



TECNOLOGÍA
en marcha

Revista trimestral

Mayo 2020

Volumen 33

ISSN 0379-3982 / ISSN-E 2215-3241

Número especial
Movilidad estudiantil 7



TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Publicación y directorio en catálogos




DOAJ




Red Iberoamericana
de Información y Comunicación Científica

Comisión Editorial

Ana Ruth Vilchez Rodriguez. 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. Movilidad
estudiantil 7. Abril (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



Editorial Tecnológica
de Costa Rica

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

latindex

www.latindex.unam.mx

Dialnet

dialnet.unirioja.es

DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

<http://www.doaj.org/>

SciELO

<http://www.scielo.org/>

REDIB

Red Iberoamericana
de Innovación y Conocimiento Científico
<https://redib.org>



Revista trimestral
Abril 2020
Volumen 33

ISSN 0379-3982 / ISSN-E 2215-3241

TECNOLOGÍA *en marcha*

Contenido

| | |
|--|----|
| Statistical Determination of Factors for Best Marketing Practices of Urban and Reclaimed Wood as Raw Material <i>Determinación estadística de factores para mejores prácticas de mercadeo de madera urbana y reciclada como materia prima</i> Alejandro Sánchez-Chinchilla | 3 |
| Simulación del sistema eléctrico de potencia de nanosatélites por medio de PSpice <i>Simulation of the electrical power system of nanosatellites using PSpice</i> Catalina Varela González | 20 |
| Diseño de estaciones de carga solar para bicicletas eléctricas <i>Design of solar charging stations for electric bikes</i> Pablo Andrés Cordero Alvarado | 36 |
| Estructura de hardware y software para el hospedaje y ejecución de rutinas de comportamiento autónomo en vehículos aéreos no tripulados <i>Hardware and software structure for hosting and executing autonomous behavior routines in unmanned aerial vehicles</i> Pablo Andrés Araya Castillo | 54 |
| Controlling design for Nasmyth focus concept for 2.1 m telescope of the OAN-SPM <i>Diseño del control para el concepto del foco Nasmyth para el telescopio de 2,1 m del OAN-SPM</i> Isaac Porrás-Navarro, Joel H. Castro-Chacón, Joel Herrera-Vázquez, Juan Manuel Nuñez, Mauricio Reyes-Ruiz | 65 |

Comparativa entre modelos turísticos sostenibles vigentes en España y Costa Rica; tomando como referencia la región de Murcia, Cartagena y la región Caribe Sur, Gandoca

Comparison between sustainable tourism models in force in Spain and Costa Rica; Taking as reference the region of Murcia, Cartagena and the South Caribbean region, Gandoca

Allan Alexander Cerdas Monge 76

Aproximación inicial a la comparación de cámaras hiperespectrales para su aplicación en agricultura

Initial approach to the comparison of hyperspectral cameras for application in agriculture

Rodolfo José Piedra Camacho 82

Aplicación de *Deep Learning* al aprendizaje de modelos en robótica cognitiva

Deep Learning application to model learning in cognitive robotics

Ariel Rodríguez-Jiménez, Esteban Arias-Méndez, Francisco Bellas-Bouza,

Jose Becerra-Permy 92

Diseño de paisaje para el bienestar humano: pautas de diseño

Landscape Design for Human Wellness, Design Guidelines

Estephania Largaespada 105

Manufactura de andamios para cultivos celulares: automatización de módulos de suministro

Manufacture of scaffolds for cell cultures: automation of supply modules

Jorge Carvajal-Araya 116

Influence of the design of a mist chamber for the deposition of nanometric thin liquid films – proof-of-concept

Influencia del diseño de una cámara de niebla en la deposición de nano-películas delgadas líquidas – prueba de concepto

Silvia Hidalgo, Laura Barillas, Klaus-Dieter Weltmann, Katja Fricke 130

Statistical Determination of Factors for Best Marketing Practices of Urban and Reclaimed Wood as Raw Material

Determinación estadística de factores para mejores prácticas de mercadeo de madera urbana y reciclada como materia prima

Alejandro Sánchez-Chinchilla¹

Sánchez-Chinchilla, A. Statistical Determination of Factors for Best Marketing Practices of Urban and Reclaimed Wood as Raw Material. Tecnología en marcha. Edición especial Movilidad Estudiantil 7. Abril, 2020. Pág.3-19.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i6.5164>



¹ Estudiante de Ingeniería en Producción Industrial. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: sanchezch.alejandro@gmail.com

Keywords

Urban wood utilization; reclaimed wood utilization; factorial analysis; marketing practices.

Abstract

This research is about statistical determination of factors indicated as benefits and barriers, regarding the urban and reclaimed wood in United States market. Through literature review was identified 14 and 8 variables cataloged as benefits and barriers respectively, to conform an initial model, which was consulted to 390 companies of this market for the measurement of the importance level of each variable based on company's experience. This was made through a survey as research tool, validated by methodologic triangulation (surveys experts, academic area experts and industry experts). The initial model was reduced into a management model with 6 and 4 factors for benefits and barriers respectively, containing the correlated variables.

For current situation diagnosis was confirmed that this market is relative new, on its majority is the reclaimed wood more used as raw material than urban wood, and that there is a low percentage of benefits variables on company's advertising. Solutions to proposed problems are a management model and a propose for best marketing practices, which can increase incomes that could generate 60% of net profit. Conclusions are that is possible condense the variables found on literature into a simpler model, which can work as a validated source of information to better marketing strategies, and the recognition of the barriers for this raw material utilization.

Palabras clave

Utilización de madera urbana; utilización de madera reciclada; análisis factorial; prácticas de mercadeo.

Resumen

Esta investigación trata sobre la determinación estadística de factores catalogados como beneficios y barreras, sobre la utilización de madera urbana y reciclada en el mercado estadounidense. Mediante revisión de literatura se identificaron 14 y 8 variables catalogadas como beneficios y barreras respectivamente, para conformar un modelo inicial, el cual se sometió a consulta a 390 empresas que forman parte de este mercado para medir el nivel de importancia de cada variable basados en su experiencia. Esto se realizó por medio de una encuesta como herramienta de investigación, validada mediante triangulación metodológica (expertos en encuestas, del área académica y de la industria). Se redujo el modelo inicial en uno con 6 y 4 factores para los beneficios y barreras respectivamente, conteniendo las variables que se correlacionan entre sí.

Para el diagnóstico de la situación actual se confirmó que este mercado es relativamente nuevo, que en su mayoría se utiliza la madera reciclada contra la urbana y que se da un bajo porcentaje de utilización de las variables en sus mensajes promocionales. Las soluciones a los problemas planteados son un modelo de gestión y una propuesta para mejores prácticas de mercadeo, el cual puede significar un aumento de ingresos que generen 60% de utilidad neta extra. Se concluye indicando que es posible resumir las variables dadas por la teoría en un modelo más simplificado, funcionando como fuente de información válida para la elaboración de planes de promoción más eficaces y el reconocimiento de las barreras para la utilización de esta materia prima.

Introduction

Urban trees are those which grows within areas with more than 2500 people [1], are concentrated in parks, sidewalks, backyards, etcetera and either for natural, security or health reasons, those trees are going to be eventually removed. When this happens, wood waste with great quality and a lot of historical value is generated, and usually goes to landfills or are destined for low quality products. There is also the reclaimed wood, which comes from old buildings, barns or houses that are going to be demolished because of their antiquity or no utilization [2] [3] and it has an important potential as a cheap and great quality source of raw material for wood products.

In spite of the mentioned benefits regarding the utilization of these kinds of wood, there is barriers that does not let the wood companies to take advantage of this material, like logistics, lack of knowledge about their benefits or marketing strategies, lack of support from local governments, among others [4] [5] [6].

With this, considering the benefits and barriers that carries the utilization of urban and reclaimed wood it is unknow about what are the significant factors from the wood companies' perspective based on their experience concerning the use of this kind of material to sell their products within the United States of America market.

This research was developed at Bioproducts and Biosystems Engineering Department, University of Minnesota, for the Forest Products Management Development Institute. The Institute, which aims to provide industry and overall public, seminars, workshops, programs and research to increase knowledge regarding forest resources, environment and wood products.

Methodology

Literature review

With the purpose of recollecting relevant information and understanding the context of the urban and reclaimed wood, a literature review was made. Through this was understood the concepts of for example urban trees, reclaimed wood, the value of this wood, the variables identified as benefits and barriers of its utilization, and the development of its market.

The benefits variables and barriers identified are shown in tables 1 and 2.

Table 1. Benefit variables found in literature review.

| Code | Benefit variables |
|------|---|
| P1 | To appeal to consumer demand for more sustainable and local products |
| P2 | To capitalize on a supply of wood otherwise being underutilized or wasted |
| P3 | To capitalize on a supply of low-cost raw material |
| P4 | To acquire raw materials with unique characteristics (e.g., aesthetics, strength) |
| P5 | Higher profit margins by using urban/reclaimed wood |
| P6 | To differentiate from the competition |
| P7 | To support local economies |
| P8 | Quality |
| P9 | Customization |
| P10 | Emotional value |
| P11 | Aesthetics |
| P12 | Sustainability |
| P13 | Historical significance |
| P14 | Local/domestic sourcing |

Table 2. Barrier variables found in literature review.

| Code | Variable barriers |
|------|---|
| N1 | Lack of consumer awareness on urban or reclaimed wood |
| N2 | Difficulty finding raw materials in the right quantity and/or quality |
| N3 | Difficulty working with non-traditional raw materials (embedded metal, invasive pests, paint, etc.) |
| N4 | Lack of storage space for urban and reclaimed wood raw materials |
| N5 | Lack of financial resources |
| N6 | Poor relationships with suppliers, including municipalities or firms |
| N7 | Lack of market research and poorly identified target markets |
| N8 | Under-performing or insufficient marketing efforts |

Note: Each variable was coded for a simple way of its representation for the statistical analysis.

Sample selection and companies search

The target population for the research is the companies that belongs to the market of manufactured products with reclaimed and urban wood. The sample was selected by the quota sampling method, which is used often in marketing and opinion researchers, a determined quota is set for each fraction from the target population [7]. In this case the number of fractions is 50, because of the 50 states that conforms the United States, trying to get 10 samples by each state to reach the 500 samples, this because the historical response rate that has had the Institute in past researches (10%), also this number because the factorial analysis, which is going to be explained later, that needs at least 50 samples.

The companies were collected using Google and directories, using keywords like “urban wood companies”, “reclaimed wood companies” and its synonyms, for example “urban lumber”, “urban wood waste”, “antique wood/lumber”, “recycled lumber”.

Design of a survey as research tool

A survey was designed through Qualtrics software, which contains not only the needed questions for the statistical analysis, but also items to recollect information about demography and current marketing practices.

Research tool validation

The validation was made through Methodic Triangulation, this offers the possibility of seeing the problem from different angles, and by this increase the validity and consistency of our findings [8]. The parts that participated in the triangulation for this research were an expert on surveys, an academic expert on forest and wood topics and experts from the wood industry.

Apply of the research tool

With a final and validated version of the survey, was proceeded the application of the survey, sending it to all the complied companies being implemented a guide where a first email is sent with the invitation to these companies to fill out the survey, if after a week there is no response, a second email is sent remembering the invitation, then, after another week all the data is downloaded for the analysis [9].

Data analysis

The items of the survey that are treated through statistical analysis are those that contains the variables identified as benefits and barriers of the utilization of the urban and reclaimed wood, these to identify the correlation between the variables through factorial analysis.

The respondent answered these items through Likert scale, which is the scale with five, seven or nine points used for surveys where according with a level of agreement or disagreement, the respondent answer the question with its perception [10]. For this case was selected the Likert scale with five points, because there is evidence saying that there is no more reliability using a seven or more points scale, and by this way the respondent has a more easy or simple survey to fill.

Obtained the answers, was used the principal components analysis and factorial analysis, which are tools to summarize the data in a few dimensions, condensing a big number of variables into a smaller number of factors which only contains the significant ones [11]. The factorial analysis needs at least 50 responds to have valid conclusions [12].

Additionally, to check the validity of the answers from the Likert scale, was implemented the statistical analysis Cronbach's alpha, which it is a simple and reliably way for checking the existing correlation between the items that are part of the survey, where a Cronbach's alpha obtained greater than or equal to 0.7 indicates a good internal consistency for the scale [13].

Results and conclusions

The results from the statistical analysis were compared against the statements about the variables found at the literature and through this concluding which ones are corelated.

Objectives

Overall objective

Determine statistically the significant factors that benefit and obstruct the utilization of urban and reclaimed wood for the identification of best marketing practices of companies in the United States of wood products that use this kind of raw material.

Specific objectives

- Create, validate and apply a research tool for the measurement of perception from the urban and reclaimed wood processing companies regarding the variables that influence the utilization of this kind of wood as raw material.
- Compose a list of significant factors about the benefits of urban and reclaimed wood utilization for being used as a best a marketing practices reference.
- Recognize the significant factors regarding barriers of urban and reclaimed wood utilization.

Currently situation diagnosis

Characteristics and profile of complied companies.

Was selected 390 companies, which 80% are located in 21 from the 50 states of the United States, these states are Wisconsin, Virginia, California, Texas, Florida, Georgia, Washington, New York, Montana, Michigan, Illinois, Pennsylvania, Massachusetts, Minnesota, Oregon, Tennessee, Maryland, Utah, Arizona, Missouri y Louisiana. Regarding these 390 companies, 60.8% indicated just reclaimed wood, 34.6% just urban wood, and 4.6% both type as raw material.

Marketing strategies currently implemented.

Of the 14 variables found through literature review identified as benefits, just 7 have been used in the companies' advertising, presented in table 3.

Table 3. Currently variables used for advertising.

| Variable | Synonyms | Reclaimed | Urban | Both | TOTAL | (%) |
|----------------------------|--------------------------------|-----------|-------|------|-------|-----|
| To support local economies | Locally, originally, domestic. | 13 | 25 | 2 | 40 | 10 |
| Quality | - | 28 | 11 | 2 | 41 | 11 |
| Customization | Unique, different, | 9 | 11 | 0 | 20 | 5 |
| Emotional value | Love, family. | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| Aesthetics | - | 1 | 4 | 0 | 5 | 1 |
| Sustainability | Green, environment. | 51 | 35 | 5 | 91 | 23 |
| Historical significance | History, old, antique. | 84 | 4 | 0 | 88 | 23 |

Data form the survey

As was indicated in the last section, 390 companies were selected for the research, but from those, was obtained only 117 valid responses, so next results are going to be analyzed based on these number of responses.

The table 4 shows the period of time that these companies have been in the market.

Table 4. Number of companies by time period of existence.

| Period (years) | Number of companies | Percentage |
|-----------------|---------------------|------------|
| Less than 1 | 3 | 3% |
| Between 1 & 4 | 14 | 12% |
| Between 5 & 9 | 34 | 29% |
| Between 10 & 15 | 25 | 21% |
| More than 15 | 41 | 35% |

From companies that responded, 65% have been in the urban and reclaimed wood market less than 15 years, proving with this, the recently peak on this market.

Also, these companies responded regarding which regions are the ones where they mainly sell their products, see table 5.

Table 5. Number of companies by region.

| Region | Companies |
|-------------|-----------|
| Exportation | 59 |
| Northwest | 58 |
| Southwest | 50 |
| Southeast | 44 |
| Midwest | 35 |
| Northeast | 22 |

This information is important for these companies so that they can know what regions they have more or less competition in and they can use that information to lead to more potential clients.

Remains a greater percentage for reclaimed wood utilized by these companies than urban wood as raw material compared with the initial data from the 390 companies, as figure 1 shows.

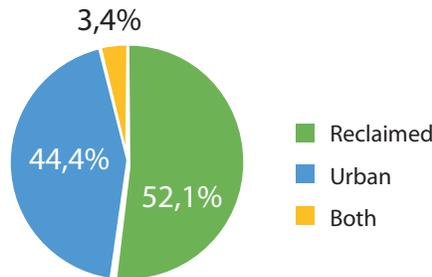


Figure 1. Type the wood percentage used by the companies.

The companies also indicated which wood species do they use for the productions of their products, as can be seen in next figure, the most utilized specie is white oak, and the least is aspen, see figure 2.

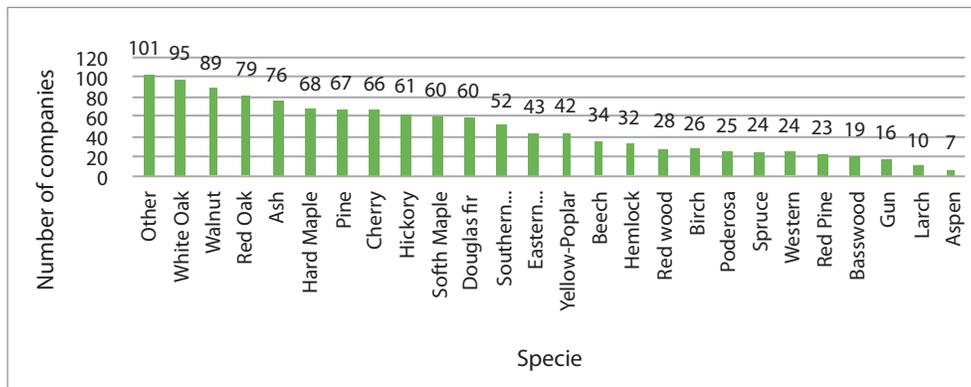


Figure 2. Species utilized as source of wood.

Table 6 shows specifically what products are made with these wood species.

Table 6. Products and number of companies that produce them.

| Products | Number of companies |
|---|---------------------|
| Furniture | 92 |
| Mantels | 89 |
| Slabs | 81 |
| Lumber | 79 |
| Beams | 70 |
| Flooring | 62 |
| Millworks (paneling, trim, etc.) | 59 |
| Stair parts | 56 |
| Doors | 40 |
| Byproduct (sawdust, chips, etc.) | 38 |
| Cabinets (kitchen and bathroom) | 36 |
| Accessories (games, trinkets, etc.) | 21 |
| Windows | 21 |
| Tableware (kitchen utensils, bowls, etc.) | 19 |
| Other | 8 |

Lastly, the distribution between the number of companies compiled and the number of companies that responded to the survey are compared, regarding the type of wood that they indicated as raw material, this can be seen in figure 3.

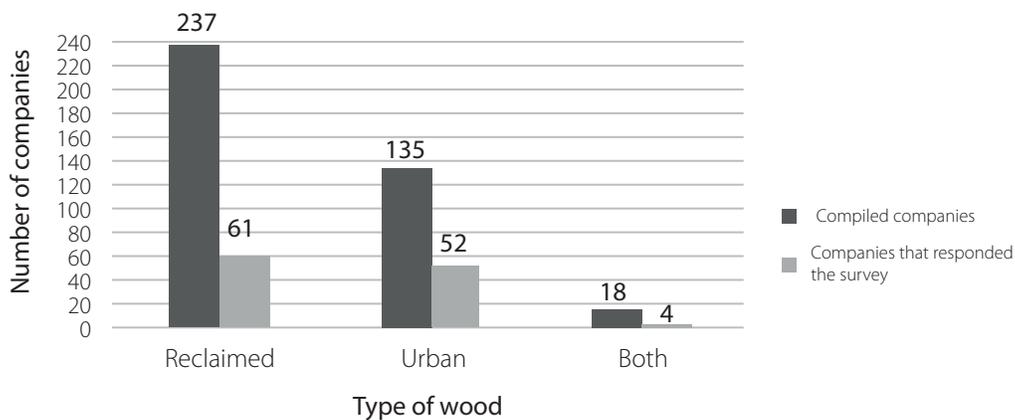


Figure 3. Initial data compared to final data distribution.

Based on the figure above, the initial and final data show the same trend. Also, is indicated that the response rate obtained was 31,3% which is greater than the department's historical rate (10%). This value and the way that it was calculated is show in table 7.

Table 7. Calculation of response rate.

| | |
|--|-------|
| Initial sample | 390 |
| (-) Undeliverable and failed emails | 6 |
| (-) Companies that declined to participate | 0 |
| (-) Incomplete questionnaires | 10 |
| Adjusted sample | 374 |
| Usable responses | 117 |
| Adjusted response rate (117/374) | 31,3% |

Data analysis

Cronbach's alpha analysis

The obtained Cronbach's alpha for each type of variable can be found in table 8.

Table 8. Obtained Cronbach's alpha.

| Variables | Cronbach's Alpha |
|-----------|------------------|
| Benefits | 0,7667 |
| Barriers | 0,7792 |

For both cases, Cronbach's alpha is greater than the reference value (0.7) [14] and with this is allowed to indicate that between the survey questions and the Likert scale exists the correlation for affirm that is given the level of needed internal uniformity in the items for the measure of the same characteristic.

Principal components analysis

Figure 4 shows the scree plot for principal components analysis for benefit variables.

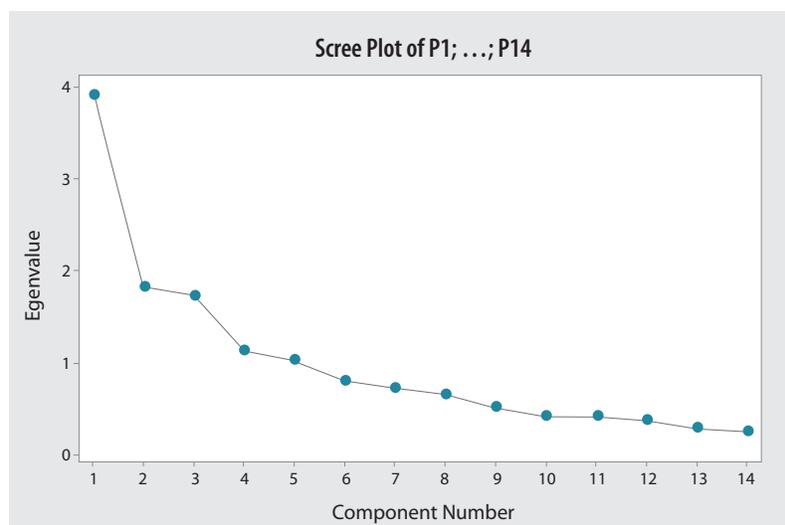


Figure 4. Scree Plot for benefits variables

From figure 4, it can be seen that starting from component 6, the trend of the line starts to flatten and therefore the variability is small, with this, the number of components would be 5.

