hace uso de distintas funciones y métodos del API remoto del simulador V-REP para poder controlar la escena y objetos dentro de una simulación, sin embargo, muchas de esas funcionalidades no pueden ser accedidas directamente por el usuario, por lo que es necesario importar tanto el API de V-REP como Pypot en los scripts de Python.

Dicha limitación fue considerada como uno de los puntos a mejorar; acceder a todo desde un mismo punto, en este caso Pypot.

Entre las funcionalidades que fueron añadidas para un acceso directo desde Pypot se puede encontrar:

- Controles de escena: iniciar, pausar, detener, reiniciar.
- Cambiar simulación a modo asíncrono
- Cambiar simulación a modo síncrono. Este modo bloquea la escena hasta recibir la señal para continuar con el siguiente paso en la simulación.
- Enviar señal para ejecutar el siguiente paso en una simulación en modo síncrono.
- Obtener datos desde sensores de visión y sensores de proximidad

b. Inicializar sensores desde archivo de configuración

La librería Pypot cuenta con la funcionalidad de cargar la configuración de un robot mediante un archivo JSON, el cual indique los diferentes controladores, sensores, grupos de motores y motores que serán utilizados. A dicha funcionalidad se le han realizado los cambios para que sea compatible con robots simulados, pues originalmente la librería solo permitía especificar un archivo de configuración a la hora de inicializar un robot físico. Los nuevos sensores agregados son compatibles con esta funcionalidad, por lo que pueden ser declarados directamente en el archivo de configuración para su posterior uso en el robot (ver figura 4).

```
"sensors":{
  "head_camera": {
    "type": "VrepVisionSensor",
    "fps": 25
  },
  "frontal_proximity_sensor": {
    "type": "ProximitySensor"
  }
},
"sensors":{
  "imu_sensor": {
    "type": "IMU"
  },
  "top_camera": {
    "type": "OpenCVCamera",
    "index": 0,
    "fps": 20.0,
    "resolution": [
      320,
      240
    ]
  }
}
```

Figura 4. Ejemplo de sensores en archivo de configuración.

c. Filtado y detección de objetos mediante de objetos mediante la cámara

La segmentación de una imagen es la etapa que, en los sistemas de visión artificial, se realiza luego de la adquisición y preprocesamiento de la imagen [11]. Entre las modificaciones añadidas a la librería, existen algunas funcionalidades propias de un sistema de visión artificial, como por ejemplo un módulo de segmentación de imágenes, que incluye el filtrado de color en una imagen obtenida desde la cámara. El filtrado de color elimina aquellos segmentos que se encuentren fuera de un rango de colores parametrizable, con tal de eliminar información irrelevante para el usuario (ver figura 5).

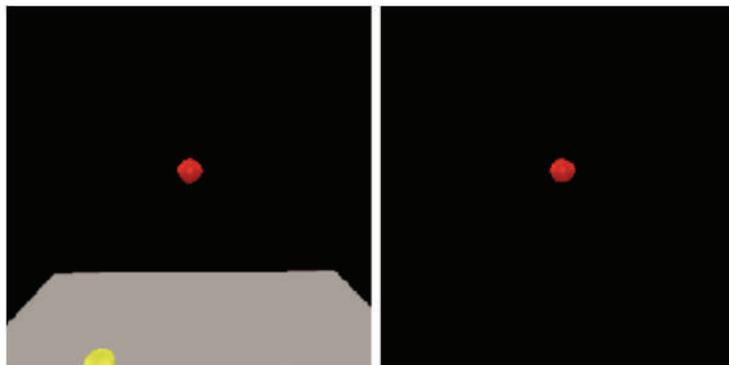


Figura 5. Resultado de filtro aplicado, dentro del rango de color rojo.

Otra de las funcionalidades agregadas es la detección de objetos y la obtención de perímetro, centro y área de dichos objetos. Si bien se puede utilizar en una imagen recién obtenida, se pueden obtener mejores resultados si se utiliza en imágenes que hayan pasado por un filtro de color (ver figura 6). En la implementación del algoritmo, se ha decidido ignorar los objetos que tengan área igual a cero, pues son considerados como ruido en el tipo de imágenes que se van a procesar.

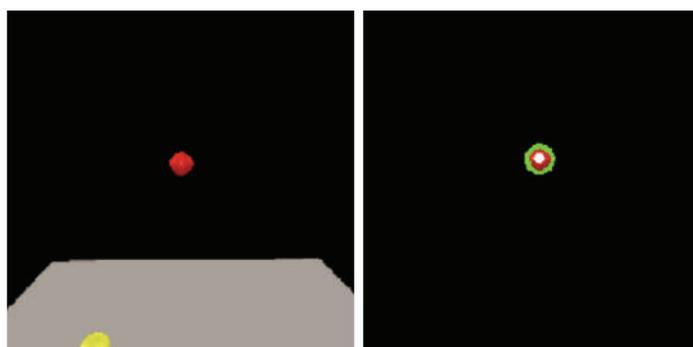


Figura 6. Comparación entre imagen original e imagen obtenida luego de utilizar la función de detectar objetos.

d. Reconocimiento facial

Se ha agregado un módulo de reconocimiento facial, el cual utiliza una librería externa que mediante el uso de *deep learning* permite reconocimiento facial [12].

El flujo de ejecución de la implementación desarrollada involucra encontrar rostros en la imagen obtenida desde la cámara (utilizando un clasificador *Haar Cascade* de OpenCV entrenado

para detectar rostros), para luego recortarlo y analizarlo con la librería externa para realizar el reconocimiento.

Debido a que las placas utilizadas no tienen un gran poder de procesamiento, se ha decidido realizar algunas optimizaciones a la hora de analizar la imagen:

- Se reduce el tamaño de la imagen, en base a un factor de reducción parametrizable (por defecto se reduce a $\frac{1}{4}$ del tamaño original).
- Se recorta la imagen para obtener una nueva imagen la cual solo contenga el rostro detectado, y finalmente se analiza para determinar si es un rostro conocido o no.
- Dado que el video que se obtiene desde la cámara en realidad son un conjunto de imágenes que reciben una determinada cantidad de veces por segundo, el proceso de detección y reconocimiento se realiza a 1 de cada 2 imágenes obtenidas.

Existen dos formas de entrenar la red encargada del reconocimiento facial: mediante rostros encontrados en la cámara o desde un directorio de imágenes indicado por el usuario. Como resultado del entrenamiento se genera un archivo, que podrá ser utilizado para inicializar la red de reconocimiento facial.

e. Visualización de animaciones

Mediante el desarrollo de la clase *ImageDisplay* se permite el manejo de archivos en formato AVI y GIF, y se dota a la librería con la capacidad de mostrar animaciones en la pantalla. El flujo de trabajo de esta clase consiste en crear una ventana a pantalla completa, utilizando la funcionalidad que provee OpenCV, la cual se actualiza cada determinado tiempo con las distintas secuencias de imágenes cargadas desde los diferentes formatos compatibles. Debido a la necesidad de un medio para mostrar las animaciones, esta funcionalidad es compatible únicamente con la versión física del robot siempre y cuando se cuente con una pantalla para poder observar su correcto funcionamiento.

Para inicializar un objeto de la clase *ImageDisplay*, es necesario indicar el nombre y la ruta de las animaciones que se desean mostrar y el nombre de la animación que se mostrará al iniciar la clase (ver figura 7).

```
animations = {'idle': '/home/poppy/videoPlayback/idle.gif',  
             'face_detected': '/home/poppy/videoPlayback/found.gif'}  
ImageDisplay(animations, 'idle')
```

Figura 7. Ejemplo de uso de la clase *ImageDisplay*.

Dichas animaciones son transformadas en un array de imágenes, el cual será utilizado para actualizar la ventana. La clase tiene la capacidad de cargar más de una animación a la vez, por lo que es posible cambiar la animación que se está mostrando por cualquiera de las otras que hayan sido especificadas a la hora de la inicialización del objeto.