This can be confirmed taking as decision reference the eigenvalue and the accumulated variability calculated for each component, these can be found in table 9.

Table 9. Eigenvalue and accumulated variability for benefits variables.

| Eigenanalysis of the Correlation Matrix | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Eigenvalue | 3,9129 | 1,8190 | 1,7294 | 1,1262 | 1,0198 | 0,7945 | 0,7220 | 0,6494 | 0,5052 | 0,4153 |
| Proportion | 0,279 | 0,130 | 0,124 | 0,080 | 0,073 | 0,057 | 0,052 | 0,046 | 0,036 | 0,030 |
| Cumulative | 0,279 | 0,409 | 0,533 | 0,613 | 0,686 | 0,743 | 0,795 | 0,841 | 0,877 | 0,907 |
| | | | | | | | | | | |
| Eigenvalue | 0,4099 | 0,3700 | 0,2775 | 0,2491 | | | | | | |
| Proportion | 0,029 | 0,026 | 0,020 | 0,018 | | | | | | |
| Cumulative | 0,936 | 0,962 | 0,982 | 1,000 | | | | | | |

So according with the eigenvalue that has to be around 1, the number of components would be 5, but this number explains only 68.6% of accumulated variability. To get an accumulated variability greater than or equal to 70% [15] is needed to take 6 components in this case.

The same analysis is made for barriers variables, see figure 5.

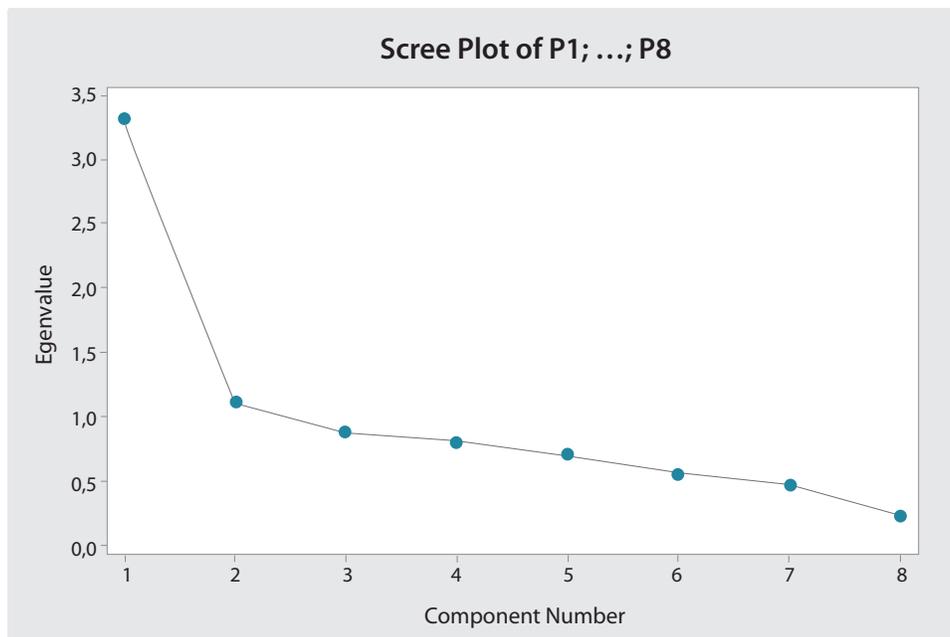


Figure 5. Scree Plot for barriers variables

From figure 5 can be seen that starting from component 3 the trend of the line starts to show flat and therefore the variability is small, with this, the number of components would be 2.

This can be confirm taking as decision reference the eigenvalue and the accumulated variability as well, calculated for each component, these can be found in table 10.

Table 10. Eigenvalue and accumulated variability for barriers variables.

| Eigenanalysis of the Correlation Matrix | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Eigenvalue | 3,2877 | 1,0970 | 0,8721 | 0,8002 | 0,6938 | 0,5573 | 0,4696 | 0,2223 |
| Proportion | 0,411 | 0,137 | 0,109 | 0,100 | 0,087 | 0,070 | 0,059 | 0,028 |
| Cumulative | 0,411 | 0,548 | 0,657 | 0,757 | 0,844 | 0,914 | 0,972 | 1,000 |

Again, according with the eigenvalue, the number of components would be 2, but this number explains only 54,8% of accumulated variability. To get a accumulated variability greater than or equal to 70% the number of components to choose would be 4.

Factorial analysis

This analysis was made using as extraction method the Principal Components technique with Varimax rotation type, examining the influences pattern that make each factor in each variable.

Table 11. Factorial analysis values for benefits variables.

| Rotated Factor Loadings and Communalities | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| Varimax Rotation | | | | | | | |
| Variable | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Factor 4 | Factor 5 | Factor 6 | Communality |
| P1 | 0,174 | -0,734 | -0,041 | 0,075 | 0,043 | -0,121 | 0,593 |
| P2 | 0,221 | -0,224 | -0,129 | -0,096 | 0,188 | -0,800 | 0,799 |
| P3 | -0,177 | -0,020 | -0,730 | -0,088 | -0,140 | -0,451 | 0,796 |
| P4 | 0,752 | -0,023 | -0,318 | -0,075 | 0,048 | -0,058 | 0,678 |
| P5 | 0,094 | 0,004 | -0,890 | 0,021 | 0,046 | 0,050 | 0,805 |
| P6 | 0,185 | -0,552 | -0,485 | 0,012 | 0,413 | 0,258 | 0,811 |
| P7 | -0,005 | -0,731 | -0,004 | -0,214 | 0,047 | -0,067 | 0,587 |
| P8 | 0,153 | -0,596 | 0,106 | -0,255 | 0,009 | -0,474 | 0,680 |
| P9 | 0,812 | -0,208 | 0,007 | -0,088 | 0,063 | -0,082 | 0,721 |
| P10 | 0,816 | -0,015 | 0,237 | -0,163 | 0,050 | -0,087 | 0,759 |
| P11 | 0,310 | 0,001 | -0,171 | -0,050 | -0,056 | -0,009 | 0,823 |
| P12 | 0,151 | -0,180 | 0,162 | -0,695 | 0,354 | -0,156 | 0,714 |
| P13 | 0,084 | -0,094 | 0,008 | -0,179 | 0,915 | -0,140 | 0,905 |
| P14 | -0,164 | -0,527 | 0,008 | -0,600 | 0,210 | -0,147 | 0,730 |
| Variance | 2,2205 | 2,1463 | 1,8020 | 1,7438 | 1,2501 | 1,2392 | 10,4017 |
| % Var | 0,159 | 0,153 | 0,129 | 0,125 | 0,089 | 0,743 | 0,743 |

From table 11 are grouped the variables that have an influence value close to 1, in absolute value, for each factor. The mentioned grouping is shown in table 12.

Table 12. Variables grouping for benefits variables.

| Factor | Variable (Code) |
|--------|-----------------|
| 1 | P10 |
| | P9 |
| | P4 |
| 2 | P1 |
| | P7 |
| | P8 |
| 3 | P5 |
| | P3 |
| 4 | P11 |
| | P12 |
| | P14 |
| 5 | P13 |
| 6 | P2 |

Now the factorial analysis for barriers variables is made, see table 13.

Table 13. Factorial analysis values for barriers variables.

| Rotated Factor Loadings and Communalities | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|-------------|
| Varimax Rotation | | | | | |
| Variable | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Factor 4 | Communality |
| N1 | 0,250 | 0,286 | 0,158 | 0,220 | 0,218 |
| N2 | 0,194 | 0,303 | 0,238 | 0,149 | 0,208 |
| N3 | 0,199 | 0,287 | 0,911 | 0,220 | 1,000 |
| N4 | -0,041 | 0,195 | 0,162 | 0,571 | 0,392 |
| N5 | 0,310 | 0,041 | 0,072 | 0,701 | 0,594 |
| N6 | 0,128 | 0,705 | 0,189 | 0,127 | 0,566 |
| N7 | 0,592 | 0,561 | 0,114 | 0,093 | 0,687 |
| N8 | 0,948 | 0,197 | 0,197 | 0,156 | 1,000 |
| Variance | 1,5032 | 1,1466 | 1,0298 | 0,9851 | 4,6648 |
| % Var | 0,188 | 0,143 | 0,129 | 0,123 | 0,583 |

By the same way that benefits variables were grouped, was defined next groups in table 14.

Table 14. Variables grouping for barriers variables.

| Factor | Variable (Code) |
|--------|-----------------|
| 1 | N8 |
| | N7 |
| 2 | N6 |
| | N2 |
| | N1 |
| 3 | N3 |
| 4 | N5 |
| | N4 |

Solutions to proposed problem

Definition of an urban and reclaimed wood management model

Defined the number of factors and variables that conforms each one is made next model. Each factor is named based on the variables that contains replacing the codes for its respective variable. This can be found in table 15 and 16.

Table 15. Given name for each factor regarding the benefits variables that contains.

| Factor | Variable |
|--|---|
| Raw material with unique customizable features and con valor emotional value | Emotional value |
| | Customization |
| | To acquire raw materials with unique characteristics (e.g., aesthetics, strength) |
| Diferentiation with quality sustainable products in local markerts | To appeal to consumer demand for more sustainable and local products |
| | To support local economies |
| | Quality |
| | To differentiate from the competition |
| Raw material with higher profit margins | Higher profit margins by using urban / reclaimed wood |
| | To capitalize on a supply of low-cost raw materia |
| Sustainable raw material with quality aesthetics of local sourcing | Aesthetics |
| | Sustainability |
| | Local/domestic sourcing |
| Intangible historical value | Historical significance |
| Rescue of wood with potential use | To capitalize on a supply of wood otherwise being underutilized or wasted |

Table 16. Given name for each factor regarding the barriers variables that contains.

| Factor | Variable |
|---|---|
| Market underutilization | Under-performing or insufficient marketing efforts |
| | Lack of market research and poorly identified target markets |
| Logistical difficulties with suppliers and available quantity or raw material | Poor relationships with suppliers, including municipalities or firms. |
| | Difficulty finding raw materials in the righth quantity and/or quality |
| | Lack of consumer awareness on urban or reclaimed wood |
| Complexity to work with non-tradicional raw material | Difficulty working with non-tradicional raw materials (embedded metal, invasive pests, paint, etc.) |
| Lack of financial and physical space resources | Lack of financial resources |
| | Lack of storage space for urban and reclaimed wood raw materials |

This model can be represented graphically in figure 6.

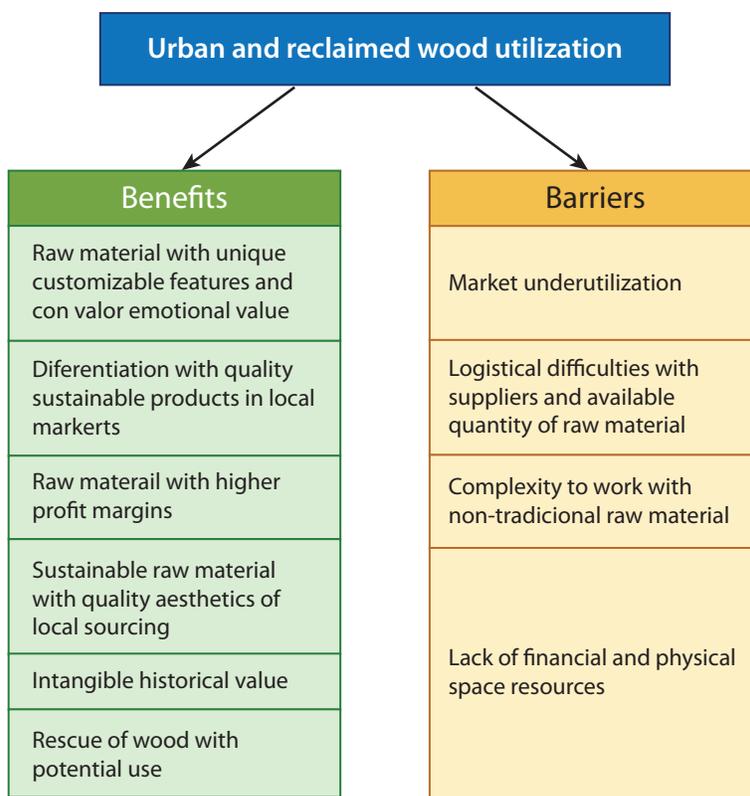


Figure 6. Graphic representation of management model.

The model above has a statistical base, that groups each variable as a lineal function of these adjacent factors, for a simpler interpretation regarding the benefits and barriers of these type of wood.

Proposal for a new marketing strategy implementation.

As was indicated in the marketing strategies currently implemented section, the percentage of companies that uses the variables identified as benefits their marketing strategies is low (23%), this is an opportunity for the rest of companies regarding the implementation of this, and by this way increase the demand of its products. An example of a companies that uses these variables is shown in figure 7.



Figure 7. Marketing strategy implementation.

The last two figures shows advertising from web pages that uses sentences like “sustainable sourced”, “story to tell”, “reclaimed and sustainable wood”, been this, a good way of attracting the attention of potential clients that found these characteristics as important.

Proposal’s economic impact

Since this is a relative new industry segment, there is no specific studies regarding the economic effects that carries this kind of marketing strategies, however there is studies in general. Digital advertising is already impacting companies incomes between a 30% and 60% of increase, this according with Federico Isuani, Socialand’s CEO, a consulting company of digital strategies. [16]

With this, next is developed an example about a simplified annual balance sheet and income statement of a company that makes products using urban and/or reclaimed wood. These examples have two scenarios, the first one where there is no marketing strategy applied and another one where it is applied in table 17.

Table 17. Simplified annual balance sheet example.

| | Without marketing strategy (USD\$) | With marketing strategy (USD\$) |
|----------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Sales | 100.000 | 130.000 |
| Sales cost | 25.000 | 25.000 |
| Gross profit | 75.000 | 105.000 |
| Operation cost | 30.000 | 30.000 |
| Net profit | 45.000 | 75.000 |

So, for a company that has an annual income of USD\$ 100.000 would earn USD\$ 45.000 of net profit, this without the marketing strategy. By the other hand if it is applied the marketing strategy and with the minimum percentage of increase indicated (30%), this company would earn USD\$ 75.000, a difference of USD\$ 35.000, or it can be seen as a 60% of difference about the net profit as well. It is import to indicate that this numbers do not include the respective cost from the application of the marketing strategy.

Conclusions

It is determined that there is an important geographic concentration of the compiled companies, with an 80% of these in 21 of 50 states that has the United States, which the majority works with reclaimed wood compare to urban wood, aspect to considering regarding the local competition level.

Also, there is a sub-utilization of attributes available for of the demand, in a market where there is an important competition for selling similar products.

There is sureness that the statistical treatment of data and the conclusions made are appropriated due to the utilization of a validated research tool, capable of the measurement of the needed characteristics, with the required correlation and internal uniformity.

Through principal components analysis and factorial analysis was possible to develop a management model by condensing a big number of variables that literature expresses as benefits (14) and barriers (8) for the utilization of urban and reclaimed wood into a smaller number of factors (6 and 4 respectively). Mentioned model can be a valid source of information for implementation of a more effective marketing strategy, which can increase at least a 30% of income that means a 60% of net profit.

Finally, it is determined which are the barriers that implies the utilization of this kind of wood, so that in parallel to a good marketing strategy, companies can concentrate their resources and energy for overcoming this obstacles and success in this market segment.

References

- [1] S. Sherrill, *Harvesting Urban Timber*. Vermont, USA: Echo Point Books & Media, 2017
- [2] J. Rouse. (2017). Where Does reclaimed Wood Come From? [Online]. Available: <http://www.altruwood.com/where-does-reclaimed-wood-come-from>
- [3] S. Stacy. (2017). The Benefits of Reclaimed Timber [Online]. Available: <http://greenbusinesswatch.org/blog/the-benefits-of-reclaimed-timber>
- [4] M. Stai and P. Wiseman and K. Fernholz, *Urban Wood Utilization in Virginia, North Carolina, and Georgia: A Comparison of Industry Practices and Perceptions*. Dovetail Partners, Inc, 2017
- [5] R. Macleod. (2011). Utilizing wood waste from CR&D and urban forestry [Online]. Forest Echo Available: <http://www.cricouncil.com/wp-content/uploads/2011/03/Wood-Utilization-CRI-Council.pdf>
- [6] R. Bohne. (2014). Barriers for Deconstruction and Reuse/Recycling of Construction Materials. International Council for Research and Innovation in Building and Construction [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/264671518_Barriers_for_Deconstruction_and_ReuseRecycling_of_Construction_Materials_in_Norway
- [7] R. Hernández, C. Fernández and M. Baptista, *Muestreo en la investigación cualitativa in Metodología de la investigación*, 5th ed. México DF, México: McGraw Hill, 2010
- [8] M. Okuda and C. Gomez-Restrepo, "Métodos en investigación cualitativa: triangulación," *Revista Colombiana Psiquiatría*: vol. XXXIV, 2005.
- [9] D. Dillman and J. Smyth and L. Christian, *Internet, Mail, and Mixed-Mode Surveys: The Tailored Design Method*. John Wiley & Sons, Inc., 2009
- [10] D. Bertram. (2008). Likert Scales: Are the meaning of Life [Online]. Available: <http://poincare.matf.bg.ac.rs/~kristina/topic-dane-likert.pdf>
- [11] Minitab Inc. (2017). Revisión general de Análisis Factorial [Online]. Available: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/multivariate/how-to/factor-analysis/before-you-start/overview/>
- [12] J. Hair and W. Black and B. Babin. and R. Anderson, *Multivariate Data Analysis*. Prentice Hall, 2009
- [13] H. Oviedo and A. Campo-Arias, "Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach." *Rev. colomb. Psiquiatr*, 2005
- [14] S. Domínguez-Lara and M. Merino-Soto, "¿Por qué es importante reportar los intervalos de confianza del coeficiente alfa de Cronbach?" *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 2015
- [15] N. O'Rourke and L. Hatcher, *Factor Analysis and Structural Equation Modeling*, 2nd ed. North Caroline: SAS Institute Inc., 2013
- [16] J. López. (2016). Firms suben hasta 60% sus ventas con marketing digital [Online]. Available: <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/firmas-suben-hasta-60-sus-ventas-con-marketing-digital>

Simulación del sistema eléctrico de potencia de nanosatélites por medio de PSpice

Simulation of the electrical power system of nanosatellites using PSpice

Catalina Varela González¹

Varela-González, C. Simulación del sistema eléctrico de potencia de nanosatélites por medio de PSpice. Tecnología en marcha. Edición especial Movilidad Estudiantil 7. Abril, 2020. Pág. 20-35.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i6.5165>

¹ Ingeniera Mecatrónica. Insituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: catalina.varela.go@gmail.com



Palabras clave

Sistema Eléctrico de Potencia; Nanosatélite; Satélite Lean; PSpice; Simulación.

Resumen

El concepto de “lean satellite” ha tomado fuerza acompañado con el incremento de pequeñas empresas y universidades que desarrollan este tipo de satélites. La construcción de satélites basada en este concepto ha permitido a estas entidades alcanzar tecnologías espaciales a pequeña escala. La creciente popularidad tiene que ver con su reducido tamaño, ligero peso y significativa menor inversión.

El sistema eléctrico de potencia provee energía a todas las cargas y subsistemas presentes en los nanosatélites. En este sistema se produce, almacena, controla y distribuye dicha energía. La comprensión de su funcionamiento resulta fundamental para asegurar el éxito de las misiones de los nanosatélites. Los componentes encargados de controlar y regular esta energía son los convertidores CC-CC que elevan o reducen la tensión de acuerdo a la demanda o al estado de tensión de la batería, por esta razón los convertidores también aseguran el correcto funcionamiento del sistema.

Este artículo se basa en el informe de proyecto de graduación titulado: Simulación del sistema eléctrico de potencia de la constelación de nanosatélites del proyecto BIRDS. Se muestra la estructura general del sistema eléctrico de potencia empleado, así como una comparación de la simulación por medio de PSpice y el funcionamiento de los convertidores CC-CC utilizados para el proyecto BIRDS 2, desarrollado en LaSEINE, laboratorio del Instituto Tecnológico de Kyushu.

Keywords

Electrical Power System; Nanosatellite; Lean Satellite; PSpice; Simulation.

Abstract

The concept of “lean satellite” has taken force accompanied by the increase of small companies and universities that develop this kind of satellites. The construction of satellites based on this concept has allowed these entities to reach space technologies on a small scale. The growing popularity has to do with their small size, light weight and significant lower investment.

The electrical power system provides power to all the loads and subsystems present in the nanosatellites. This energy is produced, stored, controlled and distributed in this system. The understanding of its operation is fundamental to ensure the success of the missions of the nanosatellite. The components responsible for controlling and regulating this energy are the DC-DC converters that boost or buck voltage according to load demand or charge of the battery, for this reason converters also ensure the correct operation of the system.

This article is based on the graduation project report titled: Simulation of the power electrical system of the nanosatellite constellation of the BIRDS project. The general structure of the power system used is shown in this article, as well as a comparison between the simulation using PSpice and the operation of the DC-DC converters used for the BIRDS 2 project, developed in LaSEINE, laboratory of Kyushu Institute of Technology.

Introducción

El concepto de “lean satellite” se introduce para dar a entender una nueva filosofía para el desarrollo de satélites a pequeña escala, se dice que “es un satélite que utiliza un desarrollo y enfoques de gestión no tradicionales y arriesgados, con el objetivo de proporcionar al cliente valor de algún tipo, a bajo costo y sin tomar mucho tiempo para realizar la misión del satélite.” [1]

Los proyectos BIRDS buscan que los estudiantes involucrados comprendan las tecnologías del espacio por medio de la construcción de los “lean satellites”. En estos proyectos el tiempo de diseño y construcción es limitado, por lo que se busca ayuda de entidades externas en algunos de los procesos de diseño y construcción que disminuyen el tiempo y costos de producción. El problema es que no existe un sistema de verificación y validación eficiente para estos componentes, como en este caso del sistema eléctrico de potencia.