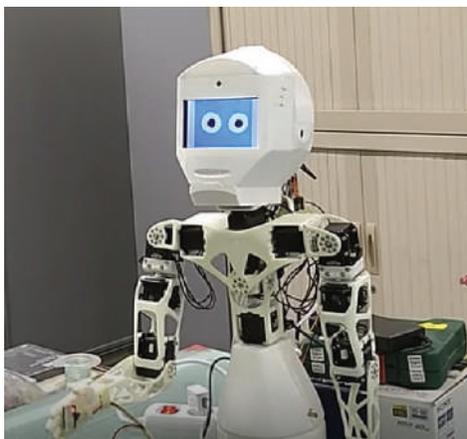


Figura 8. Robot mostrando animación en la pantalla LCD.

f. Imitador

Se ha desarrollado una clase que permite ejecutar una misma instrucción en más de un robot a la vez. La clase es capaz controlar robots locales (simulador y/o robot real en la máquina que ejecuta el programa, como se muestra en la figura 8) y robots remotos (utilizando el REST API del a clase HTTPRobotServer), a los cuales se puede acceder mediante su respectiva dirección IP y el puerto habilitado para el REST API. Esta funcionalidad puede ser utilizada para observar que tan distinto se comportan distintos robots a un mismo conjunto de acciones indicadas por el usuario.

Resultados obtenidos

Si bien la mayoría de las funcionalidades añadidas a la librería son independientes unas de otras, es importante que puedan ser utilizadas en conjunto para poder aprovechar de una mejor manera sus capacidades. Con el fin de demostrar el resultado del trabajo realizado, se ha creado una clase que utiliza dos o más funcionalidades, con el fin de crear comportamientos para el robot. Entre los comportamientos creados podemos encontrar:

- Seguimiento de objetos de un color determinado: El robot es capaz de seguir con su cabeza un objeto de un determinado color, haciendo uso de la cámara para filtrar el objeto y obtener su centro, el cual luego es utilizado para calcular su distancia con respecto al centro de la imagen obtenida por la cámara, para así tratar de centrar el objeto en la toma y lograr el efecto de seguimiento con la cabeza.
- Saludar a conocidos: Se inicializa la funcionalidad de detección de rostros y se muestra una animación en la pantalla que indica que se está buscando un rostro conocido. En el momento que se reconoce un rostro, cambia la animación de la pantalla, el robot estira el brazo para saludar y se emite un audio en el que se saluda a la persona reconocida. El audio, que se emite mediante el altavoz, es previamente cargado a la memoria que utiliza el componente de sonido conectado a la placa Arduino.

Conclusiones

Como se ha evidenciado en los párrafos anteriores, se han desarrollado diferentes funcionalidades que añaden nuevas capacidades a la librería y potencian las ya existentes, con el principal objetivo de mejorar la interacción del robot tanto con el usuario como con el ambiente.

Se han implementado exitosamente mejoras al módulo de sensores de visión o cámara, comunicación USB SERIAL con placas IMU y Arduino, implementación de reconocimiento facial, sensores de proximidad en simulación, uso de motores personalizados en simulación, ejecución simultánea de instrucciones en múltiples robots, despliegue de animaciones mediante la pantalla LCD, y un módulo que permite combinar más de una funcionalidad para poder crear comportamientos.

Durante el trabajo realizado, se detectó que la fluidez del sistema en de la placa Odroid UX4 y la Raspberry Pi 3 se veía reducida a la hora de ejecutar las tareas que involucran detección y reconocimiento facial.

Es importante destacar que los cambios realizados a la librería no afectan a los programas que hacen uso de versiones anteriores de la librería, pues fueron agregados de manera tal que no afectara el comportamiento de los módulos ya existentes de manera negativa.

Agradecimientos

Se agradece encarecidamente a los miembros del Grupo Integrado de Ingeniería (GII) de la Universidad de Coruña (UDC) y a los miembros del Grupo PARMA del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por la oportunidad, el trato y la ayuda brindada antes, durante y después de la realización del proyecto.

De igual manera, se agradece a los funcionarios que conforman el Programa de Pasantías para la Movilidad Estudiantil Internacional, Escuela de Computación, y Dirección De Cooperación Internacional del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Referencias

- [1] Atkeson, C. G., Hale, J. G., Pollick, F. E., Riley, M., Kotosaka, S., Schaul, S., & Kawato, E. (2000). Using humanoid robots to study human behavior. *IEEE Intelligent Systems and their applications*, 15(4), 46-56.
- [2] Kanehiro, F., Kaneko, K., Fujiwara, K., Harada, K., Kajita, S., Yokoi, K., & Isozumi, T. (2003, September). The first humanoid robot that has the same size as a human and that can lie down and get up. In *Robotics and Automation, 2003. Proceedings. ICRA'03. IEEE International Conference on* (Vol. 2, pp. 1633-1639). IEEE.
- [3] Diftler, M. A., Mehling, J. S., Abdallah, M. E., Radford, N. A., Bridgwater, L. B., Sanders, A. M., ... & Hargrave, B. K. (2011, May). Robonaut 2-the first humanoid robot in space. In *Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on* (pp. 2178-2183). IEEE
- [4] Lapeyre, M., Rouanet, P., & Oudeyer, P. Y. (2013, March). Poppy: A new bio-inspired humanoid robot platform for biped locomotion and physical human-robot interaction. In *Proceedings of the 6th International Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines (AMAM)*.
- [5] poppy-project. (2017) Pypot: A Python lib for Dynamixel motors control. [En línea] Disponible en: <https://github.com/poppy-project/pypot>
- [6] , M. F. (1999). Python: a programming language for software integration and development. *J Mol Graph Model*, 17(1), 57-61.
- [7] Rohmer, E., Singh, S. P., & Freese, M. (2013, November). V-REP: A versatile and scalable robot simulation framework. In *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference on* (pp. 1321-1326). IEEE.

- [8] Coppelia Robotics. (s.f.) *Vision sensors* [En línea] Disponible en: <http://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/en/visionSensors.htm>
- [9] Coppelia Robotics. (s.f.) *Proximity sensors* [En línea] Disponible en: <http://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/en/proximitySensors.htm>
- [10] NavEx (2016) *What is an IMU?* [En Línea] Disponible en: <https://www.spartonnavex.com/imu/>
- [11] Cadena Castro, L. M., & Heredia López, J. A. (2018). Sistema inteligente con visión artificial para el reconocimiento de piezas mecánicas en el Robot NAO.
- [12] Ageitgey. (2018). *face_recognition*. [en línea] Disponible en: https://github.com/ageitgey/face_recognition

Influencia de la consolidación secundaria en la rigidez dinámica de un suelo compresible (arcillas)

Influence of secondary consolidation on the dynamic stiffness of a compressible soil (clays)

Jordi Iván García-Quirós¹ Alexandra Ossa-López², Mario Flores-Guzmán³,
Ivannia Solano-Aguilar⁴

García-Quirós, J; Ossa-López, A; Flores-Guzmán, M; Solano-Aguilar, I. Influencia de la consolidación secundaria en la rigidez dinámica de un suelo compresible (arcillas). *Tecnología en Marcha*. Vol. 33, especial Movilidad estudiantil. Pág 227-242.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i7.5501>



- 1 Estudiante de Ingeniería en Construcción en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: jordy0896@gmail.com.
- 2 Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Correo electrónico: aossal@iingen.unam.mx.
- 3 Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Correo electrónico: mfloresg@iingen.unam.mx.
- 4 Maestría en Ingeniería Geotécnica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: solaivi@gmail.com

Palabras clave

Esfuerzo desviador; consolidación secundaria; rigidez dinámica; módulo dinámico equivalente de Young; módulo resiliente; pruebas triaxiales dinámicas.

Resumen

Con el objetivo de evaluar la influencia de la consolidación secundaria en la rigidez dinámica de un suelo compresible, se llevaron a cabo pruebas triaxiales dinámicas consolidadas no drenadas (CU), en probetas de suelo recuperadas en el antiguo lago de Texcoco, México, las cuales corresponden a un suelo arcilloso.

Las pruebas consistieron en dos etapas. Primero, las probetas se sometieron a un esfuerzo efectivo (σ') definido; una vez concluida la consolidación primaria, etapa en la cual se disipa la presión de poro, se realizaron mediciones del módulo dinámico equivalente de Young (E_{eq}) y módulo resiliente (M_r) a distintos niveles de esfuerzo desviador, aplicando un pulso periódico senoidal y haversiano, respectivamente. Una vez determinados dichos módulos, se continuó consolidando el material con el mismo nivel de σ' , para así establecer la influencia del tiempo de consolidación en las magnitudes de estos. Por tanto, se realizaron dos mediciones adicionales a cada 24 horas, con lo cual se obtiene la variación de los módulos a lo largo del proceso de consolidación secundaria.

El procedimiento anterior se realizó a distintos niveles de esfuerzo efectivo o de consolidación, incluyendo etapas de carga y descarga de la curva de compresibilidad.