El sistema eléctrico de potencia para los satélites es el conjunto de elementos que cumple la función de generar, guardar, controlar y distribuir energía con la tensión de banda especificada para el bus y las cargas. Por lo general, los componentes básicos del sistema de potencia son: el panel solar, el controlador del panel solar, la batería, los reguladores de carga y descarga, el regulador de voltaje del bus, los interruptores de carga, los fusibles y el arnés de distribución. [2]

Para la regulación se utilizan convertidores de potencia CC-CC que se encargan de transformar el nivel de tensión entre dos componentes, ya sea mediante la elevación o reducción de la misma. [4] La unidad de distribución de potencia también contiene elementos importantes que se utilizan para conectar la plataforma eléctrica de cargas hacia el bus principal y en la protección al exceso de corriente. [5]

“La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con él para entender su comportamiento y evaluar sus especificaciones.” [3] Normalmente se realizan simulaciones para el diseño de los lazos de control sobre la energía proveniente del panel solar, utilizando herramientas como MATLAB. Pero estas simulaciones no buscan el modelar con precisión los dispositivos utilizados en el diseño de circuitos integrados sino que se enfocan en teoría de circuitos, diseño de filtros, sistemas de control.

La elaboración de la simulación del sistema eléctrico de potencia utilizando PSpice, para los nanosatélites del proyecto BIRDS 2, pretende contribuir con el acceso a los modelos de los dispositivos reales utilizados en este proyecto para satisfacer la necesidad de diseñar un sistema de verificación del circuito que sea efectivo, fácil de manejar, y que además permita visualizar de forma estructurada el diseño.

Las simulaciones son parte importante en los procesos de diseño de las grandes empresas debido a la disminución de costos y tiempos de fabricación, por la misma razón se debe buscar su implementación en las investigaciones con fines educativos. La publicación de este artículo pretende incentivar el desarrollo de nuevos sistemas de verificación y validación utilizando herramientas computacionales.

El objetivo principal del presente artículo es determinar la validez de la simulación de los componentes del sistema eléctrico de potencia como instrumento de prueba y análisis del circuito físico. El artículo consta de tres partes principales, en la primera parte se explica el método utilizado para obtener los resultados que se muestran y analizan en la segunda parte, y finalmente en la tercera parte se presentan las conclusiones.

Metodología

En primer lugar se establece el flujo de trabajo y estructura básica del sistema eléctrico de potencia de los satélites del proyecto BIRDS 2. La figura 1 muestra como el proceso comienza al tomar la energía solar por medio de los paneles, esta se regula antes de permitir la alimentación del sistema de carga. Seguidamente, se añade la batería, que se encargará de almacenar y abastecer la energía. A partir de este punto, se realiza la distribución de energía, no sin antes añadir protecciones en caso de que exista un exceso de corriente en el sistema. Esta distribución cuenta con energía regulada y sin regular que abastecerá cada sistema dependiendo de las demandas y limitaciones.

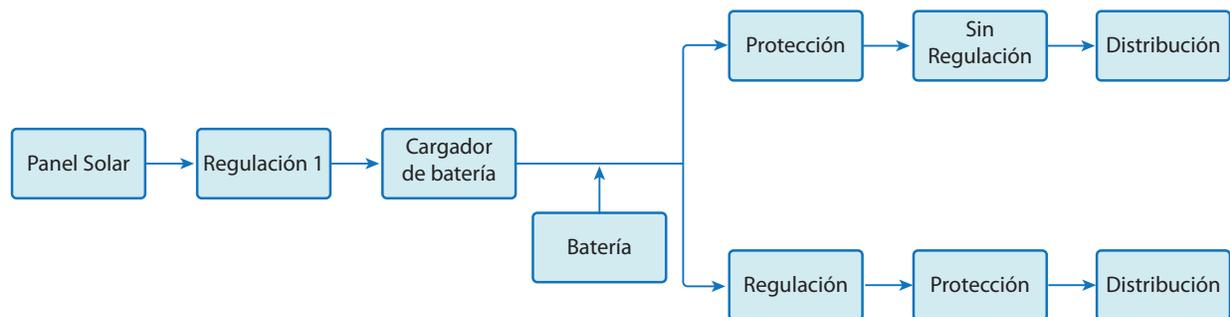


Figura 1. Diagrama de bloques de alto nivel del sistema eléctrico de potencia. Elaboración propia utilizando Lucidchart.

Para seleccionar los parámetros de interés, se estudian todos los elementos del sistema frente a situaciones críticas de nivel de carga de la batería y la demanda de potencia exigida por la carga del sistema, esto se define al considerar que dichas condiciones no deben alterar el funcionamiento del sistema de potencia porque esto significaría una falla en los subsistemas abastecidos. De esta forma, se eligen las tensiones de salida de los convertidores TPS63020 a 3.3V y el TPS61235 a 5V, y se desea comprobar que a distintas condiciones de la batería (alta y baja tensión), el sistema sea capaz de mantener la tensión de salida establecida.

Otra de las características críticas es la demanda energética del sistema. De esta manera, se busca analizar la respuesta de los convertidores escogidos frente a grandes cargas, simulando una eventual sobrecarga al sistema. Es por este motivo, que se busca determinar los límites hasta los cuáles cada convertidor funciona de forma adecuada.

Para desarrollar la simulación lo más cercano al sistema real, se decide simular el panel solar de acuerdo a los modelos ya existentes, se añade el modelo más sencillo de una batería y se añaden los distintos componentes al sistema de acuerdo a su configuración. En primer lugar, se divide la simulación en cada uno de los componentes y se comprueba que la configuración individual se comporte de la misma manera que lo hace el dispositivo en la realidad. A partir de esto, se desea unir cada uno de los componentes en bloques más grandes hasta integrar un sistema.

En el caso del panel solar, se utiliza como guía el modelo que presenta Patel. [2] De esta forma se obtienen los valores de las resistencias y se le asignan características específicas al diodo del modelo. Con esto se pretende comparar la corriente I_{sc} y la tensión V_{oc} del modelo contra los datos presentados en la hoja de datos de la celda solar TJ3G30A. Cada una de las baterías que poseen una tensión nominal de 1.2 V, se simulan utilizando una fuente de tensión constante y una resistencia cuyo valor es obtenido por medio de las pruebas de seguridad realizadas previamente en el laboratorio.

Para cumplir con las normativas y los procesos de seguridad exigidos por la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), se añaden distintos dispositivos empleados para asegurar el correcto encendido y apagado del sistema en los momentos que se requieren. En todos los casos se utiliza un circuito básico de prueba para conmutadores tipo MOSFET, que corresponde a la alimentación del pin Gate con una señal periódica de encendido y apagado, la conexión de una fuente de tensión CC y una carga al pin de Source y finalmente el pin Drain conectado a tierra.

En la figura 2 se muestra el sistema final, una vez que se han realizado las conexiones entre los componentes configurados por medio de la herramienta presente en el software la cual permite ramificar el sistema e integrarlo en una vista de esquemático final que se comportará como el programa principal. De este modo, los complejos circuitos serán visualizados como cajas con entradas y salidas que brindan una apariencia más limpia y sencilla. Y la simulación de la energía consumida por el sistema, se realiza por medio de una fuente de corriente que definirá los cambios en la demanda de energía del sistema y que se puede comparar con la carga electrónica propuesta para medir el sistema real.

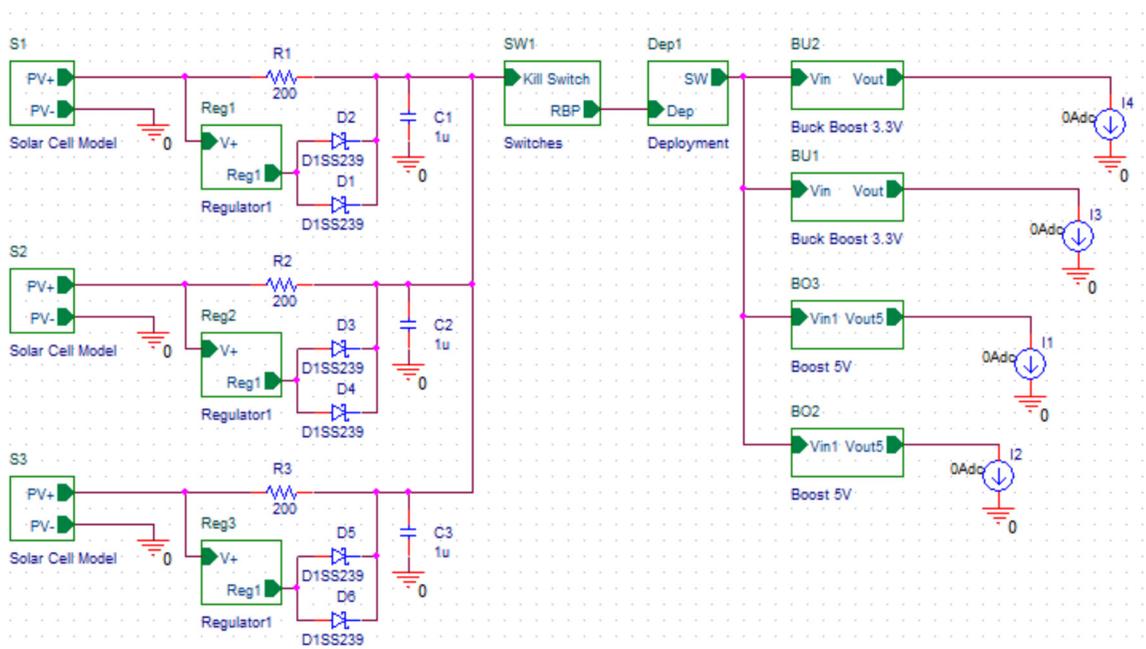


Figura 2. Simulación del sistema eléctrico de potencia. Elaboración propia utilizando PSpice.

Métodos para la Medición del Modelo de Ingeniería

Para realizar las mediciones se establecen dos métodos en los cuáles se medirán las salidas reguladas de los convertidores TPS61235 y TPS63020 en condiciones distintas de operación, como la demanda de corriente por parte de los sistemas a los que se distribuye la energía y la carga de la batería.

Método 1

Como se menciona anteriormente, este método no invasivo busca obtener el valor de la tensión de salida de los convertidores TPS61235 y TPS63020 por medio el ADC AD7298 que recolecta los datos dentro del sistema eléctrico de potencia y transmitirlos por medio de comunicación serial a través del programador diseñado para BIRDS 2 que consiste principalmente en el componente ADM3202. Las baterías de Hidruro de Níquel Metal, se encargan de alimentar las placas a 4.012 V y no se le aplica ninguna carga externa. Utilizando los componentes y el equipo que se enlista en el cuadro 1, se verifica la tensión para el suministro de 3.3V.

Componentes y Equipo

Cuadro 1. Componentes y equipo utilizados para el método 1 de medición.

| Nombre | Cantidad |
|---------------------------------------|----------|
| Sistema Eléctrico de Potencia BIRDS 2 | 1 |
| Programador para OBC de BIRDS 2 | 1 |
| Cable de conexión serial | 1 |
| Programa computacional Putty | 1 |
| Guantes de látex | 1 |

Procedimiento

El primer paso será acondicionar el lugar de trabajo, seleccionando un área libre en el que se pueda colocar de forma segura el modelo de ingeniería, además se debe utilizar guantes para manipular el sistema de forma segura. En el circuito de prueba, los interruptores de seguridad se encuentran de tal forma que únicamente es necesario remover el “Kill Switch” para permitir que las baterías comiencen a energizar el sistema eléctrico de potencia, por lo que el primer paso será identificar y remover este pin.

En seguida, se puede iniciar la comunicación serial a través del software de monitoreo serial de preferencia, en este caso se utiliza Putty en éste se despliegan inmediatamente las configuraciones iniciales, y al presionar la tecla de entrada se visualiza el menú con las actividades que pueden ser realizadas por medio del programador. Las opciones son: a: Get Housekeeping data, b: EPS Power output control, c: Housekeeping data collection, d: Check Flash Memories, h: See satellite Log, f: Reset All Time to 0, i: SEL current Measurement, m: Battery measurement, r: H8 Com Reset, t: Fuctional test, k: Command Execution.

Por medio de la letra “b”, se debe asegurar que los pines de suministro que se desean medir SUP 3.3V y SUP 5.0V se encuentren encendidos, esta opción guiará al usuario para que pueda realizar dicha acción. Seguidamente para visualizar los datos se debe introducir la letra “a” en el menú principal y esto nos brindará la corriente y potencia medidas, con lo que por medio de cálculos, se pueden obtener las verdaderas tensiones en estas salidas.

Método 2

Este método consiste en probar directamente los convertidores TPS61235 y TPS63020 que proveen SUP 3.3V y SUP 5V. En este caso, se utilizará una fuente de tensión de corriente continua en lugar de las baterías, con tensiones de 3V y 4.2V, esto con el fin de simular dos estados críticos en la batería. A la salida de estos convertidores se colocará una carga eléctrica con la cual se regulará la corriente demandada por los elementos que se conectan a los convertidores mencionados y se medirá desde 0 hasta el punto en el que el circuito de protección de potencia entra en funcionamiento, realizando las mediciones para cada 0.050A. En el cuadro 2 se enlistan los elementos necesarios para llevar a cabo este experimento.

Componentes y Equipo

Cuadro 2. Componentes y equipo utilizados para el método 2 de medición.

| Nombre | Cantidad |
|---------------------------------------|----------|
| Sistema Eléctrico de Potencia BIRDS 2 | 1 |
| Fuente CC GWINSTECK PSW 80-13.5 | 1 |
| Carga electrónica PLZ164WA | 1 |
| Multímetro | 1 |
| Guantes de látex | 1 |

Procedimiento

Se toman las mismas medidas de seguridad establecidas en el método 1. Luego se coloca la tensión de 3V o 4.2V en la terminal dónde se debe colocar la batería y se conecta la carga electrónica. Se ubican las salidas de los convertidores TPS61235 y TPS63020 y se miden por medio de un multímetro.

Resultados y Análisis

En general, se utilizarán las ecuaciones obtenidas de [6], las mismas se muestran a continuación y se utilizan para analizar los valores que corresponden respectivamente al porcentaje de error, el promedio de las mediciones, y la desviación estándar. Con ellas se busca establecer estadísticamente la validez de las mediciones realizadas y la proximidad de los datos de la simulación contra los valores medidos en los dispositivos reales.

$$\%Error = \frac{Valor_{Real} - Valor_{Aproximado}}{Valor_{Real}} \times 100$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

En la figura 3, se muestra la curva obtenida para el panel solar modelado con los parámetros establecidos. Se observa la forma de curva teóricamente esperada para un gráfico de tensión de circuito abierto en función de la corriente de cortocircuito para un panel solar, de aquí se puede calcular la potencia extraída del panel solar, utilizando un punto de corriente y un punto de tensión y calculando el área bajo la curva resultante.

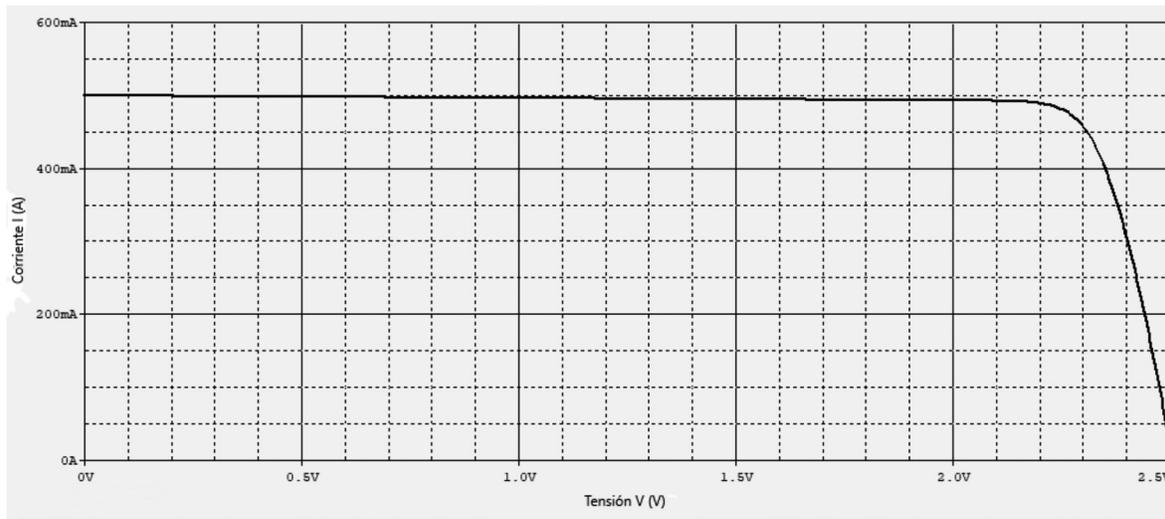


Figura 3. Simulación del gráfico V_{OC} vs I_{SC} de la celda solar. Elaboración propia utilizando PSpice.

Una vez identificada la forma característica de esta curva se procede a comparar los datos obtenidos en la simulación frente a los valores dados por la hoja de datos. Esta comparación permite conocer la exactitud del circuito modelado con respecto a los valores encontrados para estos paneles solares. En el cuadro 3 se presenta la comparación entre los datos del panel solar y la simulación del mismo.

Los datos obtenidos mediante la simulación se miden en el punto máximo de potencia que se extraen de la figura 3, y los datos para la comparación se extraen de la celda solar TJ3G30A. En el cuadro 3 se ubican los porcentajes de error asociados a estas mediciones, con los que se determina que en el caso de la tensión de circuito abierto existe un porcentaje de error que debe ser considerado, dependiendo del estudio que se desee realizar, sin embargo, sigue siendo bastante cercano al valor proporcionado por la hoja de datos. En el caso de la I_{SC} su exactitud es mayor, pero se debe ser cuidadoso al utilizar este tipo de modelos en simulaciones que requieran una exactitud mayor a la obtenida.

Cuadro 3. Datos eléctricos de la celda solar y los porcentajes de error asociados.

| Datos Eléctricos | Hoja de Datos | PSpice | Error (%) |
|--------------------------------------|---------------|---------|-----------|
| Tensión de Circuito Abierto V_{OC} | 2512mV | 2243mV | 11 |
| Corriente de Cortocircuito I_{SC} | 501.3mA | 482.9mA | 6 |

En el cuadro 4, se muestran los valores teóricos de la tensión que se configuró de acuerdo a la elección de los valores de los componentes y el valor de tensión estable obtenido por medio de la simulación por PSpice. En esta etapa se busca comprobar únicamente su funcionamiento de acuerdo a los componentes de entrada y salida establecidos, sin cambiar las condiciones de carga y batería del circuito.

Para cada uno de los comparadores se obtienen los porcentajes de error que determinan con qué exactitud la tensión de salida se comporta de acuerdo a los capacitores e inductores seleccionados, de los resultados se puede observar que el modelo en PSpice de los convertidores TPS61071, TPS61235 y TPS63020 es bastante exacto para los requerimientos comunes, excepto para el TPS62130 que pierde un poco de exactitud con un 12% de error.

Cuadro 4. Comparación entre los valores de tensión de los valores teóricos esperados y los obtenidos mediante PSpice

| Convertidor | Tensión V_o Teórica (V) | Tensión V_o en PSpice (V) | Error (%) |
|-------------|---------------------------|-----------------------------|-----------|
| TPS62130 | 4.2 | 3.7 | 12 |
| TPS61071 | 5.1 | 5.199 | 2 |
| TPS61235 | 5.0 | 5.068 | 1 |
| TPS63020 | 3.3 | 3.277 | 0.7 |

Con respecto a los componentes de seguridad, se muestra básicamente el cumplimiento de su funcionamiento como interruptores. Y se crea el cuadro 5, donde se muestran los valores de tensión V_{DS} que cada uno de ellos permite obtener en cada tensión de V_{GS} aplicada. Por lo tanto, se demuestra que efectivamente el modelo de cada uno de los MOSFET para PSpice cumple correctamente con su función de interruptor, que permite el paso y la interrupción de la tensión según el control en la tensión V_{GS} que se le asigne a cada uno. Debido a que no se lleva a cabo la medición de los MOSFET físicos, no se realiza el análisis de las pérdidas de tensión que vienen asociadas a estos dispositivos.

Cuadro 5. Tensiones V_{DS} para los MOSFET

| Interruptor | Tensión V_{DS} con $V_{GS}=5V$ (V) | Tensión V_{DS} con $V_{GS}=0V$ (V) |
|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| TPS22965N | 5 | 0 |
| Si706DN | 5 | 0 |
| SiA447DJ | 5 | 0.8 |
| SSM3K15AMFV | 5 | 0 |
| SSM6K411TU | 5 | 0 |

Resultados del sistema Real

Seguidamente, se muestran los gráficos obtenidos por medio de las mediciones realizadas al sistema real, las cuáles se repitieron seis veces para cada uno de los estados medidos con lo que se calculó un valor promedio y se comparó con los datos obtenidos en la simulación. Además, se realizan cálculos estadísticos que permiten observar la exactitud de las mediciones y las diferencias encontradas entre los dos sistemas.

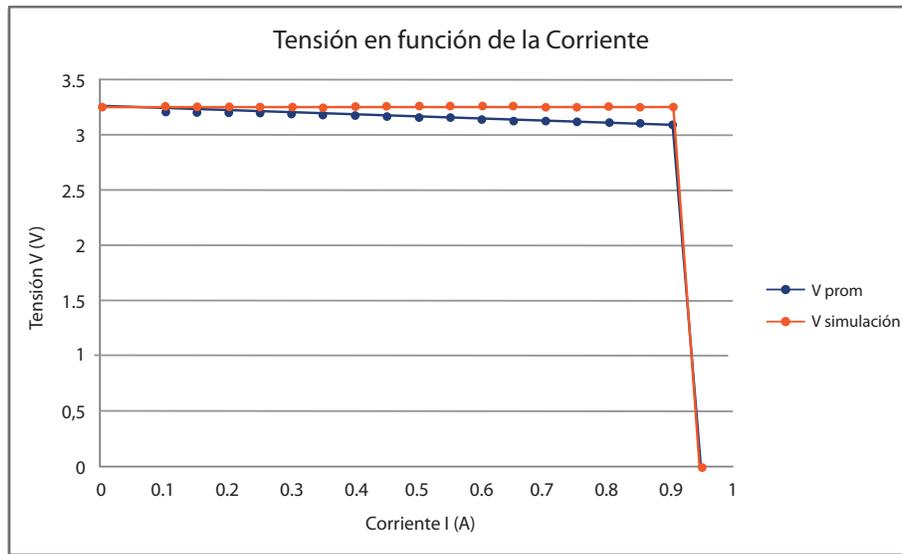


Figura 4. Convertidor TPS63020 con alimentación 4.2V. Elaboración propia utilizando Microsoft Excel.