Keywords

Stress deviator; secondary consolidation; dynamic stiffness; Young dynamic equivalent module; resilient module; dynamic triaxial tests.

Abstract

In order to evaluate the influence of secondary consolidation on the dynamic stiffness of a compressible soil, consolidated undrained (CU) triaxial dynamic tests were carried out on soil specimens recovered from the old lake of Texcoco, which correspond to a clay soil.

The tests consisted of two stages. First, the specimens were subjected to a defined effective stress (σ'); once the primary consolidation, a stage in which pore pressure is dissipated, measurements were made of the equivalent dynamic module of Young (E_{eq}) and resilient module (M_r) at different levels of deviating stress, applying a periodic sinusoidal and haversian pulse, respectively. Once these modules were determined, the material continued to be consolidated with the same level as σ' , in order to establish the influence of the consolidation time on the magnitudes of these. Therefore, two additional measurements were made every 24 hours, thus allowing the variation of the modules throughout the secondary consolidation process to be obtained.

The previous procedure was carried out at different levels of effective effort or consolidation, including loading and unloading stages of the compressibility curve.

Introducción

Esta investigación se desarrolló en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), específicamente en el Laboratorio de Vías Terrestres, donde se realizan pruebas que permiten estudiar la calidad de los materiales para carreteras, como los suelos, asfaltos, mezclas asfálticas, entre otros. En este sentido, el desarrollo de esta investigación, tuvo la finalidad de estudiar las propiedades dinámicas y resilientes del suelo bajo la influencia de la consolidación secundaria del suelo.

En las últimas décadas, las arcillas del antiguo lago de Texcoco han sido objeto de una amplia investigación. Para lo cual se han aplicado pruebas tanto de laboratorio como de campo, con el objetivo de conocer cuál es el comportamiento (relación esfuerzo-deformación-tiempo) ante la presencia de diferentes cargas tanto estáticas como dinámicas [1].

El módulo E_{eq} y el módulo M_r son parte de los parámetros dinámicos más representativos que se pueden obtener para ser utilizadas en la predicción del comportamiento de una masa de suelo en el caso del módulo E_{eq} , o para su utilización como parte del diseño de los espesores de las capas de pavimento en el caso de M_r .

Módulo dinámico equivalente de Young (E_{eq})

El valor del módulo dinámico equivalente de Young, E_{eq} , permite obtener la relación entre la deformación unitaria axial (ε) y el esfuerzo desviador (σ_d) necesario para ocasionar ese nivel de deformación [2].

El módulo dinámico equivalente de Young (E_{eq}) es uno de los parámetros más importantes para calcular y analizar la dinámica del suelo. También es esencial para realizar análisis de respuesta sísmica y diseño de cimentaciones [3].

Si durante la realización de las pruebas dinámicas se obtiene el valor de E_{eq} para diferentes esfuerzos desviadores, se podrá observar el efecto causado sobre una muestra de suelo por parte de las cargas cíclicas, puesto que, como se observa en la figura 1, al aumentar el valor del esfuerzo, se generan mayores deformaciones al suelo y esto conlleva una degradación en el valor de E_{eq} .

La carga cíclica que se aplica para la medición de E_{eq} durante las pruebas triaxiales dinámicas es una onda periódica senoidal, la cual simula la forma de los esfuerzos inducidos por un sismo [4].

Según la norma ASTM D 3999 [5], el módulo dinámico equivalente de Young (E_{eq}) se puede obtener de la siguiente manera:

$$E_{eq} = \frac{\sigma_d}{\varepsilon}$$

Donde

E_{eq} : módulo dinámico equivalente de Young (MPa)

ε = deformación unitaria axial recuperable (mm/mm)

σ_d = esfuerzo desviador, (kg/ cm²)

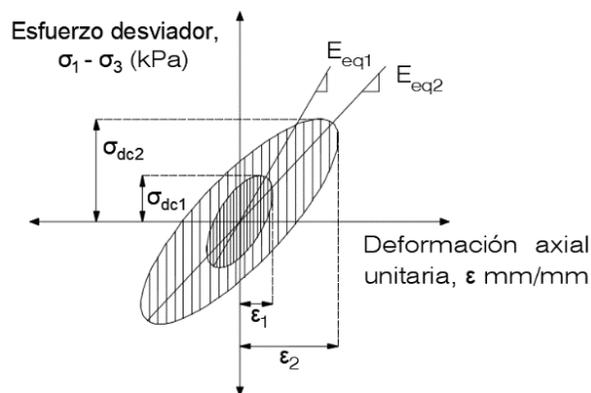


Figura 1. Efecto de la aplicación de diferentes esfuerzos desviadores en la deformación axial. Tomado de [6].

Módulo resiliente (M_r)

Como se muestra en la figura 2 bajo el efecto de cargas dinámicas cíclicas, las deformaciones plásticas tienden a acumularse y disminuir ante las aplicaciones de cada uno de los ciclos de carga, de modo que el suelo llega a un estado en el que deja de deformarse permanentemente y las siguientes deformaciones obtenidas son elásticas o recuperables. Esto le proporciona al suelo características resilientes. La obtención del módulo resiliente (M_r) es de gran importancia, dado que permite predecir los esfuerzos recuperables (resilientes), las deformaciones y las deflexiones en un pavimento. Asimismo, se utiliza en el diseño de los espesores de las estructuras de pavimentos.

El módulo resiliente se define como la magnitud del esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión axial dividido entre el valor de la deformación axial recuperable. Por lo tanto, se tiene lo siguiente:

$$M_r = \frac{\sigma_d}{\epsilon_{\text{axial recuperable}}}$$

Donde:

- σ_3 = Esfuerzo principal menor
- σ_1 = Esfuerzo principal mayor
- σ_d = Esfuerzo desviador = $\sigma_1 - \sigma_3$
- ϵ = Deformación axial recuperable

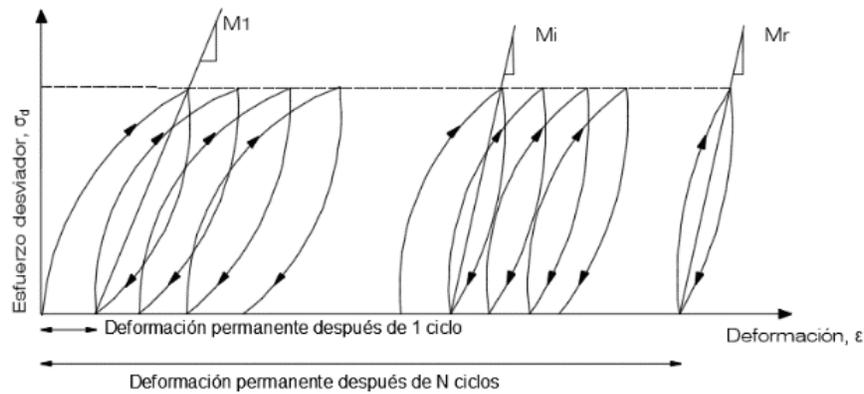


Figura 2. Efecto de un esfuerzo desviador respecto a la deformación permanente del suelo. Tomado de [8].

Este parámetro se evalúa mediante la norma AASTHO T 307 [7], el tipo de onda de carga que se induce al suelo durante la prueba de módulo resiliente es de tipo cíclica haversiano, la cual consta de un periodo de aplicación de 0,1 s y de 0,9 s de reposo. Este tipo de onda permite simular el efecto causado por el tránsito vehicular.

Metodología

El procedimiento para llevar a cabo la medición en laboratorio de los módulos E_{eq} y M_r se realizó según lo indicado en las normas ASTM D 3999 [5] y AASTHO T 307 [7], respectivamente.

Materiales y equipos empleados

Para esta investigación se trabajó con muestras inalteradas recuperadas en el antiguo lago de Texcoco; se utilizaron un total de cuatro muestras, las cuales fueron obtenidas mediante un tubo Shelby con la intención de conservar las propiedades del estado natural del suelo para provocar el mínimo cambio de sus condiciones en campo. Las profundidades de donde las muestras fueron recuperadas varían entre los 8,00 m y 10,00 m de profundidad.

En los cuadros 1 y 2, se presentan las características más relevantes de las cuatro probetas de suelo ensayadas en esta investigación, provenientes del antiguo lago de Texcoco. Para cada una de las muestras ensayadas se obtuvieron las propiedades índices, relaciones gravimétricas y volumétricas, utilizando las normas ASTM correspondientes.