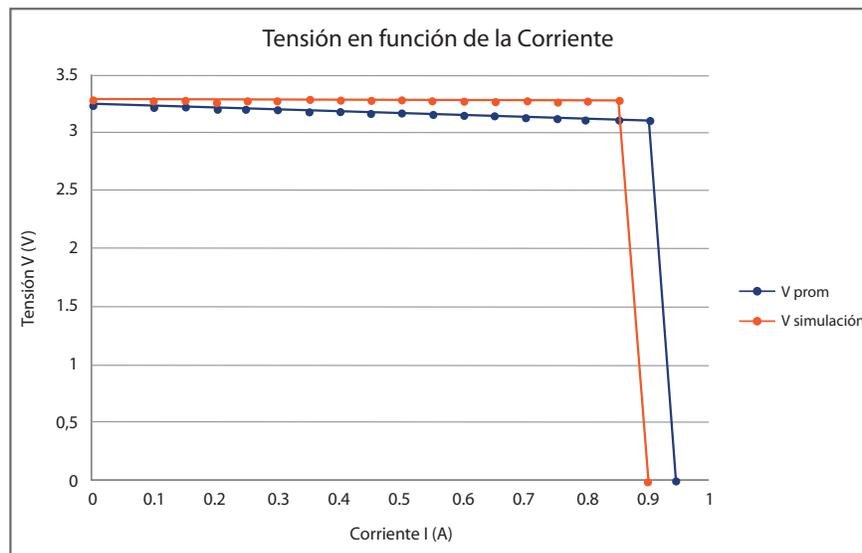


Figura 5. Convertidor TPS63020 con alimentación 3V. Elaboración propia utilizando Microsoft Excel.

Desde un punto de vista cualitativo, en el convertidor TPS63020 se puede observar que en las figuras 4 y 5, las mediciones realizadas en el sistema real poseen un comportamiento similar a la simulación, las mediciones varían su valor con una pendiente un poco más pronunciada. Este comportamiento se mantiene para ambas tensiones de alimentación probadas y para las diferentes demandas de carga.

La mayor diferencia entre las dos tensiones de alimentación probadas es visible en la figura 5 donde la tensión cae a cero con un estado menor de carga, que limita, pero no en gran medida, el uso de la corriente en la simulación y que también podría sugerir diseñar las cargas para exigir menor corriente, y de esta forma asegurar que el componente no se encuentra cercano a sus límites y que no inducirá fallas.

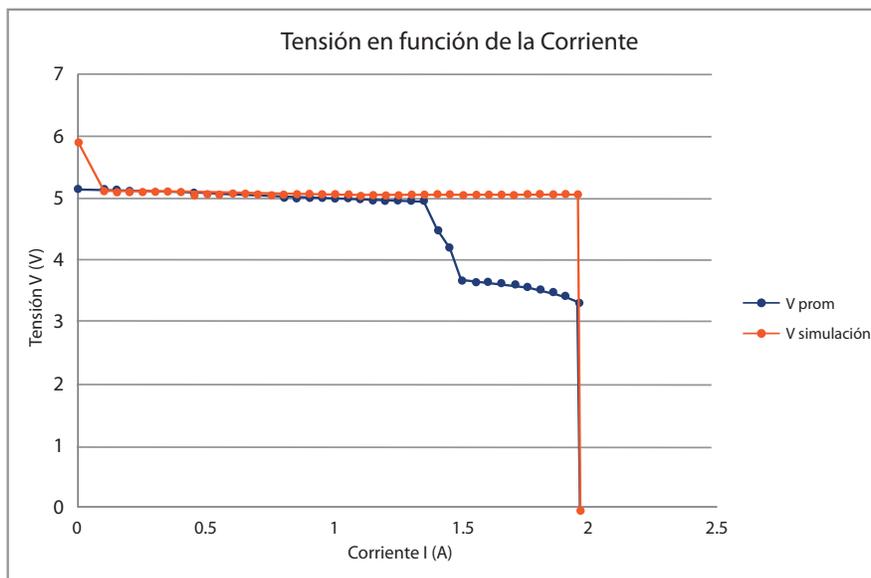


Figura 6. Convertidor TPS61235 con alimentación 4.2V. Elaboración propia utilizando Microsoft Excel.

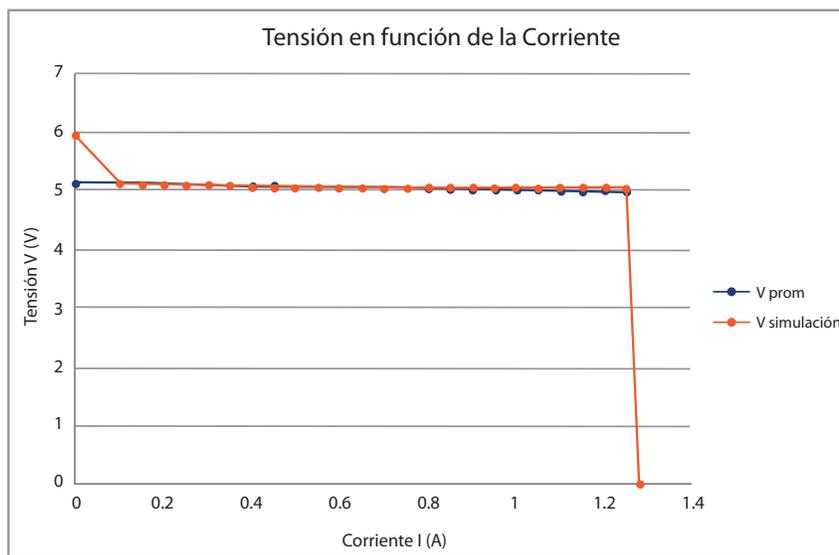


Figura 7. Convertidor TPS61235 con alimentación 3V. Elaboración propia utilizando Microsoft Excel.

En el caso del convertidor TPS61235, se observa en las figuras 6 y 7, las mediciones realizadas en el sistema real, en comparación con los datos obtenidos por medio de la simulación en PSpice. En este caso, se observa como existen espacios que poseen prácticamente la misma pendiente y donde el error es casi imperceptible de forma visual en las gráficas, sin embargo, para ambos casos se observa como el componente no reacciona de forma muy confiable al no aplicar una carga.

En el caso de la figura 7, la mayor desviación se ve reflejada al inicio, pero en el caso de la Fig. 6, se puede observar un comportamiento irregular a partir de cierta demanda de corriente por parte de la carga. La simulación continúa con la tendencia habitual pero en el componente

físico la tensión de salida desciende mucho antes de lo supuesto. Es de esperar que para cierto rango de la gráfica, la simulación no posea la exactitud necesaria para ser utilizada.

En los cuadros 6, 7, 8 y 9, se muestran los cálculos que se representaron en las gráficas anteriores. En cada una se determina la calidad de las mediciones por medio de la desviación estándar, con la cual se observa la exactitud de las muestras que fueron tomadas, así como el porcentaje de error asociado a la comparación entre los datos obtenidos en la simulación y las mediciones del sistema real. De esta forma se comprobará de forma cuantitativa lo observado en las figuras 4, 5, 6 y 7.

En el cuadro 6, los valores obtenidos en la simulación son bastante exactos para los estados de carga aplicados antes de que se active la protección contra el exceso de corriente y pueden ser aceptados para análisis que requieran menos de un 5% de exactitud. En el caso del cuadro 7, se observa el mismo comportamiento, pero bajo la tensión de alimentación asignada este elemento no es capaz de llegar a la tensión en la cual se desactiva el componente real, sin embargo, alcanza una condición de carga muy cercana a la real, con un porcentaje de error un poco mayor al 5%.

En el cuadro 8 se observa que para el convertidor a 5.000V en la simulación es necesario aplicar una carga, y esta carga no debe superar 1.400 A, cuando se alimenta el sistema a 4.200V, ya que a partir de este valor, el error comienza a incrementar partiendo del 13% con lo que ya no es correcto decir que la simulación se comporta de la misma forma que el componente físico.

Por otro lado, para el cuadro 9, excluyendo la condición sin carga, se obtienen porcentajes de error menores a 2%, para los valores de carga inferiores a los necesarios para que el sistema real sea desconectado por la protección contra exceso de corriente.

Cuadro 6. Convertidor a 3.3V con alimentación de 4.2V

| Corriente I (A) | V _{prom} (V) | S _x (V) | Incertidumbre (±V) | V _{sim} (V) | Error (%) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-----------|
| 0.0000 | 3.269 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.278 | 0.3 |
| 0.1000 | 3.250 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.278 | 0.9 |
| 0.1500 | 3.241 | 0.0008165 | 0.0004 | 3.278 | 1 |
| 0.2000 | 3.233 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.278 | 1 |
| 0.2500 | 3.224 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.278 | 2 |
| 0.3000 | 3.216 | 0.0007528 | 0.0004 | 3.277 | 2 |
| 0.3500 | 3.206 | 0.0006325 | 0.0004 | 3.277 | 2 |
| 0.4000 | 3.198 | 0.0007528 | 0.0004 | 3.277 | 2 |
| 0.4500 | 3.191 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.277 | 3 |
| 0.5000 | 3.181 | 0.0007528 | 0.0004 | 3.276 | 3 |
| 0.5500 | 3.171 | 0.0004082 | 0.0004 | 3.276 | 3 |
| 0.6000 | 3.163 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.276 | 4 |
| 0.6500 | 3.153 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.276 | 4 |
| 0.7000 | 3.144 | 0.0008165 | 0.0004 | 3.275 | 4 |
| 0.7500 | 3.136 | 0.0007528 | 0.0004 | 3.275 | 4 |
| 0.8000 | 3.128 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.275 | 5 |
| 0.8500 | 3.120 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.274 | 5 |
| 0.9000 | 3.110 | 0.0004082 | 0.0004 | 3.274 | 5 |
| 0.9460 | 0 | No aplica | 0.0004 | 3.274 | No aplica |

Cuadro 7. Convertidor a 3.3V con alimentación de 3V

| Corriente I (A) | V _{prom} (V) | S _x (V) | Incertidumbre ($\pm V$) | V _{sim} (V) | Error (%) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|-----------|
| 0.0000 | 3.250 | 0.0007528 | 0.0004 | 3.278 | 1 |
| 0.1000 | 3.241 | 0.0006325 | 0.0004 | 3.278 | 1 |
| 0.1500 | 3.232 | 0.0007528 | 0.0004 | 3.278 | 1 |
| 0.2000 | 3.223 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.278 | 2 |
| 0.2500 | 3.215 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.277 | 2 |
| 0.3000 | 3.206 | 0.0007528 | 0.0004 | 3.277 | 2 |
| 0.3500 | 3.197 | 0.0004082 | 0.0004 | 3.277 | 3 |
| 0.4000 | 3.188 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.276 | 3 |
| 0.4500 | 3.180 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.276 | 3 |
| 0.5000 | 3.171 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.276 | 3 |
| 0.5500 | 3.162 | 0.0008165 | 0.0004 | 3.275 | 4 |
| 0.6000 | 3.153 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.276 | 4 |
| 0.6500 | 3.145 | 0.0006325 | 0.0004 | 3.275 | 4 |
| 0.7000 | 3.135 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.274 | 4 |
| 0.7500 | 3.128 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.274 | 5 |
| 0.8000 | 3.119 | 0.0005164 | 0.0004 | 3.274 | 5 |
| 0.8500 | 3.110 | 0.0007528 | 0.0004 | 3.273 | 5 |
| 0.9000 | 3.103 | 0.0013290 | 0.0006 | 0 | 100 |
| 0.9440 | 0 | No aplica | No aplica | 0 | No aplica |

Cuadro 8. Convertidor a 5V con alimentación de 4.2V

| Corriente I (A) | V _{prom} (V) | S _x (V) | Incertidumbre ($\pm V$) | V _{sim} (V) | Error (%) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|-----------|
| 0.0000 | 5.178 | 0.0004083 | 0.0003 | 5.930 | 15 |
| 0.1000 | 5.175 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.125 | 1 |
| 0.1500 | 5.159 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.119 | 1 |
| 0.2000 | 5.143 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.114 | 1 |
| 0.2500 | 5.13 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.114 | 0.3 |
| 0.3000 | 5.119 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.114 | 0.1 |
| 0.3500 | 5.11 | 0.0007528 | 0.0004 | 5.114 | 0.1 |
| 0.4000 | 5.101 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.111 | 0.2 |
| 0.4500 | 5.095 | 0.0006325 | 0.0004 | 5.070 | 0.5 |
| 0.5000 | 5.089 | 0.0009832 | 0.0005 | 5.072 | 0.3 |
| 0.5500 | 5.083 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 0.2 |
| 0.6000 | 5.078 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 0.1 |
| 0.6500 | 5.071 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 0.02 |
| 0.7000 | 5.066 | 0.0006325 | 0.0004 | 5.072 | 0.1 |
| 0.7500 | 5.06 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 0.2 |
| 0.8000 | 5.052 | 0.0008165 | 0.0004 | 5.072 | 0.4 |
| 0.8500 | 5.042 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 0.6 |
| 0.9000 | 5.038 | 0.0006325 | 0.0004 | 5.071 | 0.7 |

| Corriente I (A) | V _{prom} (V) | S _x (V) | Incertidumbre ($\pm V$) | V _{sim} (V) | Error (%) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|-----------|
| 0.95 | 5.029 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 0.9 |
| 1.00 | 5.024 | 0.0004082 | 0.0003 | 5.072 | 1 |
| 1.05 | 5.02 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.073 | 1 |
| 1.10 | 5.012 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.070 | 1 |
| 1.15 | 5.004 | 0.0009832 | 0.0005 | 5.068 | 1 |
| 1.20 | 4.999 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.070 | 1 |
| 1.25 | 4.988 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.073 | 2 |
| 1.30 | 4.985 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 2 |
| 1.35 | 4.981 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 2 |
| 1.40 | 4.51 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 13 |
| 1.45 | 4.22 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 20 |
| 1.50 | 3.709 | 0.0006325 | 0.0004 | 5.070 | 37 |
| 1.55 | 3.684 | 0.0004082 | 0.0003 | 5.072 | 39 |
| 1.60 | 3.662 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 39 |
| 1.65 | 3.636 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 40 |
| 1.70 | 3.61 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.071 | 40 |
| 1.75 | 3.58 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 42 |
| 1.80 | 3.545 | 0.0007528 | 0.0004 | 5.072 | 43 |
| 1.85 | 3.504 | 0.0009832 | 0.0005 | 5.072 | 45 |
| 1.90 | 3.441 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.073 | 47 |
| 1.95 | 3.321 | 0.0007528 | 0.0004 | 5.072 | 53 |
| 1.962 | 0 | No aplica | No aplica | 5.072 | No aplica |

Cuadro 9. Convertidor a 5V con alimentación de 3V

| Corriente I (A) | V _{prom} (V) | S _x (V) | Incertidumbre ($\pm V$) | V _{sim} (V) | Error (%) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|-----------|
| 0.0000 | 5.161 | 0.0007528 | 0.0004 | 5.930 | 15 |
| 0.1000 | 5.145 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.122 | 1 |
| 0.1500 | 5.132 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.123 | 1 |
| 0.2000 | 5.122 | 0.0009832 | 0.0005 | 5.123 | 1 |
| 0.2500 | 5.113 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.118 | 0.3 |
| 0.3000 | 5.106 | 0.0006325 | 0.0004 | 5.114 | 0.1 |
| 0.3500 | 5.1 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.111 | 0.1 |
| 0.4000 | 5.094 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.070 | 0.2 |
| 0.4500 | 5.088 | 0.0007528 | 0.0004 | 5.072 | 0.5 |
| 0.5000 | 5.082 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 0.3 |
| 0.5500 | 5.076 | 0.0007528 | 0.0004 | 5.072 | 0.2 |
| 0.6000 | 5.07 | 0.0006325 | 0.0004 | 5.072 | 0.1 |
| 0.6500 | 5.064 | 0.0004082 | 0.0003 | 5.072 | 0.02 |
| 0.7000 | 5.053 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.070 | 0.1 |
| 0.7500 | 5.049 | 0.0007528 | 0.0004 | 5.072 | 0.2 |
| 0.8000 | 5.043 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 0.4 |

| Corriente I (A) | V _{prom} (V) | S _x (V) | Incertidumbre ($\pm V$) | V _{sim} (V) | Error (%) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|-----------|
| 0.8500 | 5.037 | 0.0006325 | 0.0004 | 5.072 | 0.6 |
| 0.9000 | 5.032 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.072 | 0.7 |
| 0.9500 | 5.03 | 0.0007528 | 0.0004 | 5.071 | 0.9 |
| 1.000 | 5.024 | 0.0005164 | 0.0004 | 5.073 | 1 |
| 1.050 | 5.015 | 0.0007528 | 0.0004 | 5.067 | 1 |
| 1.100 | 5.01 | 0.0006325 | 0.0004 | 5.066 | 1 |
| 1.150 | 5.004 | 0.0007528 | 0.0004 | 5.073 | 1 |
| 1.200 | 4.997 | 0.0007528 | 0.0004 | 5.071 | 1 |
| 1.250 | 4.99 | 0.0007528 | 0.0004 | 5.073 | 2 |
| 1.280 | 0 | No aplica | No aplica | 5.073 | No aplica |

Finalmente en el cuadro 10, se muestran los resultados obtenidos por medio del segundo método de medición y se comparan con la simulación, la cual posee todos los componentes que se han podido incorporar a la simulación.

En esta comparación se identifican errores por debajo del 10%, que permite considerar la simulación como una herramienta de diseño cuando no se requiere comprobar el valor exacto de la salida. Sin embargo, la simulación en PSpice brinda la posibilidad de obtener una buena respuesta para el diseño de las regulaciones y detectar errores en la elección de valores de los componentes necesarios para construir las configuraciones deseadas.

Cuadro 10. Comparación de los resultados utilizando el segundo método de medición.

| V _{prom} (V) | S _x (V) | Incertidumbre ($\pm V$) | V _{sim} (V) | Error (%) |
|-----------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|-----------|
| 3.278 | 0.0004 | 0.0003 | 3.364 | 3 |
| 5.000 | 0.0004 | 0.0003 | 5.383 | 8 |

Conclusiones

Se identificaron los componentes electrónicos que forman parte del sistema eléctrico de potencia utilizado en los nanosatélites del proyecto BIRDS 2 y se realizaron diagramas de bloques a distintos niveles que ubican los componentes en las etapas de funcionamiento para este sistema eléctrico de potencia.

Para el análisis del sistema eléctrico de potencia del proyecto BIRDS 2, se identifican y establecen como parámetros críticos las tensiones a la salida de los convertidores TPS61235, TPS63020 y la corriente que demanda la carga a estos convertidores, para niveles de carga de la batería de 3V y 4.2V.

Se logró simular el comportamiento de las tensiones a la salida de los convertidores TPS61235 y TPS63020, frente a los cambios de corriente exigidos por una carga electrónica con niveles de carga de la batería de 3V y 4.2V.

Se analizó la validez de la simulación del sistema eléctrico de potencia por medio de su comparación con valores obtenidos en las mediciones del modelo de ingeniería del sistema eléctrico de potencia de BIRDS 2, bajo las mismas condiciones de corriente en la carga y tensión de la batería. Se comparan estos datos por medio del cálculo de porcentajes de error, con lo que se determina que las tensiones a la salida de los convertidores TPS61235 y TPS63020 en la simulación son bastante exactas, excepto para el TPS61235 cuando la corriente de la carga no se encuentra entre 0.1000A y 1.400A.

Referencias

- [1] International Academy of Astronautics, Definition and Requirements of Small Satellites Seeking Low-Cost and Fast-Delivery, C. Mengu y G. Filippo, Edits., 2017.
- [2] M. Patel, Spacecraft Power Systems, CRC Press, 2005.
- [3] Laboratory of Spacecraft Environment Interaction Engineering, «Introduction,» 5 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <http://laseine.ele.kyutech.ac.jp/english/intro.html>.
- [4] G. Umberto, S. Luigi y D. L. Antonio, «Overcurrent Protection Performance Evaluation,» Space Power, Proceedings of the Sixth European Conference, n° 6, p. 411, 2002.
- [5] N. Mohan, Power Electronics A First Course, Don Fowley, 2012.
- [6] «Characteristics And Applications Of Semiconductor Power Devices : Power MOSFET And IGBT Transistors,» [En línea]. Available: <https://steemit.com/steemstem/@biomanu/>. [Último acceso: 20 Agosto 2018].
- [7] H. Rashid, Electrónica de Potencia: Circuitos, dispositivos y aplicaciones, Prentice Hall, 1993.
- [8] A. Devices, «LTSpice,» [En línea]. Available: <http://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html?domain=www.linear.com>. [Último acceso: 30 Agosto 2018].
- [9] L. Electronics, «Proteus: Commercial Price List,» [En línea]. Available: <https://www.labcenter.com/pricing/comm/>. [Último acceso: 30 Agosto 2018].
- [10] C. Quintáns, Simulación de circuitos electrónicos con OrCAD 16 Demo, Digitalia, 2008.
- [11] K. Olav, «Design and Implementation of the Electrical Power System for the CubeSTAR Satellite,» University of Oslo, 2013.
- [12] D. Venegas, N. Gutiérrez y D. Murillo, Manual de Laboratorio: Laboratorio de Física General I, Tecnológico de Costa Rica, 2013.
- [13] H. Fink y G. Wayne, Power Electronics Circuits, Devices, and Applications, McGraw Hill, 2012.