Cuadro 1. Límites de consistencia y clasificación SUCS.

Sondeo	Profundidad	Contenido de agua	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad	Clasificación SUCS
		ω	L_w	L_p	I_p	
	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	
SS-22 M 2-1	10.00 - 10.20	228.65	261.64	118.05	143.58	MH
SS-19 M 2-1	8.00 - 8.20	241.77	271.88	90.27	187.28	CH
SS-16 M 3-1	7.90 - 8.10	247.70	274.34	87.07	181.61	CH
SS-18 M3-1	8.20 - 8.37	94.28	112.10	50.92	82.86	MH

Cuadro 2. Relaciones volumétricas.

Sondeo	Peso volumétrico	Densidad de sólidos	Relación de vacíos inicial	Grado de saturación
	γ_m (g/cm^3)	G_s	e_0	S_r (%)
SS -22 M 2-1	1.26	3.42	7.94	98.46
SS-19 M 2-1	1.19	3.53	9.11	93.61
SS-16 M 3-1	1.22	3.19	8.10	97.70
SS-18 M 3-1	1.40	2.92	3.05	90.32

En la figura 3 se presenta la carta de plasticidad definida por el sistema de clasificación de suelos SUCS. Las muestras SS-22 M 2-1 y SS-18 M 3-1 se clasifican como limos de alta plasticidad (MH), puesto que se encuentran a la derecha de la línea frontera y por debajo de la línea A. Por otra parte, las muestras SS-19M 2-1 y SS-16 M 3-1 se encuentran por arriba y sobre la línea A, respectivamente. Por lo tanto, se clasifican como arcillas de alta plasticidad (CH).

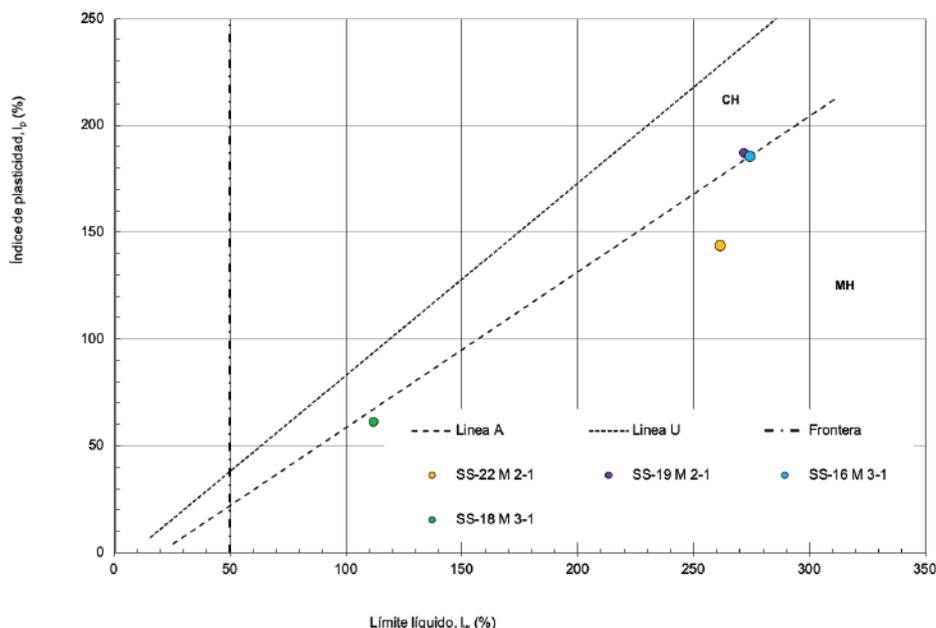


Figura 3. Clasificación de las muestras ensayadas de acuerdo con el sistema SUCS.

Las dimensiones finales de las probetas de suelo se seleccionaron de acuerdo con lo que se indica en las normas respectivas para la determinación del módulo dinámico equivalente de Young (E_{eq}) norma ASTM D 3999 [5] y el módulo resiliente (M_r) norma AASTHO T 307 [7], por lo tanto, las medidas con las que se trabajaron las probetas de suelo fueron de 7 cm de diámetro y 14 cm de altura, manteniendo una relación de diámetro altura de 2:1.

Para llevar a cabo los ensayos de laboratorio, se hizo uso de una cámara triaxial y un marco de carga MTS (Material Testing System), los cuales se encuentran conectados a un sistema de aplicación de carga (hidráulico), un panel de control, un sistema de aplicación de presión (confinante y contrapresión) y un sistema automatizado del equipo, que permite la captura y el procesamiento de los datos que durante la prueba se fueron obteniendo.

En el equipo triaxial cíclico MTS, se pueden realizar pruebas triaxiales de carácter estático, así como pruebas triaxiales cíclicas, las cuales en ambos casos pueden ser a carga o desplazamiento controlado. En la figura 4 se muestra un esquema del equipo triaxial utilizado para la aplicación de las pruebas.

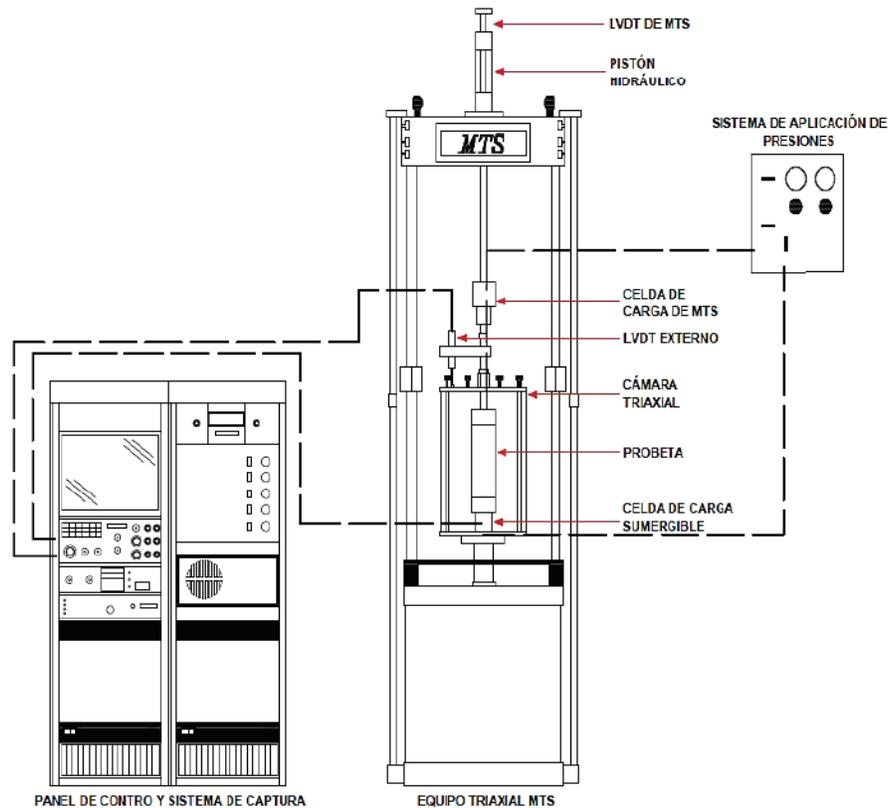


Figura 4. Esquema del equipo triaxial. Tomado de [9].

Procedimiento de ensaye para la medición de los módulos E_{eq} y M_r

Se realizaron pruebas triaxiales cíclicas a carga controlada, bajo condiciones consolidadas no drenadas (CU), aplicando ondas de tipo senoidal y haversiana para la determinación del módulo dinámico equivalente de Young (E_{eq}) y el módulo resiliente (M_r), respectivamente.

La diferencia para obtener el módulo dinámico equivalente de Young y el módulo resiliente es únicamente la onda de la carga inducida, puesto que, para la determinación de E_{eq} , se aplicó una onda de tipo senoidal y, para la determinación de M_r , se aplicó una onda de tipo haversiano. Una comparación entre las ondas se puede apreciar en la figura 5.

Ya que la intención era determinar cuál es la influencia de la consolidación secundaria en la rigidez dinámica de un suelo compresible en cada uno de los incrementos de esfuerzos efectivos aplicados, se midieron los módulos (E_{eq} y M_r). La primera medición se realizó al término de la etapa de la consolidación primaria (etapa 1). Posteriormente, se continuó con el proceso de consolidación secundaria, manteniendo el mismo valor del esfuerzo efectivo aplicado. La consolidación secundaria se dividió en dos etapas: 24 horas (etapa 2) y 48 horas (etapa 3) posterior al término de la consolidación primaria. Al finalizar cada una de dichas etapas, se realizó la medición de los módulos.

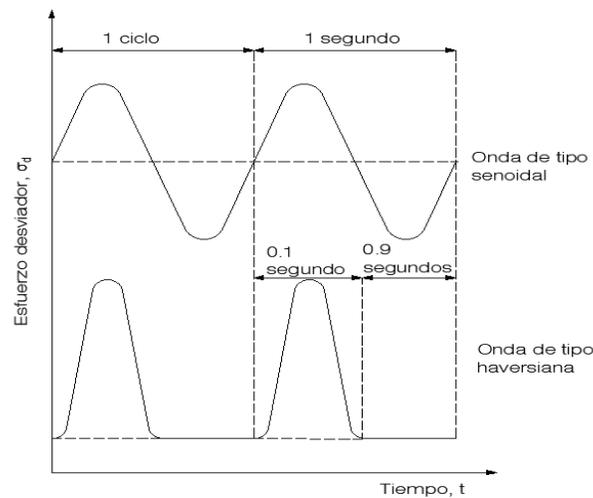


Figura 5. Comparación entre una onda de tipo senoidal y de tipo haversiano.

Las probetas de suelo ensayadas fueron sometidas, cada una, a un total de ocho o nueve incrementos de esfuerzo efectivo. Para cada incremento, se aplicaron diferentes magnitudes de carga cíclica axial en orden ascendente, en este caso fueron cargas desde 1 kg hasta 5 kg, con las cuales se garantizó la condición no destructiva de la prueba, puesto que bajo este nivel de cargas las probetas se encuentran lejos de la condición de falla.

Lo anterior se llevó a cabo con el objetivo de evaluar la diferencia que existe entre los valores de los módulos (E_{eq} y M_r) durante la consolidación primaria y secundaria.

En la figura 6, se muestra un diagrama que ejemplifica la forma en que se desarrolló la etapa de ensayos y medición de los módulos, además de las etapas en las que se realizó la consolidación primaria y secundaria. Lo mostrado en dicho diagrama representa el procedimiento seguido para cada uno de los esfuerzos efectivos aplicados.

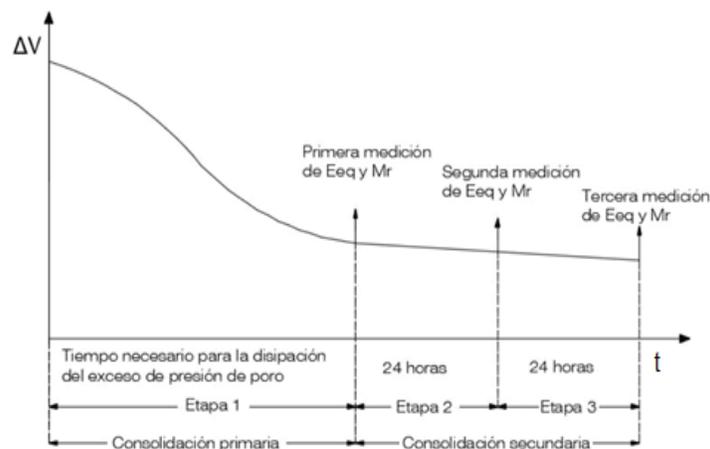


Figura 6. Descripción del proceso de consolidación y medición de los módulos para cada uno de los esfuerzos efectivos aplicados.

Resultados experimentales y análisis

A continuación, se mostrarán los resultados de los ensayos triaxiales dinámicos obtenidos en esta investigación y su respectivo análisis. Los cuales permitirán demostrar cual es la influencia de la consolidación secundaria en la rigidez dinámica de las arcillas del antiguo Lago de Texcoco, para esto se harán relaciones entre los módulos y diferentes parámetros obtenidos durante la aplicación de los ensayos triaxiales tales como el efecto del esfuerzo desviador (σ_d), la deformación unitaria (ϵ), esfuerzo efectivo de consolidación (σ_v), esfuerzo de fluencia (σ'_p), relación de vacíos (e) e índice de plasticidad (I_p). Debido a la gran cantidad de datos obtenidos, de las 4 probetas ensayadas en total, únicamente se mostrarán resultados de la probeta SS-16 M 3-1, puesto que, el comportamiento de los módulos E_{eq} y M_r , respecto a la consolidación secundaria para todas las probetas ensayadas es similar. Los resultados de las demás pruebas son presentados a detalle en [10].

Curvas de compresibilidad

Para cada una de las probetas de suelo ensayadas, se trazó la curva de compresibilidad en cámara triaxial obtenidas durante las etapas de la consolidación, en términos de la relación de vacíos (e) y los esfuerzos efectivos (σ') aplicados. También se calculó el esfuerzo de fluencia (σ'_p) según el método de Casagrande (1936). En la figura 7, se aprecia la curva de compresibilidad para la muestra SS-16 M 3-1 con su respectivo valor del esfuerzo de fluencia.

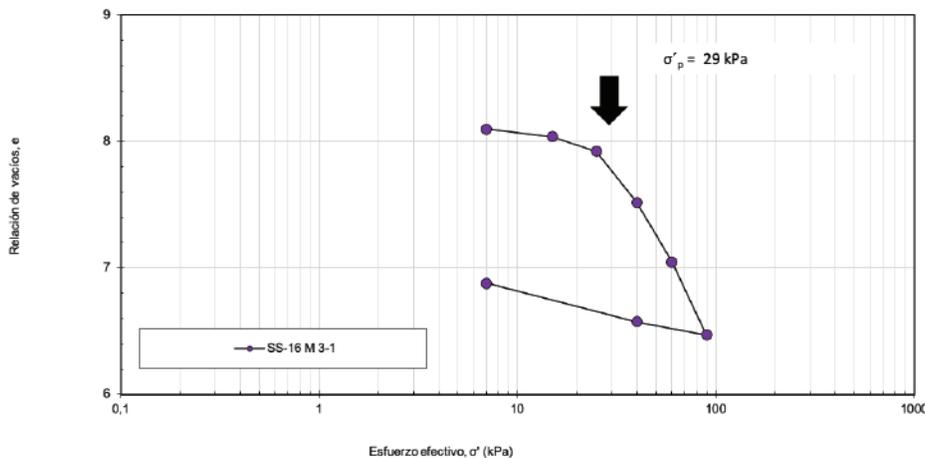


Figura 7. Curva de compresibilidad, muestra SS-16 M 3-1.

Influencia del esfuerzo desviador cíclico

En las figuras 8 y 9, se muestra el comportamiento de los módulos vs el esfuerzo desviador cíclico inducido. Para cada uno de los esfuerzos efectivos aplicados y en sus respectivas etapas de consolidación, de forma general se puede apreciar que, a medida que se aumenta el valor del esfuerzo desviador aplicado, se genera una degradación de los valores de los módulos.

Este comportamiento es independiente del módulo, es decir, la degradación del módulo al aumentar el esfuerzo desviador ocurre tanto para el módulo dinámico equivalente de Young como para el módulo de resiliencia, y ocurre tanto para el tramo de carga como para el tramo de descarga en cada una de las probetas ensayadas.

Para los diferentes esfuerzos efectivos aplicados, al comparar los módulos obtenidos en la consolidación secundaria (etapa 2 y 3) con los módulos obtenidos en la consolidación primaria (etapa 1), se puede observar una mejora. No obstante, esta diferencia es mayor conforme aumenta el nivel de esfuerzo efectivo y se hace aún más evidente para aquellos esfuerzos que se encuentran por encima del esfuerzo de fluencia.