Diseño de estaciones de carga solar para bicicletas eléctricas

Design of solar charging stations for electric bikes

Pablo Andrés Cordero Alvarado¹

Cordero-Alvarado, P. Diseño de estaciones de carga solar para bicicletas eléctricas. Tecnología en marcha. Edición especial Movilidad Estudiantil 7. Abril, 2020. Pág.36-53.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i6.5166>

¹ Costarricense. Ingeniero en Producción Industrial. Kraft Heinz, Pavas, San José. Costa Rica. Correo electrónico: pcordero054@gmail.com



Palabras clave

Energías renovables; paneles solares; bicicletas eléctricas; ángulo Azimuth.

Resumen

Las energías renovables tienen un gran potencial en la disminución de las emisiones al ambiente de contaminantes derivados del petróleo. Siendo la energía solar la energía renovable más abundante en la Tierra, su aprovechamiento será el eje guía para la propuesta de diseño de este estudio, tomando como principales factores: la ubicación de las estaciones, inclinación de los paneles solares y orientación del sistema fotovoltaico. La propuesta es una estación estándar de carga eficiente para bicicletas eléctricas, utilizando el diseño de parámetros para sistemas fotovoltaicos y el diseño de aspectos arquitectónicos; por lo cual, el prototipo puede ser replicado en cualquier localización del mundo. El proyecto planteado representa 339 litros de gasolina al año no consumidos, lo cual tiene un efecto anual de 0,8 toneladas en el carbono liberado al ambiente.

Keywords

Renewable energy; solar panels; electric bicycles; Azimuth angle.

Abstract

Renewable energies have an enormous potential in reducing emissions of petroleum-derived pollutants. As solar energy is the most abundant renewable energy on Earth, its utilization will be the guiding axis for the design proposal of this study, taking as main factors: the location of the stations, the tilt of the solar panels and the orientation of the photovoltaic system. The proposal of this study is a standard efficient solar charging station for electric bicycles, using the design of parameters for photovoltaic systems and the design of architectural; so, this prototype can be replicated anywhere in the world. The proposed design represents 339 liters of gas per year not consumed, which has an annual effect of 0,8 ton of carbon emitted to the environment.

Introducción

Debido a un aumento sostenido en el consumo energético, se prevé que para el 2030 la demanda de energía eléctrica se haya incrementado en un 75%, aumentando así los precios del petróleo [1], el cual es la principal fuente de energía en el mundo y, la primera causa de generación de gases de efecto invernadero [2].

El consumo mundial diario de aproximadamente 86 millones de barriles de petróleo es reflejo de la gran dependencia de esta fuente agotable [3], así como también lo es la adaptación de los sistemas de transporte y, la enorme variación en el precio de productos y servicios. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, sumado al aumento en los procesos de investigación y desarrollo en el tema de energía fotovoltaica [4], los últimos años han traído consigo un descenso en los precios de los paneles fotovoltaicos monocristalinos, paralelamente a un aumento significativo en la eficiencia de ellos, teniendo actualmente un promedio de 20% en contraste al 10% en el año 2011 [5].

Aunque la eficiencia de los paneles solares es baja [6], la energía fotovoltaica es ahora, después la hidroeléctrica y la eólica, la tercera mayor fuente en capacidad instalada de energía renovable en el mundo [7]. Además, se considera que el 80% de eficiencia esperada en los módulos fotovoltaicos para el 2040 [8], vendrá acompañado con una disminución en los

precios de los paneles, dada la producción en masa y facilidad en conversión de energía en términos de espacio, poco mantenimiento y bajo costo, pues cada Watt tiene un costo máximo aproximado de \$8 en el periodo de recuperación de la inversión [9].

Dado que el precio del transporte varía proporcionalmente al inestable precio de los hidrocarburos [10], se han generado diversas alternativas para mitigar los efectos ambientales del petróleo, una de ellas es el uso de movilidad eléctrica con el aprovechamiento de la energía solar.

El uso de movilidad eléctrica trae consigo una disminución en las emisiones y en el consumo de combustible [11], pues, en general los vehículos eléctricos cuentan con una eficiencia de 90%, comparada al 30% de los vehículos tradicionales [12]. Con respecto a esto, en la Universidad de York existe el Sustainable Energy Initiative (SEI) para promover este tipo de movilidad sustentable, a través de programas de incentivos a quienes usen vehículos eléctricos y, cobrando altas tasas de parqueo a quienes usen vehículos de combustión [13].

El SEI también ha promovido el uso de estaciones de carga para carros eléctricos, alimentadas a partir de energía solar, contando así con todo un proceso ecoamigable. Sin embargo, sólo se ha creado una estación y no se cuenta con una guía o procedimiento descrito de cómo replicar tal iniciativa. Dado esto, surge la necesidad de estandarizar un proceso de diseño de sistemas fotovoltaicos para estaciones de carga para movilidad eléctrica.

Con respecto a Costa Rica, dada su cercanía al ecuador terrestre [14], además de la incidencia casi perpendicular de los rayos solares y su promedio de radiación solar de 1700kWh/m², hacen que el país se muestre como una excelente opción para el aprovechamiento de la energía solar [15]. Aún más, el Laboratorio SESLab del Instituto Tecnológico de Costa Rica podría contar con un diseño de estaciones de carga para bicicletas eléctricas, ya que, debido al crecimiento de las instalaciones del campus principal de Tecnológico de Costa Rica, se podría crear un sistema de movilización dentro del campus en Cartago.

Metodología

Este estudio se llevó a cabo en la Universidad de York en Toronto, Canadá. Para esto, se utilizó una estructura de 5 fases, iniciando en la fase 1 con el establecimiento de las metas y limitaciones del estudio.

En la fase 2 se realizó una revisión del estado del arte en torno a estaciones de carga solar para vehículos y bicicletas eléctricas y, sistemas fotovoltaicos, determinando así las principales consideraciones que se deben tomar al momento de diseñar una estación de carga solar, para continuar en la fase 3 con un análisis más profundo sobre el diseño y la viabilidad para aprovechar este tipo de estructuras en Costa Rica, siendo un país donde la energía solar no ha sido explotada, como sí lo ha sido la hidroeléctrica.

La propuesta de diseño es generada en las fases 4 y 5, describiendo la forma en que se establecen los parámetros de los sistemas fotovoltaicos, una definición de un diseño arquitectónico, una propuesta de diseño eléctrico y, un análisis de factibilidad ambiental y económico. En la figura 1 se muestra de forma gráfica la metodología seguida.



Figura 1. Pasos de la metodología

Resultados y discusión

Bicicletas eléctricas

Las bicicletas eléctricas han venido a apoyar el transporte con bajo impacto ambiental de distancias cortas a bajo costo. El motor auxiliar de ellas ayuda a acelerar y mantener la velocidad de movimiento mientras una persona pedalea o no, destacando así su gran utilidad en lugares con terrenos irregulares o con mucho viento, aspectos que dificultan el uso de bicicletas tradicionales.

Según el Nordic Folkecenter [16], en general, las “e-bikes” pesan aproximadamente 4kg más que las bicicletas convencionales y siguen el mismo patrón de diseño que las tradicionales. En algunos tipos de bicicletas eléctricas, el motor puede ser apagado, de tal modo, la bicicleta está en la capacidad de ser controlada totalmente por el usuario, en el cuadro 1 se resumen los principales tipos de bicicletas según el Nordic Folkecenter.

Cuadro 1. Clasificación de las bicicletas eléctricas

| Categoría | Descripción |
|-----------------------------------|--|
| Pedal asistido | El motor es regulado de acuerdo a la frecuencia y fuerza del pedaleo mediante el uso de sensores, además los frenos de la bicicleta pueden desactivar el motor. |
| Demanda de poder | El motor es activado por un acelerador que puede ser controlado por una o ambas manos del usuario, tal y como se observa en los scooters. |
| Demanda de poder y pedal asistido | Esta categoría surge como una combinación de las bicicletas Pedelecs y de las bicicletas de demanda de poder, por lo cual, se puede controlar el aceleramiento de forma manual (demanda de poder) o automática (Pedelecs). |

Fuente: [16]

Según el Nordic Folkecenter [17], se debe prestar atención primordialmente a la batería con la está proveída la bicicleta eléctrica. Este elemento representa mayoritariamente el costo del sistema en su conjunto, por lo cual, la batería es un aspecto decisivo. La batería más recomendada es la de litio, dada su relación precio-eficiencia, además de la fácil disposición después de su vida útil.

Destaca también la vida útil de la batería, debido a que, un mismo mecanismo de funcionamiento de batería no asegura la misma vida útil, la cual, suele ser de 3 años para las baterías de litio. Con respecto a esto, las baterías están diseñadas para ser descargadas una cierta cantidad de veces antes de que necesiten ser reemplazadas, por lo cual, la intensidad de uso de la bicicleta es un factor adicional a considerar.

El rendimiento de la batería también es un factor crítico, pues, así como existen baterías que pueden correr por 25km con una carga completa, existen otras que pueden recorrer distancias de 135km, aumentando el peso y tamaño de la batería.

Energías renovables en Costa Rica

El suministro de energía en Costa Rica depende principalmente de las reservas hidroeléctricas con las que se cuenta en el país. Existe la desventaja de depender de factores naturales como lo es el régimen de lluvias, el caudal de los ríos y el fenómeno del Niño; que está produciendo sequías debido a las bajas precipitaciones en la región centroamericana desde el 2011, afectando así la generación eléctrica.

Para el primer trimestre de 2016, la matriz energética de Costa Rica estuvo representada mayoritariamente por energía hidroeléctrica, siendo su aporte de un 65,62%, seguida de la energía eólica con un 15,60%. La figura 2 muestra que, de esta matriz, sólo el 0,02% de energía es producida con a partir de fotones solares, fuente abundante en el trópico. Además, se muestra que aún existe dependencia de productos derivados del petróleo. La matriz energética es una representación gráfica-cuantitativa de toda la energía que una región o país puede ofrecer.

Aporte de cada fuente a la matriz energética nacional

Primer trimestre 2016

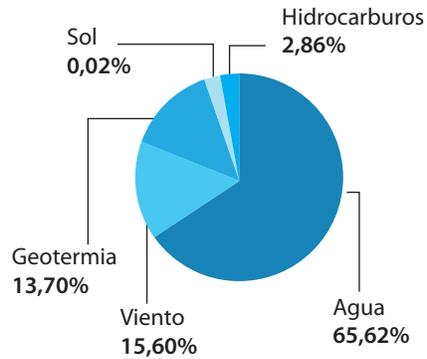


Figura 2. Matriz energética de Costa Rica Fuente: [1]

En 2012, Costa Rica se propuso que para el 2021, tendrá su matriz energética completamente limpia, es decir, no depender de hidrocarburos en lo absoluto. Para esto, el país se ha integrado al Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética de Centroamérica (4E), buscando así implementar estrategias de energías renovables mediante la inversión en el sector. Con estos esfuerzos, el Índice de Desempeño en Arquitectura Energética Global del Foro Económico Mundial, sitúa a Costa Rica en la novena posición mundial y, el mejor posicionado de América Latina según WWF en el Índice de Sostenibilidad Energética.

Según el software SolarGis, la radiación solar anual en Costa Rica varía entre 1300 kWh/m² a 2100 kWh/m² tal y como se muestra en la figura 3, además, siendo el promedio en Cartago de 1900 kWh/m², Si se compara este valor con los 1300 kWh/m² reportados en Toronto, efectivamente Costa Rica tiene potencial para aprovechamiento de la energía solar que el país norteamericano.

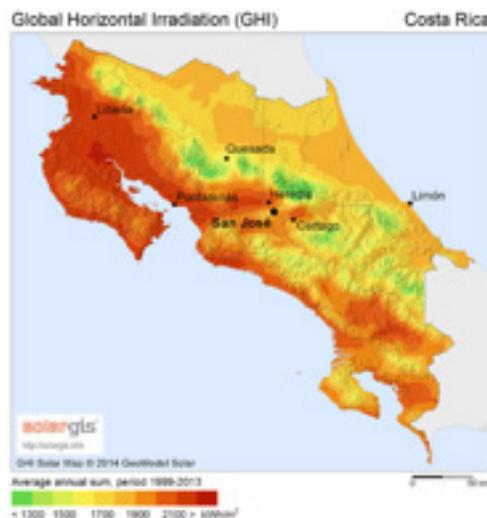


Figura 3. Irradiación horizontal en Costa Rica. Fuente: [18]

La radiación percibida en un lugar específico depende entre otros factores de la nubosidad, la altitud sobre el nivel del mar y contenido total de ozono en la atmósfera, por lo cual, es conveniente comparar entre diversas fuentes la radiación reportada.

Causas del bajo uso de la movilidad eléctrica en Costa Rica

El cambio a la adopción de transporte eléctrico no sólo se basa en el principio de disminuir las emisiones de los gases de efecto invernadero, si no también existe una diferencia notable en la eficiencia de estos vehículos comparados con los basados en combustión interna. La eficiencia de los vehículos tradicionales ronda el 30% mientras que la eficiencia de los eléctricos es de 90%

Desde el año 2013 en Costa Rica se viene gestando el proyecto de Ley de incentivos al transporte eléctrico, permitiendo favorecer así a aquellas personas o entidades que migren del transporte tradicional a la movilidad eléctrica, contemplando carros, motocicletas, bicicletas y demás vehículos que se enchufen para cargar su batería. Sin embargo, aunque el proyecto recibió la aprobación en el primer cuatrimestre del 2016 por parte de la Comisión de Gobierno y Administración de la Asamblea Legislativa, sigue pendiente en la agenda del Plenario bajo el expediente 19744.

El lento avance de este proyecto de Ley retrasa el impulso que el Gobierno de Costa Rica estaría dando al recurrir a esta novedosa forma de transporte. Dentro de los beneficios que se encuentran contemplados en esta Ley se encuentra la exoneración del 100% en el impuesto de consumo, impuesto de ventas y el impuesto sobre el valor aduanero del 1%, además del parqueo gratuito en zonas reguladas con parquímetros y en los “Parqueos Azules” que deberán establecerse en los centros comerciales.

Aunque el proyecto de Ley de Incentivos, propone a su vez el no pago del marchamo por 5 años, el costo de los vehículos eléctricos es muy alto, en comparación con los vehículos de combustión interna. A modo de ejemplo, para el 2013 en Costa Rica, cerca de 300 carros eléctricos circulaban en el país, con precios desde los \$21000 a los \$106000. Los costos de adquisición de bicicletas eléctricas también son mayores a los de bicicletas convencionales, en un factor de 25% [19].

El costo de las baterías eléctricas de este tipo de movilidad es un factor importante para explicar el bajo uso de la movilidad eléctrica, ya que en general, estas baterías son mucho más caras que las baterías tradicionales. Por ejemplo, El Financiero [20] afirma que, a pesar del ahorro en gasolina, la batería de un carro o motocicleta eléctrica debe sustituirse cada tres o cinco años, y estas tienen un precio que ronda los \$2300 y \$3900, dependiendo si es de plomo o litio, siendo estas últimas las más eficientes y costosas.

Por último, Costa Rica no destaca como un país productor de vehículos eléctricos, ni tampoco se encuentra geográficamente cercano a uno de ellos, por lo cual, el costo de importación incrementa sustancialmente el costo de adquisición de un vehículo [21].

Exceptuando la zona norte del paisaje costarricense, el relieve no se caracteriza por extensas planicies. Precisamente este es un factor que afecta el desempeño de los vehículos bajo la categoría de movilidad eléctrica y que es una de las principales causas de su rechazo en la sociedad costarricense [22]. De acuerdo con [12], existe un consumo adicional de 25% de energía eléctrica cuando el terreno presenta inclinaciones sucesivas de más de 15 grados.

Concepción de diseño

La propuesta de diseño presentada en este estudio para las estaciones de carga solar de bicicletas eléctricas fue concebida con base en 8 criterios descritos en el cuadro 2.

Cuadro 2. Criterios de diseño de la estación de carga propuesta

| Criterio | Descripción |
|------------------------|--|
| Seguridad | Seguridad para personas y bicicletas que utilicen o estén cerca de la estación. |
| Ubicación, integración | Ubicación estratégica cerca de edificios y zonas concurridas en la localización. Integración con sistemas de movilidad existentes. |
| Modular | Los parámetros de la estación son estandarizados, contemplando posibles expansiones o variantes del diseño propuesto. |
| Fácil instalación | La instalación debe ser fácil de instalar, utilizando la menor cantidad de mano de obra y maquinaria. |
| Duración | Se debe aprovechar al máximo la vida útil de los módulos fotovoltaicos, la cual, en general, se encuentra en 25 años. |
| Belleza | Un diseño que sea estéticamente bonito a simple vista. |
| Funcional | Todos los componentes de la estación estén justificados en cuanto a su aprovechamiento para un funcionamiento eficiente. |

Parámetros de diseño

Localización de la instalación

La localización de la instalación es un factor determinante a la hora de ubicar la estación de carga. La elección de la localización depende entre otros factores, del acceso a rayos solares y ventilación en la zona. Por lo cual, la determinación de esta ubicación puede ser un factor iterativo, considerando estudios de sombras para iterar, por ejemplo. La localización geográfica siempre debe ser encontrada y para encontrarla, basta con usar *Google Maps*.

Estudio de sombras

La identificación y erradicación de sombras es el proceso por el cual, se asegura que la instalación fotovoltaica operará eficientemente. Aunque una sombra afecte un pequeño sector de un solo panel, en general, todo el sistema percibirá una disminución en la eficiencia. Uno de los softwares más utilizado para el análisis de sombras es HelioScope, por lo cual, en la figura 4 se presenta un procedimiento descrito a través de un diagrama de flujo para conducir este tipo de análisis con tal software.

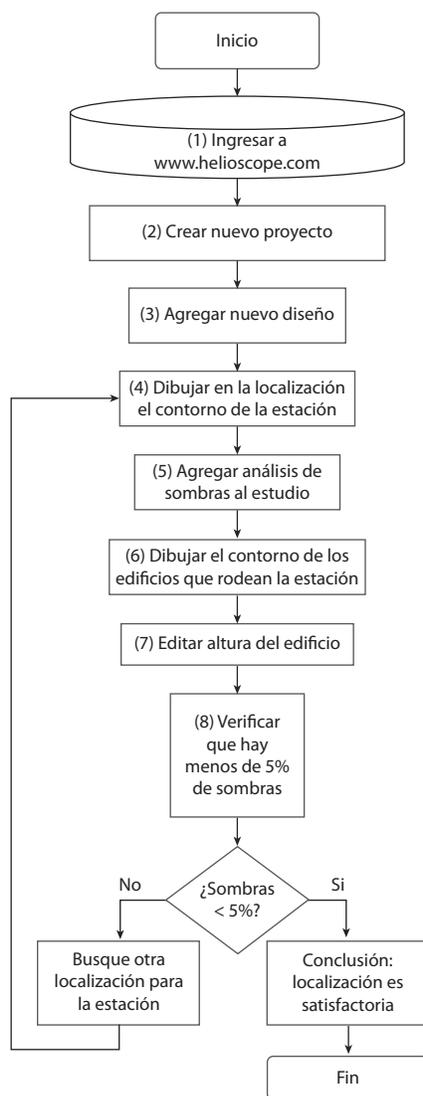


Figura 4. Procedimiento para cálculo de sombras con HelioScope.

Orientación horizontal de los paneles solares

La orientación horizontal de los paneles solares es el resultado del movimiento del sol alrededor de la tierra. Se sabe que, si un sistema fotovoltaico se encuentra en el hemisferio norte, este debe estar orientado hacia algún punto en el sur y, si la estructura fotovoltaica está en el hemisferio sur, debe mirar hacia algún punto en el norte.

La dirección óptima a la cual deben estar dirigidos los paneles solares se basa en el ángulo Azimuth. Cabe destacar que se ha definido que el norte es 0° Azimuth y el Sur es 180° Azimuth. El uso de Azimuth se debe a que, en general, existe una diferencia entre el norte verdadero y el norte magnético (ver figura 5)

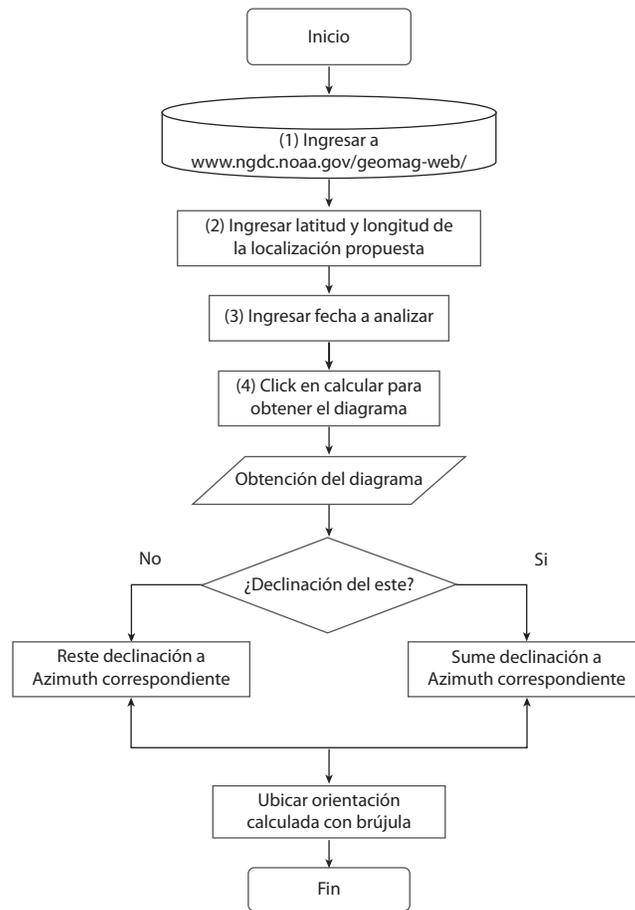


Figura 5. Procedimiento para cálculo de orientación óptima.

Inclinación de los paneles solares

Para el cálculo de la inclinación se recomiendan dos formas distintas de obtener inclinaciones recomendadas.