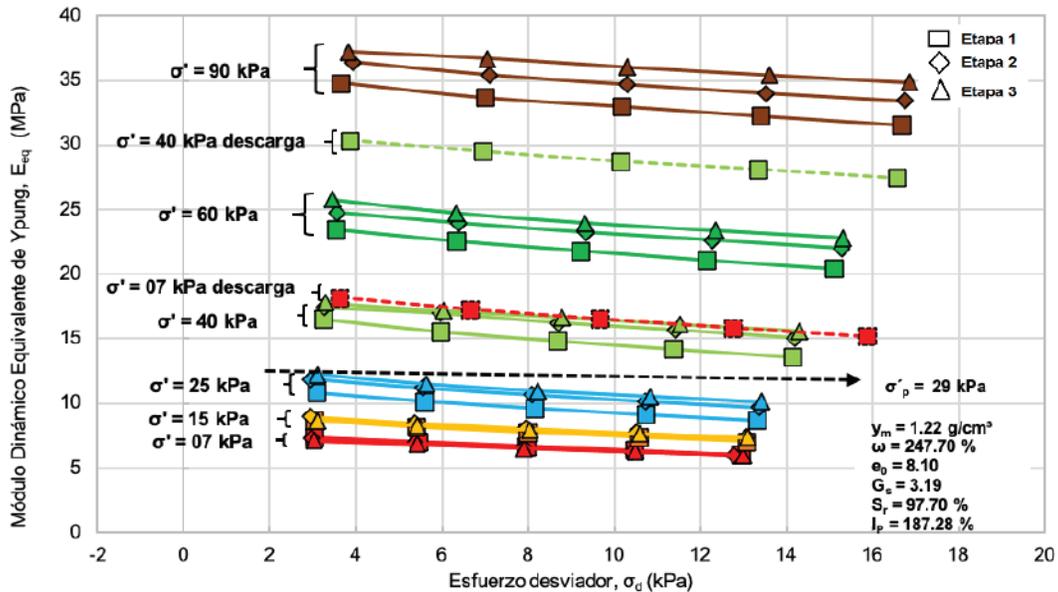


Figura 8. Curva σ_d vs. E_{eq} correspondiente a la muestra SS-16 M 3-1.

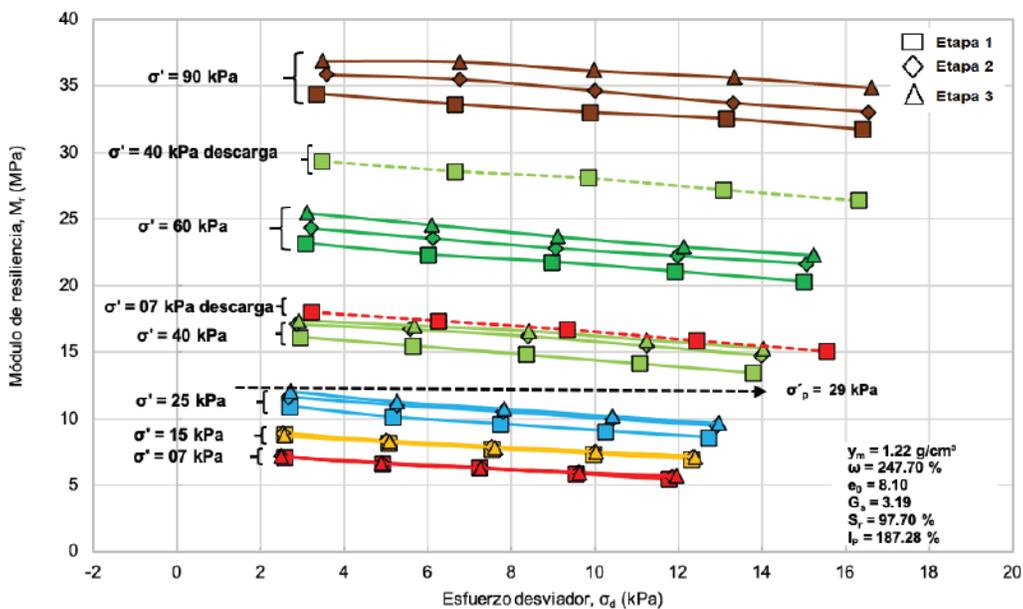


Figura 9. Curva σ_d vs. M_r correspondiente a la muestra SS-16 M 3-1.

Influencia de la deformación unitaria axial

En las figuras 10 y 11 se puede apreciar el módulo dinámico equivalente de Young y el módulo de resiliencia vs la deformación unitaria.

Para cada uno de los esfuerzos efectivos aplicados y en sus respectivas etapas de consolidación, se observa que, de forma general, conforme se aumentó el esfuerzo efectivo de consolidación, los rangos de deformación de las probetas de suelo disminuyeron considerablemente para el tramo de carga, mientras que para el tramo de descarga, las deformaciones incrementaron tomando como referencia los valores obtenidos para el último esfuerzo efectivo aplicado en la etapa de carga en cada una de las probetas ensayadas. El comportamiento se muestra en las deformaciones correspondientes tanto al módulo E_{eq} como a M_r .

Dicho comportamiento está directamente relacionado con el proceso de consolidación y al cambio volumétrico que esto conlleva, puesto que, al haber una expulsión de agua en la probeta de suelo, la relación de vacíos disminuye y se vuelve más rígida la probeta, disminuyendo los niveles de deformaciones experimentados para el tramo de carga. Por otro lado, para el tramo de descarga ocurre una recuperación de volumen en la probeta, lo cual causa que haya deformaciones mayores.

Debido a que la deformación unitaria axial depende de manera directa de la magnitud del esfuerzo desviador aplicado, se puede decir que, independientemente del nivel de esfuerzo efectivo aplicado y sus respectivas etapas de consolidación, a mayor esfuerzo desviador, mayor es el valor de la deformación unitaria axial. También se evidencia que, entre menores sean los rangos de deformación de la muestra, mayores son los módulos obtenidos.

En lo que concierne al esfuerzo de fluencia, se puede observar que, después de la aplicación de un esfuerzo efectivo mayor al esfuerzo de fluencia, los módulos presentan la disminución más importante respecto a sus rangos de deformación.

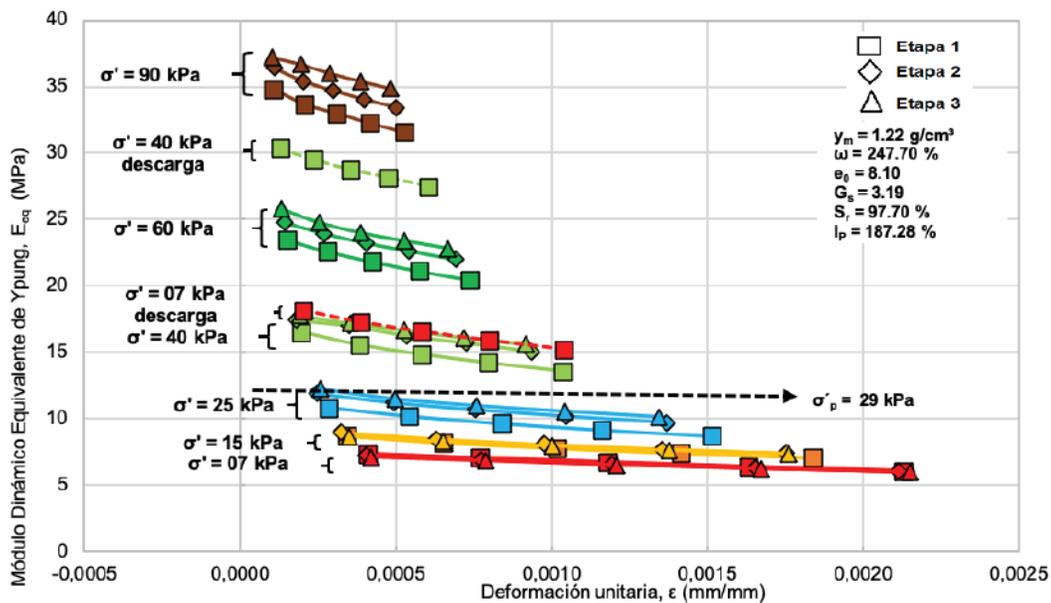


Figura 10. Curva ε vs. E_{eq} correspondiente a la muestra SS-16 M 3-1.

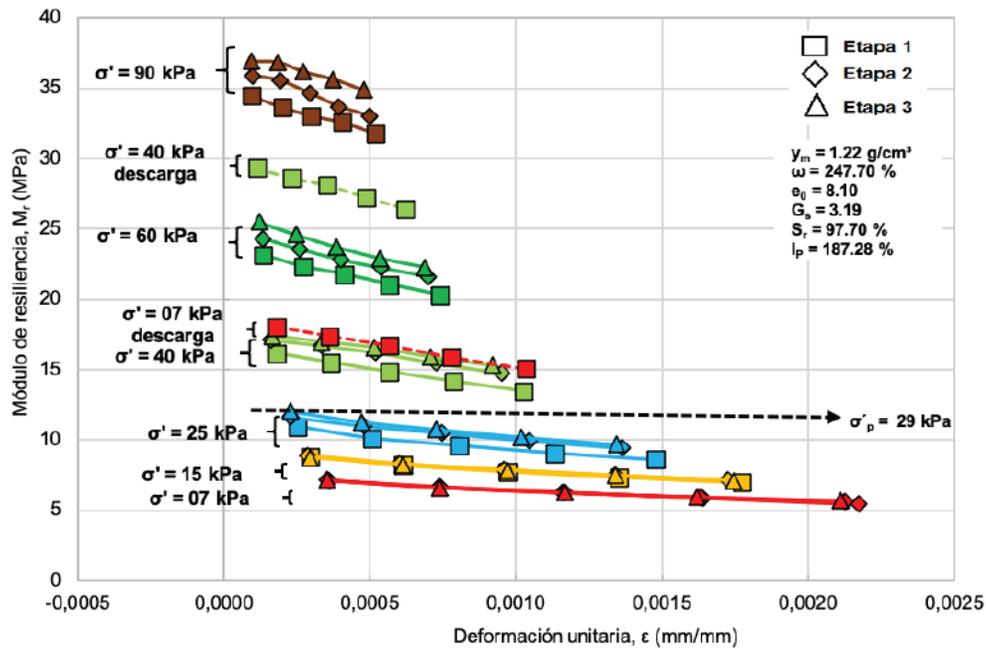


Figura 11. Curva ϵ vs. M_r correspondiente a la muestra SS-16 M 3-1.

Influencia causada por la consolidación

En cuanto a los valores de los módulos que se observan de las figuras 8 a la figura 11, se puede señalar que la influencia causada por la consolidación secundaria en la rigidez dinámica de las arcillas del antiguo lago de Texcoco se manifiesta como un aumento en los valores tanto del módulo E_{eq} como del M_r . Es decir, al comparar los valores obtenidos para cada uno de los esfuerzos efectivos en las etapas de la consolidación secundaria (etapas 2 y 3) con los valores de los módulos obtenidos en la etapa de la consolidación primaria (etapa 1), se puede apreciar que existe un incremento considerable para los módulos de las etapas 2 y 3, en especial para los σ' mayores a σ'_p .

Esto se debe a que los σ' aplicados por encima del σ'_p rebasan la sobrecarga efectiva que el suelo ha experimentado en su historial de cargas (rama virgen) y por lo tanto experimentan cambios volumétricos (ΔV) significativamente mayores a los que ocurren cuando el nivel de esfuerzo efectivo de la probeta es menor a σ'_p (rama de recompresión). Estos cambios significativos en el volumen de la probeta inducen disminución una importante de la relación de vacíos, lo cual causa que la probeta se vuelva más rígida.-

De los valores obtenidos para las cuatro muestras ensayadas, se registran incrementos de hasta 18 % y 19 % para E_{eq} y M_r en la consolidación secundaria respecto a la consolidación primaria. Por lo tanto, como se ha evidenciado, la influencia de la consolidación secundaria en la magnitud de los módulos es significativa y además favorable, representada en un incremento de estos.

Influencia de la relación de vacíos

En las figuras 12 y 13, se muestran las curvas de relación de vacíos (e) vs. tiempo (t). Se puede apreciar que, para el tramo de carga, la disminución de la relación de vacíos es mayor para los

esfuerzos efectivos aplicados por encima del esfuerzo de fluencia que para aquellos esfuerzos efectivos menores al σ'_p . Este hecho guarda relación con la diferencia del cambio volumétrico que tiene la probeta de suelo antes y después de dicho esfuerzo de σ'_p .

Para el tramo de descarga, debido a la recuperación de volumen que experimentan las probetas de suelo, no ocurre una expulsión de agua, sino más bien una absorción, ya que se pasa directamente de la aplicación de un esfuerzo mayor a uno más pequeño y, por ende, ocurre un aumento en la relación de vacíos, tomando como referencia el valor de relación de vacíos del último esfuerzo efectivo aplicado en el tramo de carga de las curvas de compresibilidad (figura 7).

Por otra parte, respecto a los módulos E_{eq} y M_r , se puede apreciar que, al haber una expulsión de agua y su consecuente disminución en la relación de vacíos, los valores de los módulos incrementaron; es decir, a medida que disminuyó la relación de vacíos por el proceso de consolidación, se generó un incremento en la rigidez de las probetas, dando como resultados la obtención de módulos mayores.

Tomando en cuenta lo anterior, y según lo indicado en las figuras 8 a la figura 11, este reacomodo de partículas propio de la consolidación secundaria es el que causa que, a la hora de realizar las mediciones de los módulos E_{eq} y M_r en cada uno de los esfuerzos efectivos aplicados, se obtengan módulos más altos para la consolidación secundaria respecto a los obtenidos para la consolidación primaria.

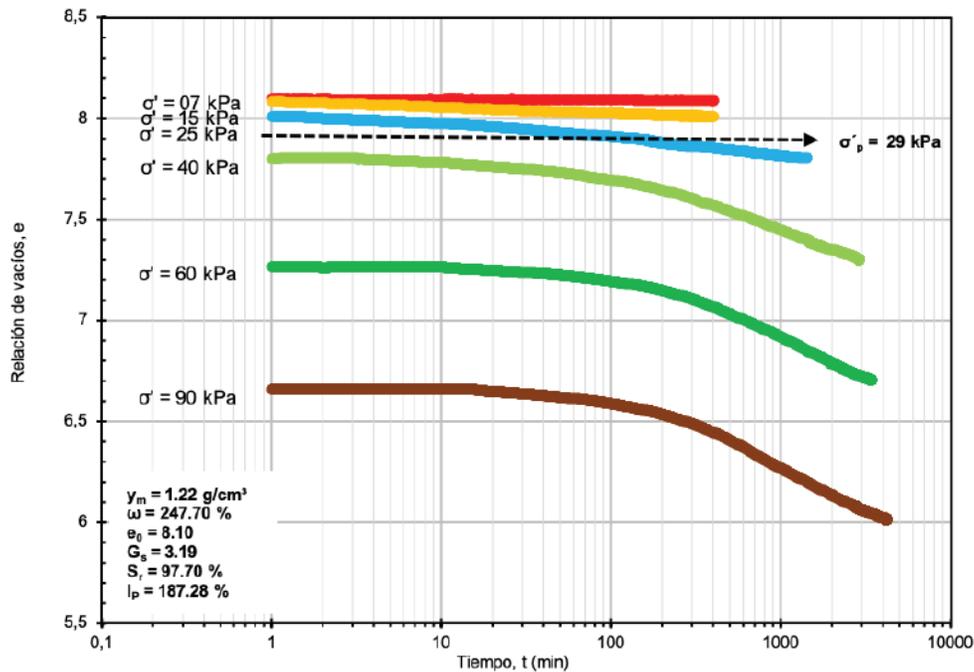


Figura 12. Curva t vs. e correspondiente a la muestra SS-16 M 3-1 para el tramo de carga.

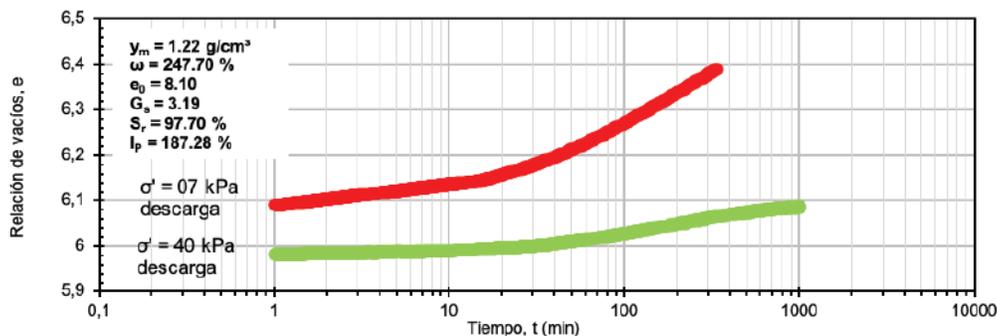


Figura 13. Curva t vs. e correspondiente a la muestra SS-16 M 3-1 para el tramo de descarga.

Influencia de las características de las muestras

En el cuadro 1 y el cuadro 2, se aprecian los límites de consistencia y relaciones volumétricas de las probetas de suelo utilizadas en este proyecto.

En exploraciones y estudios anteriores se ha encontrado la presencia de sal en la zona del antiguo lago de Texcoco, obteniendo que la concentración salina del agua intersticial del subsuelo se encuentra en el rango de 2 % hasta un 8 %. Como resultado de esta presencia de sal en el subsuelo, se han encontrado valores altos para la densidad de sólidos (G_s) que van desde 2,5 hasta más de 3. En este caso, las probetas ensayadas presentan valores de G_s entre 2,92 y 3,53, [10].