1. Inclinación teórica: La inclinación a la que deben estar colocados los paneles solares debe igualar la latitud geográfica de la latitud propuesta.
2. Uso de SolarGis: Dada la precisión de los cálculos realizados con este programa, este software es comúnmente usado para el diseño de los parámetros de sistemas fotovoltaicos. El diagrama de flujo de la figura 6 explica cómo usar tal programa para obtener la inclinación recomendada.

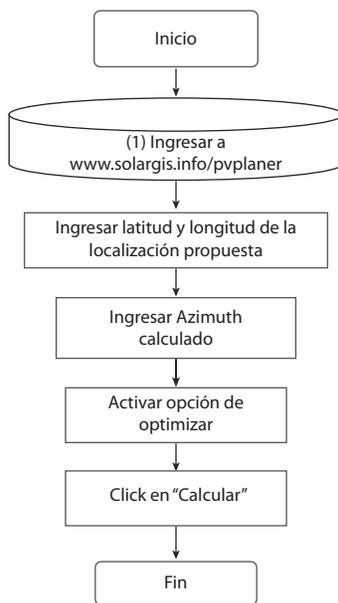


Figura 6. Procedimiento para cálculo de inclinación óptima con SolarGis.

Diseño arquitectónico

Para el diseño arquitectónico de la estación de carga, es necesario contar con las dimensiones y cantidades de los equipos eléctricos que serán elegidos para el proyecto. Sin embargo, dado que los equipos quedan a elección del usuario, el diseño propuesto recomienda una caja de almacenamiento similar a la mostrada en el figura 7 y las medidas, dependerán de la amplitud de los equipos.



Figura 7. Gabinete eléctrico recomendado para la estación de carga.

Fuente: [23]

Básicamente, los equipos eléctricos que estarán ubicados en el interior de la caja de almacenamiento son: inversor, controlador de carga y banco de baterías. Cabe destacar que, las dimensiones de los equipos eléctricos están muy estandarizadas en el mercado.

El diseño arquitectónico propuesto se basa en el de la figura 8. Utilizando así, los paneles solares como techo para las bicicletas.



Figura 8. Diseño arquitectónico base.
 Fuente: [24]

El layout de la instalación propuesta es presentado en la figura 9, donde se observa que el diseño propuesto contempla el criterio “Modularidad”, por lo tanto, es posible incrementar la cantidad de bicicletas por estación, en aumentos de 350 centímetros, adicionando así 5 bicicletas a la estación.

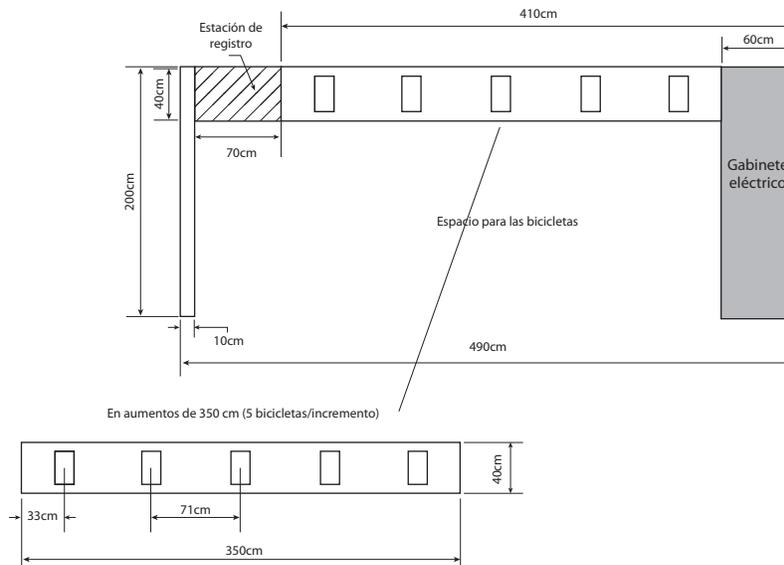


Figura 9. Layout propuesto para la estación de carga solar.

Además, se contempla la existencia de una estación de registro, con esto, podrá monitorearse quién y en qué momento, utiliza las bicicletas mediante un lector RFID. La información resultante en cada estación podrá utilizarse después, para llevar a cabo estudios de aprovechamiento de tales recursos.

El cálculo de la altura de la mesa de registro se puede determinar a criterio personal o, hacerlo con el software: “Methods, Standards & Work Design”, asegurándose así, un diseño ergonómicamente viable. En la figura 10 se ilustra con un diagrama de flujo, cómo conducir esta determinación con el programa mencionado.

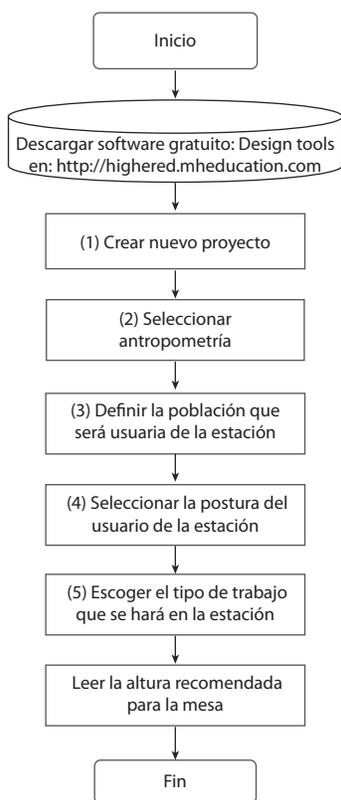


Figura 10. Procedimiento para utilizar Desing Tools.

Para construir una estación de carga como la propuesta en esta guía, será necesario utilizar los materiales que se listan a continuación:

- Paneles solares, baterías, inversor, controlador de carga
- Lector RFID, mesa de metal
- Cable eléctrico, receptáculos eléctricos
- Perfiles de aluminio, tornillos y soldadura
- Estructura metálica de sostén, gabinete eléctrico
- Cemento, arena y piedra, pintura, minio, rodillos y felpas.

La cantidad de paneles solares, baterías, inversor, controlador de carga y receptáculos debe ser determinada con cálculos de diseño eléctricos. Para determinar el área necesaria para operar correctamente la estación de carga de bicicletas eléctricas utilice el Método de Guerchet, mostrado por las Ecuaciones 1, 2, 3 presentadas a continuación.

| | |
|--|---|
| Superficie estática (Ss) = Área basal de la estación | 1 |
| Superficie de evolución (Se) = (2*Ss) * 0,25 | 2 |
| Superficie total (St) = 2*Ss + Se | 3 |

Análisis ambiental de la propuesta

La relevancia de este proyecto es la búsqueda de la mitigación de los efectos ambientales durante el transporte de personas. Por lo cual, el análisis de factibilidad mostrado, incluye un análisis de tal factor, utilizando el software RETScreen Expert creado por el Gobierno Canadiense para la administración de las energías limpias.

En general, el diseño eléctrico contempla la radiación en el sitio, cantidad y especificaciones de los objetos a cargar, especificaciones de los equipos eléctricos y nivel de servicio deseado. La capacidad de un sistema fotovoltaico depende del diseño eléctrico que se genere (que está fuera de los límites de este estudio), utilizando sistemas de 8k kW de poder, con RETScreen Expert (ver figura 11), se obtiene que se ahorran 339,6 litros de gasolina al año para producir la misma cantidad de energía a usar, es decir, en total no se consumirán 8490 litros de gasolina durante el periodo de vida útil de las estaciones de carga (limitada a los 25 años de vida útil de los paneles solares).

Esta cantidad de combustible efectivamente permite observar el efecto amigable que tiene este proyecto en la no liberación de carbono al ambiente, mediante dióxido de carbono y otros gases contaminantes, resultantes de la quema de gasolina en motores de combustión interna.

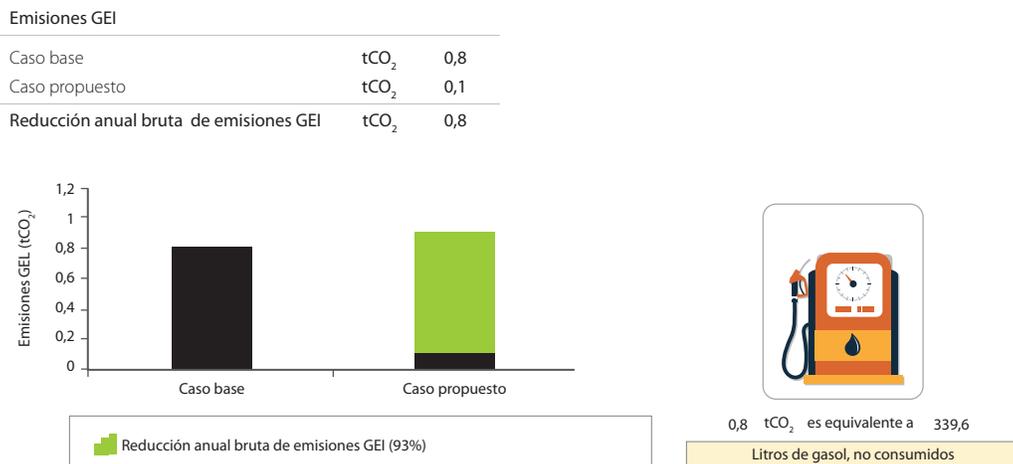


Figura 11. Gasolina no consumida al usar producción solar.

Fuente: [15].

Además, RETScreen Expert utiliza otros ejemplos para ilustrar el efecto en el ambiente que tiene la utilización de esta propuesta de 4 estaciones de carga solar para bicicletas eléctricas. Tal y como se muestra en la figura 12, la ejecución de este proyecto es equivalente a la conservación de 0,1 hectáreas de bosque absorbiendo dióxido de carbono, es decir, 1000 metros cuadrados de bosque que no se está talando en el país.

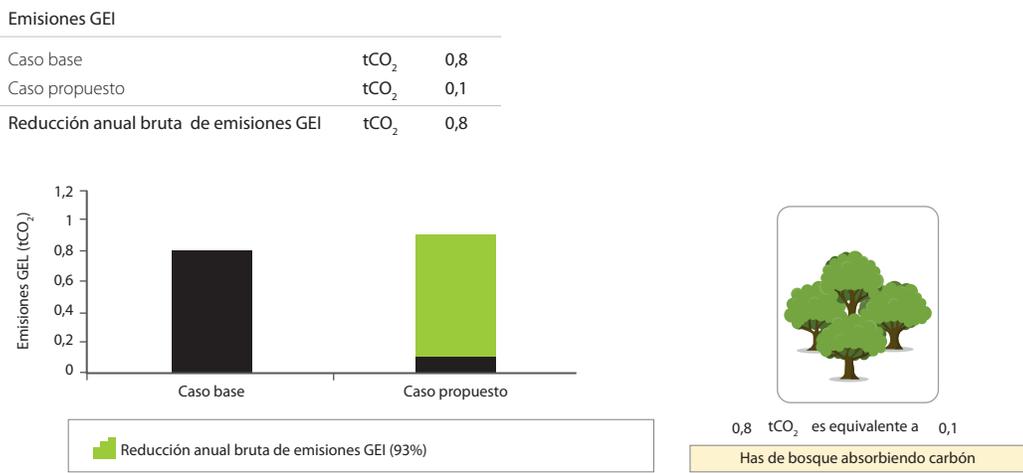


Figura 12. Bosque no talado al usar producción eléctrica solar.
Fuente: [15].

Plan de implementación

En el cuadro 3, se definen las actividades, recursos, responsables y duración en semanas de cada actividad propuesta para las propuestas planteadas en este estudio.

Cuadro 3. Actividades a realizar en la implementación de las soluciones

| N | Actividad | Duración | Recursos |
|---|--|----------|---|
| 1 | Crear base y sostén de concreto para las estaciones de carga | 2 | Cemento, arena, piedra. |
| 2 | Instalar estructura metálica de sostén del sistema fotovoltaico | 1 | Estructura de sostén, tornillos, soldadura, aislante |
| 3 | Instalación y conexión de los módulos fotovoltaicos | 1 | Módulos fotovoltaicos |
| 4 | Instalación de los equipos en el gabinete, lector RFID y colocación de la mesa de registro | 2 | Baterías, controlador de carga, inversor, lector RFID, mesa de registro, gabinete |
| 5 | Conexión de los enchufes a la salida de energía del sistema eléctrico | 0,5 | Enchufes, cableado, aislante eléctrico |
| 6 | Pintura de la estructura metálica | 1 | Pintura, Minio |
| 7 | Periodo de pruebas | 1 | Formato de pruebas |

Adicional, en el cuadro 4 se presenta el Diagrama de Gantt recomendado para la implementación de las soluciones propuestas en este proyecto.

4. El uso de sistemas de transporte amigables con el medio ambiente tiene el potencial de disminuir las emisiones de dióxido de carbono, más aún si estos elementos son alimentados a partir de fuentes de energía sustentables. El cambio en el uso de vehículos de combustión a vehículos eléctricos propone un aumento en eficiencia de 60%.
5. El proceso de implementación recomendado para el proyecto propuesto se compone de 7 principales actividades que pueden ser desarrolladas en 9 semanas.

Referencias

- [1] La Nación (2016). *Proyecto bajaría tributos solo a vehículos eléctricos de enchufe*. Recuperado de http://www.nacion.com/nacional/transportes/Proyecto-bajar-tributos-vehiculos-electricos_0_1561243865.html
- [2] La Nación (2014). *Abre primera electrolinera pública*. Recuperado de http://www.nacion.com/nacional/infraestructura/Abre-primera-electrolinera-publica_0_1560243979.html
- [3] La Nación (2014, 01 de Junio). *Paneles solares conquistan más techos costarricenses*. Recuperado de http://www.nacion.com/tecnologia/avances/Energia_solar-electricidad-paneles_solares-Costa_Rica-demanda-Instituto_Costarricense_de_Electricidad_0_1418058235.html
- [4] Energy Informative (2015, 18 de Mayo). *Which Solar Panel Type is Best?* Recuperado de <http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>
- [5] Delta Volt (2016). *Paneles Solares, Tipos y Eficiencias*. Recuperado de <http://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares>
- [6] D. Chiras (2010). *Solar Electricity Basics: A Green Energy Guide*. New Society Publishers.
- [7] D. Chiras (2006). *The Homeowner's Guide to Renewable Energy*. Society Publishers.
- [8] MIT Technology Review (2016, 03 de Marzo). *First Solar's Cells Break Efficiency Record*. Recuperado de <https://www.technologyreview.com/s/600922/first-solars-cells-break-efficiency-record/>
- [9] The Eco Experts (2016). *Most efficient solar panels 2016*. Recuperado de <http://www.theecoexperts.co.uk/which-solar-panels-are-most-efficient>
- [10] La Nación (2016, 21 de Abril). *Costa Rica duplica generación de energía con viento en 5 años*. Recuperado de http://www.nacion.com/nacional/servicios-publicos/Pais-duplica-generacion-energia-viento_0_1556044410.html
- [11] La Nación (2014, 25 de Noviembre). *Vehículos producen mitad de emisiones de gases de Costa Rica*. Recuperado de http://www.nacion.com/vivir/ambiente/Vehiculos-generan-mitad-emisiones-gases_0_1453454668.html
- [12] Research Gate (2014). *Electric vehicle's electricity consumption on a road with different slope* Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437114000831>
- [13] York University (2016). *Sustainable Energy Initiative | York University* Recuperado de <http://sei.info.yorku.ca/>
- [14] National Centers for Environmental Information (2016). *NCEI Geomagnetic Calculators*. Recuperado de <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>
- [15] Gobierno de Canadá (2016, 29 de Septiembre). *RETScreen*. Recuperado de <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>
- [16] Nordic Folkecenter for Renewable Energy (2016). *Electric Bikes*. Recuperado de http://www.folkecenter.net/gb/rd/transport/two-three-wheels/electrical_bikes/
- [17] Nordic Folkecenter for Renewable Energy (2013). *E-Mobility Center* [Brochure]. Recuperado de: www.folkecenter.net
- [18] SolarGis (2016). *Solargis apps*. Recuperado de <http://solargis.info/>
- [19] La Nación (2013, 04 de Agosto). *Conozca los pro y contras de los vehículos eléctricos e híbridos*. Recuperado de http://www.elfinancierocr.com/negocios/vehiculos_electricos-vehiculos_hibridos-Toyota-Reva_0_346765342.html
- [20] El Financiero (2016, 25 de Febrero). *Luz verde a energía solar*. Recuperado de https://www.larepublica.net/noticia/luz_verde_a_energia_solar/

- [21] El Mundo CR (2016, 28 de Abril). *Proyecto de Ley exonerará de impuestos y marchamo a vehículos eléctricos*. Recuperado de <http://www.elmundo.cr/proyecto-ley-exonerara-impuestos-marchamo-vehiculos-electricos-5-anos/>
- [22] La Nación (2013, 06 de Julio). *Carros híbridos y eléctricos se abren paso en Costa Rica*. Recuperado de http://www.nacion.com/economia/Carros-hibridos-electricos-Costa-Rica_0_1352064817.html
- [23] Hammond Manufacturing (2017). *Electrical Enclosures*. Recuperado de <https://www.hammpg.com/electrical>
- [24] AdvanSolar (s. f.). *Bornes de recharge solaires pour véhicules électriques*. Recuperado de <http://www.advansolar.com/>

Estructura de hardware y software para el hospedaje y ejecución de rutinas de comportamiento autónomo en vehículos aéreos no tripulados

Hardware and software structure for hosting and executing autonomous behavior routines in unmanned aerial vehicles

Pablo Andrés Araya Castillo¹

Araya-Castillo, P. Estructura de hardware y software para el hospedaje y ejecución de rutinas de comportamiento autónomo en vehículos aéreos no tripulados. Tecnología en marcha. Edición especial Movilidad Estudiantil 7. Abril, 2020. Pág.54-64.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i6.5167>

¹ Estudiante de Ingeniería Mecatrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica / Grupo Integrado de Ingeniería de la Universidad de la Coruña, España. Correo electrónico: pabloaraya446@gmail.com



Palabras clave

UAV; autónomo; Pixhawk; mini PC; CCT; puerta de enlace.

Resumen

El Grupo Integrado de Ingeniería (GII) es un grupo de I+D de la Universidad de La Coruña que posee una línea de investigación de vehículos aéreos no tripulados (UAV, del inglés *unmanned aerial vehicle*). Han trabajado en múltiples aplicaciones con UAVs usando el autopiloto Pixhawk. Los vehículos reciben instrucciones de un mando remoto a la vez que envían información del estado de vuelo a una computadora de control en tierra (CCT) para visualizar lo que está pasando durante la ejecución de una misión.

Sin embargo, los UAVs eran incapaces de ejecutar tareas que involucraran comportamiento autónomo, además de que la comunicación con la CCT no era suficientemente fluida para visualizar el vuelo correctamente.

Para solucionar el problema se implementó una estructura funcionalmente flexible de hardware y software en un UAV, que incluyó una mini PC a bordo en la cual se pueden programar rutinas de vuelo tanto autónomas como no autónomas, que le dan instrucciones al Pixhawk directamente. Además en una CCT se visualiza el estado de vuelo con una comunicación más fluida y las decisiones que está tomando el vehículo.

Se verificó el correcto funcionamiento de la estructura a través de simulaciones y se validó con un vuelo de prueba autónomo, en el cual el UAV decidió y ejecutó su propia ruta de acuerdo a las condiciones de la misión programada.

Keywords

UAV; autonomous; Pixhawk; mini PC; GCS; gateway.

Abstract

The Integrated Group for Engineering Research (GII) is an R & D group from the University of A Coruña that has a research line of unmanned aerial vehicles (UAV). They have worked on multiple applications with UAVs using the Pixhawk autopilot. The vehicles receive instructions from a remote control while sends flight status information to a ground control station (GCS), a computer to visualize what is happening during the execution of a mission.

However, the UAVs were unable to perform tasks that involved autonomous behavior, and the communication with the GCS was not fluid enough to visualize the flight correctly.

To solve the problem, a functionally flexible hardware and software structure was implemented in a UAV, which included a mini PC on board in which autonomous and non-autonomous flight routines can be programmed, which give the Pixhawk instructions directly. In addition, a GCS displays the flight status with more fluid communication and the decisions taken by the vehicle.

The correct performance of the structure was verified through simulations and validated with an autonomous test flight, in which the UAV decided and executed its own route according to the conditions of the programmed mission.

Introducción

Los vehículos aéreos no tripulados o UAVs (del inglés *unmanned aerial vehicles*), tienen una enorme cantidad de usos, por ejemplo militares, en metrología, inspección, captura de imágenes y video, seguridad, entre otros. Los hay de dos tipos según el tipo de sustentación que les permite volar: de ala fija y multicopteros o multirrotores. Estos últimos son de importancia en este trabajo, ya que el mismo se desarrolló sobre este segundo tipo de UAVs.

Los multicopteros poseen una serie de motores que hacen girar hélices que por su forma, al interactuar con el aire, crean una fuerza de sustentación, lo cual permite el vuelo. Sin embargo, necesitan de una estructura de hardware-software que permita recibir instrucciones de movimiento y pueda gestionar los actuadores para cumplir la misión: esta es la función de lo que se conoce como un autopiloto, un dispositivo con múltiples entradas, que incluyen instrucciones de un usuario y sensores necesarios para que tome decisiones, así como salidas eléctricas para motores e informar sobre el estado del vuelo.

Ardupilot es un software de autopilotos de código abierto, lo cual favorece toda una comunidad pendiente de su progreso y mejora, con lo que se obtiene documentación fácilmente, razón por la que es ampliamente usado [1]. Uno de los autopilotos que respalda ardupilot es el Pixhawk, el cual es de hardware abierto y es muy usado para controlar varios tipos de vehículos, incluyendo UAVs. Dicho esto, se puede entender la estructura de control que suelen tener los UAVs, misma que se presenta en la figura 1.

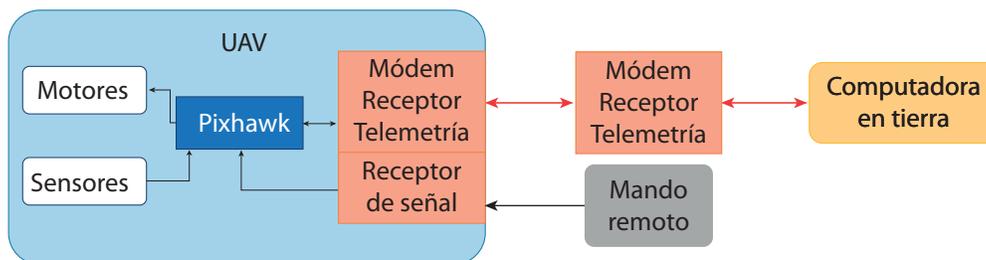


Figura 1. Estructura común de control de un UAV.

En la figura 1 se ve que a bordo del UAV se encuentra su autopiloto (en este caso el Pixhawk), al cual le llegan órdenes de movimiento desde un mando remoto, así como la información de vuelo que recibe de sensores como GPS, aceleración, velocidad, inclinación, etc, con lo cual genera salidas eléctricas para los motores (normalmente pasan por una interfaz de potencia) de manera que se ejecuten las instrucciones. Por su parte, el Pixhawk es capaz de enviar toda esa información de vuelo (comúnmente llamada telemetría) hasta una computadora de control en tierra (CCT) para visualizar lo que ocurre durante el vuelo por medio de dos módems.

En la CCT debe haber un software de vuelo, el cual permite la visualización del estado de vuelo en un entorno gráfico, así como simular rutinas de vuelo. Un ejemplo es Mission Planner, que además es compatible con los productos de Ardupilot (los cuales emplean el protocolo de comunicación denominado mavlink). En la figura 2 se muestra el estado de vuelo de la simulación de una misión con Mission Planner. A la izquierda se observa una serie de indicadores como la inclinación del UAV, la dirección, altura, rapidez con respecto a tierra, entre otros. Por su parte, a la derecha se muestra la ruta que el vehículo está haciendo, la dirección instantánea (línea negra) y la localización gps (en la parte inferior). Todo lo anterior se va actualizando conforme avanza el tiempo.

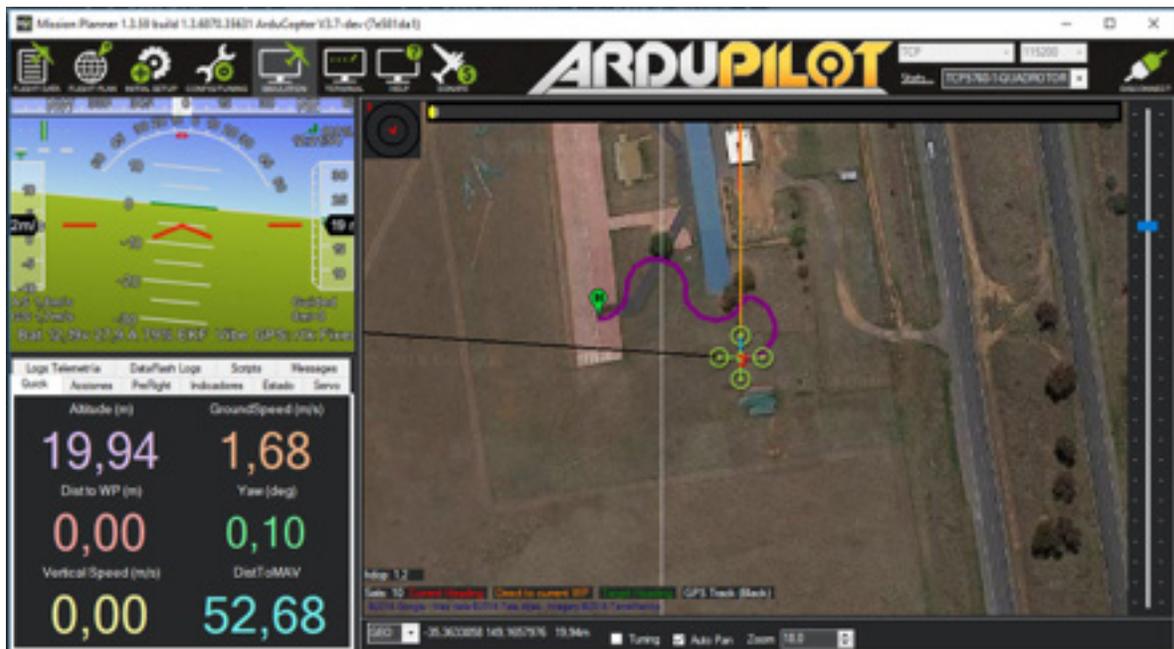


Figura 2. Simulación de un vuelo en Mission Planner [2].

En infinidad de aplicaciones a los UAVs se les incorpora sensores y/o actuadores para llevar a cabo alguna misión en particular. Sin embargo, cuando la tarea a realizar requiere de un comportamiento autónomo en el que el UAV defina sus propias rutas y manera de emplear sus recursos, la estructura de control de la figura 1 se queda corta, ya que no hay ningún elemento en el UAV para que pueda definir sus propias instrucciones y ejecutarlas, dada una serie de requerimientos.

En el Grupo Integrado de Ingeniería de la Universidad de La Coruña, España, se identificó este problema y con la colaboración de este autor, se optó por tomar un octocóptero (multicóptero de ocho hélices) y dotarlo de una estructura de hardware y software para el hospedaje y ejecución de rutinas de comportamiento autónomo, donde destaca una mini computadora a bordo que alberga y ejecuta los programas de vuelo. Estos últimos se realizan con la biblioteca *dronekit* de Python, la cual puede interactuar directamente con un Pixhawk.

Materiales y métodos

Un esquema general de la estructura implementada en el UAV se presenta en la figura 3. En este se observa la mini PC que se le añadió a bordo (una Intel NUC), la cual le da instrucciones al Pixhawk, mientras que este le regresa el valor de todas las variables que describen el estado de vuelo. Esta misma información es enviada a la computadora de control de tierra (CCT) a través de un par de dispositivos emisor (a bordo del octocóptero) y receptor (con la PC de tierra) de telemetría. Este mismo canal de comunicaciones se usó para acceder al terminal de la NUC desde la CCT para ejecutar los programas de vuelo y visualizar las decisiones que está tomando el UAV, mientras que se sigue observando el estado de vuelo en Mission Planner y el usuario podría decidir tomar el control de la nave con el mando remoto en cualquier momento.

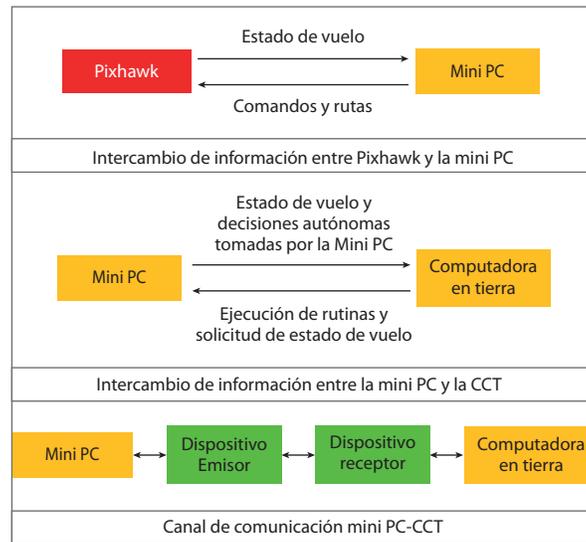


Figura 3. Esquema general de la estructura implementada.

Red inalámbrica

Los dispositivos emisor y receptor son dos puentes Ethernet inalámbrico/puerta de enlace (pueden cumplir ambas funciones) de la serie *IPn20 de Microhard Systems INC* conectados en una topología punto a punto, donde el maestro es el terrestre y el esclavo el aéreo.

En la figura 4 se muestra la red operando (se hizo un *ping* desde la CCT a la mini PC); a la izquierda está la NUC y a la derecha la CCT con el terminal abierto mostrando la información del *ping*, cada una conectada por un cable Ethernet a sus respectivas puertas de enlace (negro en la mini PC y blanco en la CCT), las cuales tienen sus respectivas antenas (negra y pequeña en la puerta de enlace aérea, blanca y grande en la de tierra) y baterías (rectangulares y blancas).



Figura 4. Red Inalámbrica.

En el cuadro 1 se muestran las direcciones IP asignadas a cada elemento de la red para que el lector comprenda las siguientes secciones del documento. Sin embargo, si se deseara replicar esta estructura, el desarrollador es libre de elegir otras direcciones, máscara de subred, así como otros elementos que realicen funciones similares.

Cuadro 1. Direcciones IP de los elementos de red.

| Elemento | Dirección IP |
|----------------------------------|---------------|
| CCT | 192.168.1.155 |
| Mini PC | 192.168.1.154 |
| Puente aéreo | 192.168.1.253 |
| Puente de tierra | 192.168.1.254 |
| Máscara de subred: 255.255.255.0 | |

Direccionamiento de información entre el Pixhawk, mini PC y CCT

Con la red funcionando ya se tenía el canal para el intercambio de información entre el UAV y la CCT, sin embargo, aún no se estaban transmitiendo datos. El Pixhawk requiere comunicarse tanto con los programas de vuelo en la mini PC como con la CCT en donde se visualiza el estado de vuelo. Por otro lado, desde la PC de tierra debe tenerse control de la mini PC para ejecutar programas que estén en ella cuando se desee, a la vez que deben visualizarse sus decisiones en la CCT.

Enrutador virtual

El Pixhawk se conecta desde su puerto mini USB a un puerto USB de la mini PC con un cable que tenga ambos puertos. Normalmente la PC le asignará a dicho puerto USB el nombre de COM4, aunque debe verificarse. Para direccionar la información de telemetría se creó un “enrutador virtual” en la mini PC empleando el software mavproxy (un software de vuelo con funcionalidades adicionales de direccionamiento de paquetes mavlink). En la figura 5 se muestran las líneas de código en el terminal de la mini PC que se requieren.



```

Microsoft Windows [Versión 10.0.17134.345]
(c) 2018 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\usuario>cd C:\Program Files (x86)\MavProxy
C:\Program Files (x86)\MavProxy>mavproxy.exe --master=COM4 --out=127.0.0.1:14551 --out=192.168.1.155:14552
    
```

Figura 5 Enrutador virtual en la mini PC. Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se accede a la carpeta donde se encuentra mavproxy la señal del Pixhawk (puerto COM4 en este caso) es replicada a dos puertos UDP, uno interno en la NUC para el procesamiento de las instrucciones autónomas con dirección IP 127.0.0.1:14551 y otro puerto interno de la CCT con dirección IP 192.168.1.155:14552. Conviene mencionar que la dirección 127.0.0.1 es la que usa una computadora para llamarse a sí misma y al añadir el “:14551” hace referencia a su puerto UDP interno 14551.

De esta manera, las rutinas de comportamiento autónomo en la mini PC no “llaman” al COM4 para conectarse con el Pixhawk, sino al puerto UDP 14551, mientras que el Mission Planner en la CCT se conecta al UDP 14552 para visualizar el estado de vuelo.

Es deseable que la mini PC ponga a funcionar el enrutador sin necesidad de que un usuario tenga que digitar esas 2 líneas en la terminal, ya que es impráctico, puesto que la PC irá a bordo del UAV y en un campo de vuelo no necesariamente se dispone de teclado, ratón ni monitor. Para esto, las dos líneas de código deben guardar en un archivo batch (archivo de texto con extensión .bat en el nombre) en la carpeta de inicio, que es donde se guardan todos los

programas que se quieren ejecutar automáticamente cada vez que se enciende la computadora. En Windows dicha carpeta se accede con la siguiente dirección: C:\Users\nombre_de_usuario\AppData\Roaming\Microsoft\Windows\StartMenu\Programs\Startup [3].

Es vital que previo a la ejecución del archivo las direcciones IP estén debidamente configuradas según lo establecido; en este caso, según el cuadro 1, porque de lo contrario el enrutador no sabrá dónde enviar las señales correspondientes y simplemente no lo hará. Esto implicará que la mini PC deba reiniciarse cuando las direcciones IP sean correctas, pero este cambio puede no ser nada práctico o fácil de hacer en un campo de vuelo.

Programas de vuelo

La biblioteca *dronekit* de python permite interactuar con el Pixhawk para controlar UAVs. Sus funciones permiten tareas como establecer conexión con el firmware cargado en el autopiloto, enviar instrucciones y/o solicitar información de vuelo. Se recomienda consultar la página de *dronekit* [4] para comprender todas las funcionalidades disponibles; acá se comentarán algunas con el fin de que el lector comprenda cómo usarlas en la estructura propuesta en este escrito.

Una función esencial es *connect* que toma como parámetro el puerto en el que está el autopiloto (en este proyecto se usó 127.0.0.1:14551 como se ve en la figura 5) y crea un objeto con sus características y funciones para enviarle instrucciones, tales como *simple_takeoff* y *simple_goto*. Estas últimas son fundamentales ya que permiten darle al UAV una elevación inicial y enviarlo a una posición gps determinada, respectivamente. Sin embargo, usar únicamente estas dos hace impráctica la creación de programas de vuelo, ya que si por ejemplo, en una línea de programa se da *simple_takeoff* y en la siguiente un *simple_goto*, esta última se sobrescribe a la primera, por lo que no terminará de elevarse, lo mismo que si se dan dos *simple_goto* seguidos.

Por otro lado, se puede solicitar información de vuelo como la posición del UAV, altura, velocidad, entre otras, mientras que hay sistemas de seguridad como el atributo *armed* del hardware y los modos de vuelo que se pueden estudiar en [4]. Estos últimos son de especial importancia ya que permiten que el vehículo opere con condiciones de vuelo particulares; por ejemplo, el modo *stabilize* hace que el UAV se mantenga horizontal, el modo *alt hold* permite hacer desplazamientos únicamente en un plano horizontal y el modo guiado *guided* hace que el vehículo reciba y ejecute órdenes de una PC e ignore al mando remoto.

Teniendo en cuenta estas funcionalidades se propone crear una biblioteca adicional (la manera de crear una biblioteca de Python se indica en [5]) en la que se tengan funciones que después de dar la instrucción *simple_takeoff* o *simple_goto* soliciten la posición del UAV periódicamente por medio de un ciclo, cuya condición de salida sea haber alcanzado la posición deseada, de esta manera no se sobrescribirían las instrucciones. Así mismo en [4] se proponen más funciones que pueden implementarse. Con dicha biblioteca se pueden escribir programas de python que contengan rutinas de vuelo, pudiendo usar incluso algún enfoque de inteligencia artificial, dependiendo de la misión que se desee llevar a cabo.

Por otro lado, el usuario debe tomar en cuenta la verificación continua del modo de vuelo en que está el vehículo -que debe ser *guided* para recibir instrucciones de la mini PC-, lo cual se puede lograr combinando las funciones *add_attribute_listener* y *mode_callback* en [4].

Lo anterior es necesario porque durante un vuelo puede darse alguna circunstancia que desestabilice el UAV mientras está recibiendo instrucciones de la PC a bordo; ante esto, lo más lógico es tomar el control del vehículo con el mando remoto (basta con accionar un botón en el mando que cambie de modo *guided* a cualquier otro) para estabilizarlo. Una vez que esto sucede, se puede volver a establecer el modo *guided* para que la PC siga dando instrucciones, pero si a esta no se le notificó el cambio de modo, pudo estar enviando instrucciones cuando

el Pixhawk realmente no las iba a ejecutar, con la posibilidad de haber quedado en un ciclo esperando a que se cumpliera alguna condición, dejando la misión incompleta.

Si no se gestiona adecuadamente la notificación del cambio de modo (tanto cuando el modo deja de ser *guided* como cuando vuelve a serlo), la funcionalidad de la biblioteca es incompleta y al tomar el control de la nave, habría que llevarla hasta tierra para reiniciar el programa en modo *guided* y esperar a que no haya otra complicación durante el vuelo.

Por último, es posible que se necesite ejecutar un programa varias veces y en cada uno se requiera cambiar alguna variable, como la altura de vuelo, velocidad, etc. Es impráctico tener que acceder directamente al archivo donde se encuentra el programa y cambiar estas variables previo a la ejecución de la rutina de vuelo por lo que se suele aprovechar la herramienta *argparse* de Python que permite indicar el valor de estas variables al ejecutar el programa desde el terminal, lo cual es muy conveniente como se verá a continuación.

Control de la CCT sobre la mini PC

Hasta el momento se sabe que la información que entra y sale del Pixhawk tiene dos posibles caminos según la figura 5; hacia la mini PC, a través de su puerto interno 127.0.0.1: 14551 usando programas de vuelo basados en la biblioteca dronekit de Python y el otro camino es hacia la CCT por medio de puerto UDP 192.168.1.155:14552, cuya forma de usarse se discutirá en esta sección.

Antes de hacer un vuelo real, es altamente recomendado simular el respectivo programa de vuelo. Para ello, se abre Mission Planner en la misma PC que se tiene Python y el programa a usar, se selecciona la opción *simulation* y se elige el tipo de vehículo a usar, lo cual llevará a una pantalla como la de la figura 2; el simulador crea un vehículo virtual que intercambia información con Mission Planner a través del puerto TCP 5760. Al ejecutar el programa de Python se hace *connect* con el puerto tcp:127.0.0.1:5760 y en Mission Planner se verá todo lo que el UAV haría.

Cuando se ha depurado por completo el programa se coloca en la mini PC para ser llevado a un vuelo real. Para visualizar el estado de vuelo en la CCT se debe abrir el Mission Planner y en vez de abrir el simulador y conectarse al puerto TCP 5760, simplemente debe cambiarse la opción de TCP a UDP, conectar y seleccionar el puerto 14552. Para completar la descripción del flujo de información en la estructura, a continuación se expondrá cómo acceder desde la CCT a la mini PC del UAV a ejecutar los programas de vuelo.

Se habilitó un servidor SSH abierto en la mini PC que inicia automáticamente al encender la computadora, mientras que en una CCT se habilita un cliente SSH. Desde este último se entra al terminal de la PC del UAV como se observa en la figura 6. Se accede a la carpeta donde está el programa de interés -que en este caso se llama *prueba_conexion.py*- y se ejecuta, sin olvidar indicar las variables empleadas con la herramienta *argparse* antes mencionada (en este caso la variable *connect*, que guarda el puerto en el que está el Pixhawk).

```
Microsoft Windows [Versión 10.0.17134.345]
(c) 2018 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

usuario@OESXTOP-9LBUACC C:\Users\usuario>python prueba_conexion.py --connect 127.0.0.1:14551
>>> APM:Copter V3.5.7 (b11c6af3)
>>> PX4: b535f974 NuttX: 1bcae90b
>>> Frame: OCTA
>>> PX4v3 002C0038 30965100 31353833
conectado
APM:UnknownVehicleType14-None.None.NoneUnknownReleaseType
STABILIZE
SystemStatus:STANDBY
Waiting for vehicle to initialise...
Armbian, waiting instructions
```

Figura 6 Acceso al terminal de la mini PC desde la CCT.

Montaje Final

Para alimentar eléctricamente la mini PC y puente Ethernet a bordo del UAV se recomienda usar baterías y en caso de que la tensión no sea suficiente se pueden usar convertidores DC-DC; el Pixhawk por su parte obtiene su energía de la mini PC al conectarse USB. Por otro lado, se debe crear una estructura mecánica para sujetar todos los componentes al UAV.

En la figura 7 se muestra el UAV sobre el que se implementó la estructura; en la parte inferior se muestra la mini PC en un soporte mecánico naranja hecho con una impresión 3D, el cual también contiene el puente Ethernet (no se observa en la figura 7). A los costados están las baterías (en color azul), mientras que el Pixhawk está dentro de la carcasa negra en la parte superior de la nave.



Figura 7 Montaje de la estructura del UAV autónomo.

Resultados

Para validar la estructura implementada se creó y programó una aplicación que simula un UAV repartidor de paquetes al cual le dan un conjunto de puntos donde debe entregar los mismos, pero sólo puede llevar un máximo de 4 a la vez, así que por medio de un algoritmo genético genera aleatoriamente posibles rutas y las muta, buscando hacer la más corta; una vez escogida, la ejecuta de manera autónoma. Al llegar a cada punto, desciende 5 m, como si estuviera entregando un paquete y vuelve a elevarse para continuar con el vuelo hasta ir a todos los puntos de la ruta.

La estructura se llevó a un vuelo de prueba real con la aplicación programada. Tanto la elevación como el descenso se hicieron manualmente con el mando remoto por seguridad, sin embargo, mientras estuvo en el aire, se mantuvo en modo guiado obedeciendo a la mini PC, haciendo el recorrido de la figura 8.

En la imagen de la izquierda obtenida con Mission Planner se observan numerados los 6 puntos que el UAV podía escoger (el H es la posición de despegue y aterrizaje), así como la ruta elegida y ejecutada (6,3,2,5). Por su parte, en la imagen en la derecha, obtenida con Google Earth, se aprecia la altura del trayecto y los descensos en cada punto de entrega, así como que las trayectorias no son completamente rectas, debido a que a la altura a la que se voló (50 m sobre el nivel del suelo) los efectos del viento eran inevitables.



Figura 8. Resultados de la prueba de vuelo.

Se puede apreciar que la ruta elegida no fue la más corta, ya que para lograrlo, el orden correcto debió ser 6,3,5,2 y aunque se evidenció que la aplicación debe mejorarse, el UAV eligió y ejecutó una ruta autónomamente -a excepción de la elevación y descenso por tratarse de la primer prueba y querer reducir los riesgos de que el UAV se estrellara-, permitiendo monitorear su trayectoria y estado de vuelo en cada instante, lo cual corresponde al propósito del proyecto.

Conclusiones y recomendaciones

Se presentó una propuesta de estructura flexible de hardware y software que le permite a un UAV ejecutar rutinas de vuelo, ya sea con comportamiento autónomo, totalmente preprogramado, así como manejado manualmente con un control remoto o una combinación de las anteriores.

Cuando se tiene un dispositivo en el aire que al caer accidentalmente podría ocasionar un daño a una persona, es muy importante estar monitoreando todo lo que está pasando en el vuelo para tomar las acciones necesarias en caso de una eventualidad. Para esto se recomienda el uso de herramientas como Mission Planner y programar que la rutina esté imprimiendo avisos del progreso de la misión que se está llevando a cabo, lo cual, según este proyecto, se vería en el terminal de la mini PC, a través de SSH.