La presencia de sal en el agua intersticial afecta las propiedades índices del subsuelo, tales como el contenido de agua (ω), el límite líquido (L_w), el límite plástico (L_p) y el índice de plasticidad (I_p), puesto que, al comparar las propiedades entre muestras obtenidas de zonas con alto contenido de sal y zonas con contenidos de sal más bajos, se halló que estas propiedades resultan menores en muestras que presentan contenidos de sal más altos, [11].

Respecto a los valores de los límites de consistencia obtenidos para las muestras, para establecer una relación entre estos y los módulos (E_{eq} y M_r), en las figuras 14 y 15, se muestran las curvas de I_p vs. E_{eq} , así como I_p vs M_r , correspondientes a los valores promedio de los esfuerzos desviadores aplicados para el esfuerzo efectivo de 90 kPa de las 4 probetas ensayadas. La tendencia de los resultados mostrados, tanto para E_{eq} como para M_r , indican que conforme aumenta el índice de plasticidad de las probetas ensayadas, los valores de E_{eq} y M_r disminuyen; es decir, la probeta con el índice de plasticidad más alto (SS-18 M 3-1) presentó los valores de E_{eq} y M_r más bajos, lo cual es consistente con lo reportado previamente e la literatura.

Como se expuso anteriormente, la salinidad característica de la zona tiene efectos en el L_w , L_p y, por lo tanto, en el I_p , de manera que es válido mencionar que la presencia de sal podría afectar el valor de los módulos.

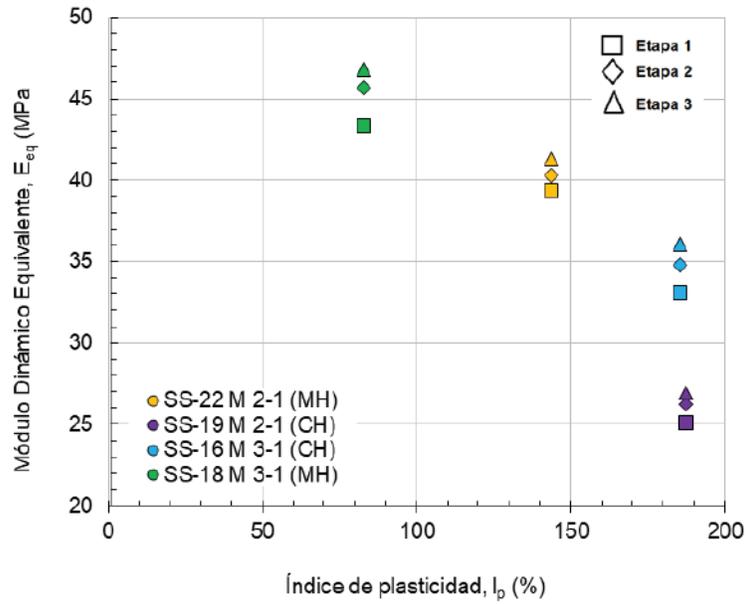


Figura 14. Curva I_p vs. E_{eq} correspondientes al esfuerzo efectivo de 90 kPa.

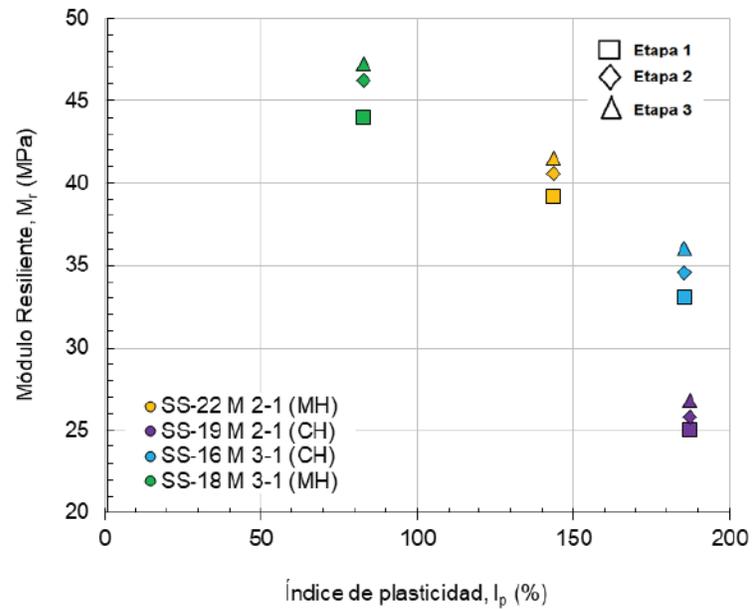


Figura 15. Curva I_p vs. M_r correspondientes al esfuerzo efectivo de 90 kPa.

Conclusiones

Las principales conclusiones que permitió reunir esta investigación se presentan a continuación:

Entre las cuatro muestras ensayadas, se obtuvieron magnitudes de módulos que oscilaron entre los 5 MPa y los 70 MPa. El amplio rango de valores se debe a variables como el esfuerzo de fluencia (σ'_p), los esfuerzos efectivos aplicados (σ'), el esfuerzo desviador utilizado (σ'_d), la deformación unitaria (ϵ), el índice de plasticidad (I_p) y la relación de vacíos (e).

El efecto de la consolidación secundaria en la rigidez dinámica de las arcillas del antiguo lago de Texcoco es tal que tanto el módulo dinámico equivalente de Young (E_{eq}) como el módulo de resiliencia (M_r) experimentan un incremento al comparar los valores obtenidos al término de la consolidación primaria con los obtenidos durante la consolidación secundaria.

Los valores de los módulos obtenidos durante la consolidación secundaria exceden hasta en un 18 % en el caso del módulo dinámico equivalente de Young (E_{eq}), y hasta en un 19 % a los valores obtenidos durante la consolidación primaria.

La disminución de la relación de vacíos ligada al cambio volumétrico ocurrido en cada proceso de consolidación para cada uno de los esfuerzos efectivos aplicados favorece la rigidez dinámica de las arcillas del antiguo lago de Texcoco. Esto genera la obtención de módulos mayores para la consolidación secundaria en comparación con los módulos obtenidos para la consolidación primaria.

Los valores de I_p de las muestras utilizadas se encuentran en un rango entre 82 % y 187 %. Las muestras de suelo con los índices de plasticidad más bajos fueron las que presentaron los módulos (E_{eq} y M_r) más altos.

Referencias

- [1] L. Solís. (2017). Propiedades y modelos dinámicos para las arcillas del ex lago Texcoco. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM. Ciudad de México.
- [2] Instituto Mexicano del Transporte . (2014). Comportamiento dinámico de suelos no saturados y su aplicación a las vías terrestres. Sanfandila, Querétaro. Publicación Técnica No. 420.
- [3] Liu, J.-s., & Zhang, X.-d. Experimental Study on the Dynamic Characteristic of Soft Soil under Cyclic Loads, Journal of Highway and Transportation Research and Development, vol 8, No. 4. 2014.
- [4] H. Seed, & C. Chan. Clay Strength under earthquake loading conditions. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Divisions, American Society of Civil Engineers., Vol 92, pp. 53-78. 1966.
- [5] ASTM D 3999. (1991). Standard Test Methods for the Determination of the Modulus and Damping Properties of Soils Using the Cyclic Triaxial Apparatus, American Society of Testing Materials, ASTM.
- [6] Instituto Mexicano del Transporte . (2001). Módulos de resiliencia en suelos finos y materiales granulares. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte (ITM). Publicación Técnica No. 142. Retrieved mayo 20, 2019
- [7] AASTHO T 307. (2002). Standard Method of Test for Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASTHO.
- [8] P. Gárnica, N. Pérez, & D. Lavariega. (2002). Mecánica de materiales para pavimentos. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte (IMT). Publicación Técnica No. 197.
- [9] T. Romero. (2018). Evaluación comparativa del módulo dinámico y resiliente en las arcillas del exlago de Texcoco. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM. Ciudad de México.
- [10] J. García. (2019). Influencia de la consolidación secundaria en la rigidez dinámica de un suelo compresible (arcillas). Tesis de Licenciatura. Ciudad de México, México.
- [11] L. Vega. (2003). Análisis y modelación de algunas propiedades dinámicas de las arcillas del ex lago de Texcoco. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM. Ciudad de México.