Se recomienda complementar esta estructura con sensores y actuadores que permitan incrementar las funcionalidades de un UAV, así como intentar elevar y descender el vehículo por software y no manualmente, ya que esto aumentaría su autonomía.

Referencias

- [1] Ardupilot, «Ardupilot,» 2016. [En línea]. Available: <http://ardupilot.org/about>. [Último acceso: 30 Septiembre 2018].
- [2] M. Osborne, «Mission Planner (1.3.59) [Software],» 2018. [En línea]. Available: <http://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-installation.html>.
- [3] Microsoft, «Microsoft,» 8 noviembre 2015. [En línea]. Available: https://answers.microsoft.com/es-es/windows/forum/windows_10-start/iniciar-un-programa-al-encenderse-windows-10/1704b332-b34d-472d-838f-a621ce-4a58b7. [Último acceso: 1 octubre 2018].
- [4] 3D Robotics, «Dronekit,» 2016. [En línea]. Available: <https://dronekit.netlify.com/>. [Último acceso: 20 mayo 2019].
- [5] WEBO, «01 Crear un módulo para Python,» 6 Mayo 2016. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=dxCPuyfAvDQ>. [Último acceso: 19 Mayo 2019].
- [6] Geekland, «Blog de Tecnología,» 3 junio 2018. [En línea]. Available: <https://geekland.eu/instalar-cliente-servidor-ssh-en-windows/>. [Último acceso: 2 noviembre 2018].

Controlling design for Nasmyth focus concept for 2.1 m telescope of the OAN-SPM

Diseño del control para el concepto del foco Nasmyth para el telescopio de 2,1 m del OAN-SPM

Isaac Porrás-Navarro¹, Joel H. Castro-Chacón², Joel Herrera-Vázquez³,
Juan Manuel Nuñez³, Mauricio Reyes-Ruiz³

Porrás-Navarro, I, Castro-Chacón, J.H, Herrera-Vázquez, J, Nuñez, J.M, Reyes-Ruiz, M. Controlling design for Nasmyth focus concept for 2.1 m telescope of the OAN-SPM. Tecnología en marcha. Edición especial Movilidad Estudiantil 7. Abril, 2020. Pág.65-75.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i6.5168>



- 1 Ingeniero. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Mecatrónica, Costa Rica. Correo electrónico: isaacpona@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-9413-125X>
- 2 CONACYT - Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, B.C., México.
 <https://orcid.org/0000-0002-2583-076X>
- 3 Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, B.C., México.

Keywords

Nasmyth focus; 2.1 m telescope; tertiary mirror; OAN-SPM; 3D printing prototype.

Abstract

Telescopes has been the eyes that humans have used to discover the universe; observational astronomy had pinned out the development on technology and engineering. The Instrumentation Department of the OAN-SPM is looking for updating the main general purpose telescope. This telescope had supported investigations in many study fields, but since its construction still operating in Cassegrain configuration. The operation of Nasmyth focus is an option that will introduce the telescope to another steps on investigations. In this work we show the design of the controlling, for the first concept, that allows Nasmyth focus to operate on 2.1 m telescope of the OAN-SPM. Develop of testing for validating the controlling design and the characterization of the prototype are shown below.

Palabras clave

Foco Nasmyth; telescopio de 2.1 m; espejo terciario; OAN-SPM; prototipo impreso 3D.

Resumen

Los telescopios han sido los ojos que los humanos han usado para descubrir el universo; La astronomía observacional ha fijado un desarrollo impulsivo en la tecnología y la ingeniería. El Departamento de Instrumentación de OAN-SPM está buscando actualizar el principal telescopio de propósito general. Este telescopio había ayudado en investigaciones en muchos campos de estudio, pero desde su construcción funciona con la configuración tipo Cassegrain. La operación del foco Nasmyth es una opción que introducirá el telescopio a otros pasos en las investigaciones. En el presente trabajo mostramos el diseño del control para el primer concepto que permite que el foco Nasmyth funcione en un telescopio de 2.1 m de OAN-SPM. El desarrollo de pruebas para la validación del diseño del control y la caracterización del prototipo se muestran a continuación.

Introduction

The National Astronomical Observatory in Sierra de San Pedro Mártir (OAN-SPM) has several telescopes for general use, where the most important, because of its size, instruments and research the 2.1 m telescope (figure 1). This telescope is in operation since 1979 and since then his configuration is Ritchey-Chrétien (Cassegrain focus) [1].



Figure 1. 2.1 m telescope of OAN-SPM.

The implementation of another focus on the 2.1 m telescope, the Nasmyth focus, is proposed by OAN-SPM experts; since the structure allows its implementation. So far there is only the first concept of the mechanical design that is why it is necessary to develop a control design to validate the whole system working.

In the following pages here is an approach for the controlling. Besides there is the explanation about how the control was validated and the prototype construction using 3D printing technology.

Methodology

Because the mechanical design was given, the project is focused on designing the control and verify whether satisfy all the requirements. The steps followed to design are shown below:

- A. Requirements involved within the controlling part and its movements.
- B. The mechanical design was doing by the experts on OAN-SPM that is why it was necessary the get it and understand every part of it.
- C. The controlling were did it to meet all the requirements and for taking care the tertiary mirror.
- D. When the mechanical design was understood and all mechanical parts gotten, the prototype was fabricated by using a 3D printer.
- E. Finally, the design was tested by some probes like checking the movements and the response of the control.

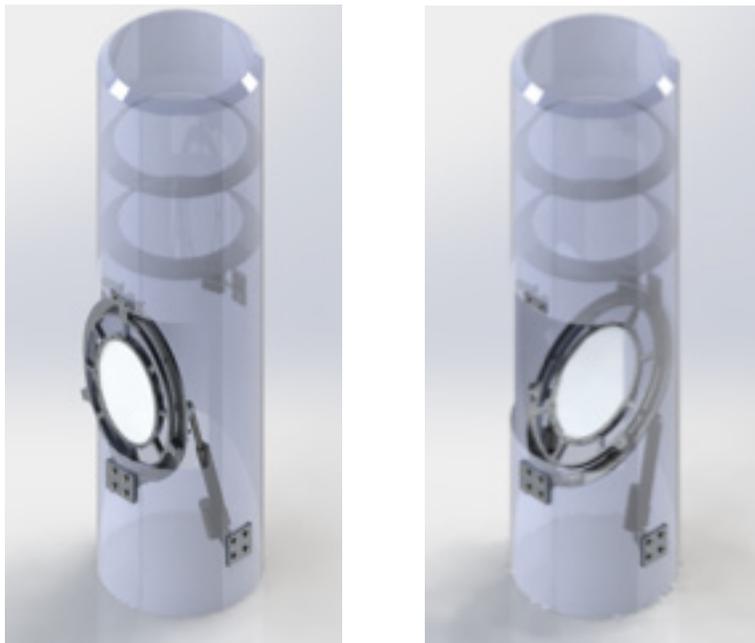
Requirements

The requirements for the controlling were given by the experts of OAN-SPM. Those are part of more requirements that the tertiary mirror system has to meet to be implement on 2.1 m telescope. The requirements are show below:

- The coupling has to be automatically take operation off when the actual configuration (Cassegrain Focus) is needed.
- Repeatability in the movement from positions off-on and on-off will be less than 20 arcseconds for an object seen by a camera and $f/7.5$ focus.
- The third mirror will be in stand by position when the Nasmyth is not working.
- The prototype can be made on the Instituto de Astronomía in Ensenada, and the materials purchase is not difficult.

Mechanical design

The mechanical design was given by the experts of OAN-SPM. They designed this part within the requirements that allow the implementation of the Nasmyth focus. In order to understand the control system and the testing procedures, the mechanical design is explained below.



a- Tertiary mirror turned off.

b- Tertiary mirror turned on.

Figure 2. Tertiary mirror coupling on primary baffle.

In figure 2-a the coupling of the tertiary mirror and the baffle coupled to the primary mirror are presented. In this figure, the focus is outside the operation, hence the Cassegrain focus is working. On the other hand, in figure 2-b the tertiary mirror is in operation position with its necessary inclination for reflecting the light from the optical axis of the telescope to the Nasmyth focus.

There are elements that will allow to pivot the structure that supports the tertiary mirror and be able to enter and exit the Nasmyth focus operation, those elements work like a hinge. The actuators that allows the Nasmyth focus to start operation are two electric pistons with position sensors [2], see figure 2.

In addition, there is a metal ring that supports the tertiary mirror and will allow it to move and tilt as need it. Experts on OAN-SPM proposed that the system has to have a calibration to prevent movements during the operation and to setup, this subsystem is called “fine tuning system”.

Another important element of the mechanical is the fixation subsystem. It prevents movements like vibrations and do not let the tertiary mirror leave the actual position until the fixation pin frees the system. There are two segments in this subsystem, one is used to fasten the tertiary mirror system when the Cassegrain focus is in operation, and the second segment is located to fix the tertiary mirror for the operation of the Nasmyth focus.

Aluminium 1060 is the proposed material for the mechanical elements.

Control design

The control is divided into two areas, hardware and software. As for the hardware, it is suggested to use the Beaglebone Black [3] as a microcontroller of the whole system, because it has the capacity of interconnection with the quadrature encoders from the operating system, it has enough inputs and outputs for controlling the complete system and experts of the OAN-SPM have comprehensive experience in its implementation. The use of the Pololu VNH5019 driver [4] is suggested for each motor.

In terms of software, it is designed not only for the Nasmyth focus to come into operation and for the tertiary mirror to be adjusted with greater precision, but also for the integrity of the entire system to be safeguarded. The control software was coded in Python and the algorithm is shown in Appendix 1 as flow diagrams.

For the main sequence, if both end sensors (ES), located when the Nasmyth focus is in operations (ES_on) and when is not (ES_off), are activated at the same time there is an abnormal situation, so it is required that the tertiary mirror system must be checked. Otherwise, if both ES are not activated when the main sequence is running is an abnormal situation, but in this case it could be because a failure when the system was turning on/off, so if the telescope operator know about this state, he could let the system continuing turning on/off because it not represent a danger for the telescope and its equipment. But the control will display an error for be check it next.

The algorithms to turning on and off the Nasmyth focus by the tertiary mirror system are showing on Appendix 1. In both cases, the position sensors of both electric pistons are sensing constantly for checking the correct operation of the pistons. If an abnormally movement is detected the system will stop immediately.

The correct way to control the fine turning system is pointed out on Appendix 1. As an example, if the fine turning is not properly calibrated the control system will do it by itself, that will keep the system under correct parameters for movements. Next, when the system is calibrated it is allowed to move one of the three motors. If the movement proposed by the user is out of the range of normal operation, the control system will prevent any movement of the motors and a message will show to guard the system integrity.

Testing

To verify that the control design would work as expected, a 3D printed prototype was built with ABS plastic as figure 3 shows, which was subjected to several tests to verify its correct operation and compliance with the requirements.

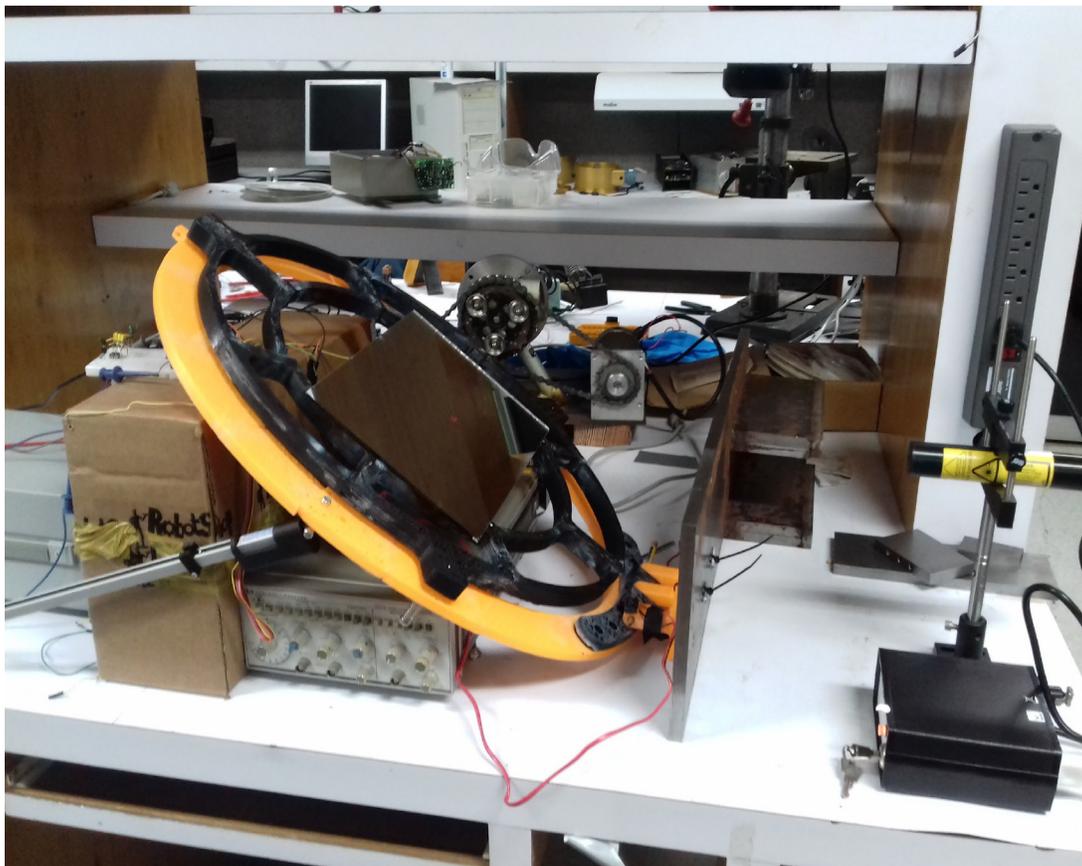


Figure 3. 3D printed prototype of tertiary mirror coupling.

The software made in Python that ran in the Beaglebone Black to verify the readings of the signals coming from sensors. The used actuators were pistons allowing the movement, two solenoids operate the subsystem of fixation; a spring next to a screw and a motor perform the fine turning.

The complete system (prototype and software running) was exposed to several situations for checking the behaviour of it. In all the times the system response as predicted the control design.

A repeatability test was also performed for the entry and exit from operation, where the system was tested by series of movements and thus obtain its deviation. By means of a mirror the light that comes from a laser was reflected and projected on a millimeter paper. Later an analysis was made to obtain the position of the reflected light.

Table 1 shows the iterations and the position in the Cartesian plane for each iteration. By the plate scale [5] of the telescope it is possible to convert the distance values to angular separations, so by doing this procedure and calculating the value of the standard deviation for repeatability, the value of 26.78 arcseconds was obtained for the x axis and 42.05 arcseconds for y axis, for a radial standard deviation of 49.85 arcseconds. Although it is high error that the prototype has,

it is not the same error that the design would have due to changes in the assembly and in the materials, so the value obtained is projected by means of the Young's modulus of each material for the designed coupling.

Table 1. Position of reflected light for every turned on/off of tertiary mirror.

| Iteration | x [mm] | y [mm] |
|-----------|---------|---------|
| 1 | 8.9571 | 13.4429 |
| 2 | 10.9620 | 11.1416 |
| 3 | 12.0229 | 8.1204 |
| 4 | 11.3440 | 9.4156 |
| 5 | 10.9112 | 10.6610 |
| 6 | 10.3505 | 11.6078 |
| 7 | 10.9278 | 10.8465 |
| 8 | 10.1531 | 11.3636 |
| 9 | 8.5832 | 14.5525 |
| 10 | 7.8982 | 15.9244 |
| 11 | 7.0534 | 16.8737 |
| 12 | 5.7245 | 17.4664 |

For aluminum 1060 the Young's modulus is 69 GPa [6] and for ABS it is 2 GPa [6]. Aluminum has the Young module 34.5 times greater than ABS plastic, so an approximation of the value of the standard deviation for the design of the coupling is 34.5 times smaller than that of the prototype printed in 3D, this will give result 1.22 arcseconds radial standard deviation in the repeatability of the OAN-SPM experts proposed design.

The time that tertiary mirror coupling takes to start or to be off operation is around 50 s.

Results analysis

The prototype was made as similar as the mechanical design and it was enough to do the testing.

All the subsystems worked as expected on the testing. The fixation subsystem hold on and extend its pins when the tertiary mirror powering on or off was need it. The pivoting subsystem worked as expected, stopping the system if some position sensor do not move as expected (e.g. piston do not move), and move to tertiary mirror from off to on or on to off position when is needed it. On the other hand, the fine tuning subsystem works fine too, moving the motors the steps need it and correcting the angle of the tertiary mirror as the user need it either.

Verifying with the value of the requirement, the system is within the accepted value since it indicates that the repeatability must be less than 20 arcseconds and within the testing and approximation the repeatability is around 1.22 arcseconds.

The time that takes turning on or off the tertiary mirror is acceptable according to OAN-SPM experts.

The prototype could be built on Instituto de Astronomía in Ensenada within the materials and tools provided by OAN-SPM staff. And the 3D plastic printing works as expected for the testing.

Conclusion

- A control design for the Nasmyth focus coupling was proposed.
- A prototype for testing was made by ABS plastic 3D printing.
- The proposed control design that meets the requirements established by the OAN instrumentalists was validated.
- The software and hardware of the control system show the proper operation of the tertiary mirror, and when the prototype is replaced, this control system is reliable enough to be implemented with the real mirror in the 2.1m telescope in the OAN-SPM.

References

- [1] “Telescopio de 2.1metros”, *Astrossp.unam.mx*. [Online]. Available: <http://www.astrossp.unam.mx/~sectec/web/telescopios/2mt.html>. [Accessed: 14- May- 2018].
- [2] “Pololu - Glideforce LACT12P-12V-20 Light-Duty Linear Actuator with Feedback: 50kgf, 12” Stroke (11.8” Usable), 0.57”/s, 12V”, *Pololu.com*. [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2313>. [Accessed: 02- Jun- 2018].
- [3] “beagleboard/beaglebone-black”, *GitHub*. [Online]. Available: <https://github.com/beagleboard/beaglebone-black/wiki/System-Reference-Manual>. [Accessed: 28- May- 2018].
- [4] “Pololu - VNH5019 Motor Driver Carrier”, *Pololu.com*. [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/1451>. [Accessed: 02- Jun- 2018].
- [5] “Manuales y reportes. Departamento de Instrumentacion”, *Astrosen.unam.mx*. [Online]. Available: http://www.astrosen.unam.mx/Ens/Instrumentacion/frame_manuales.htm. [Accessed: 20- Jul- 2018].
- [6] *Solidworks 2016*. Dassault Systèmes, 2016.

Appendix 1

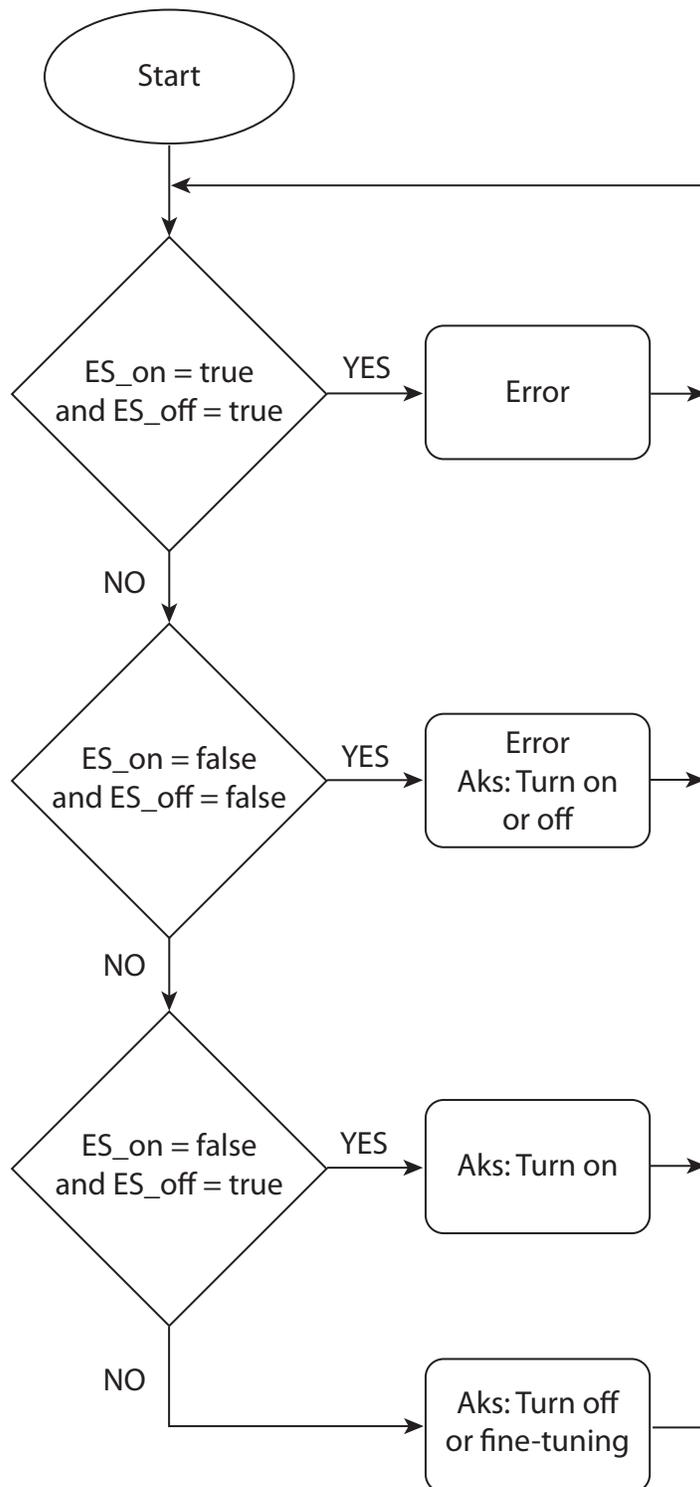


Figure 4. Main sequence.

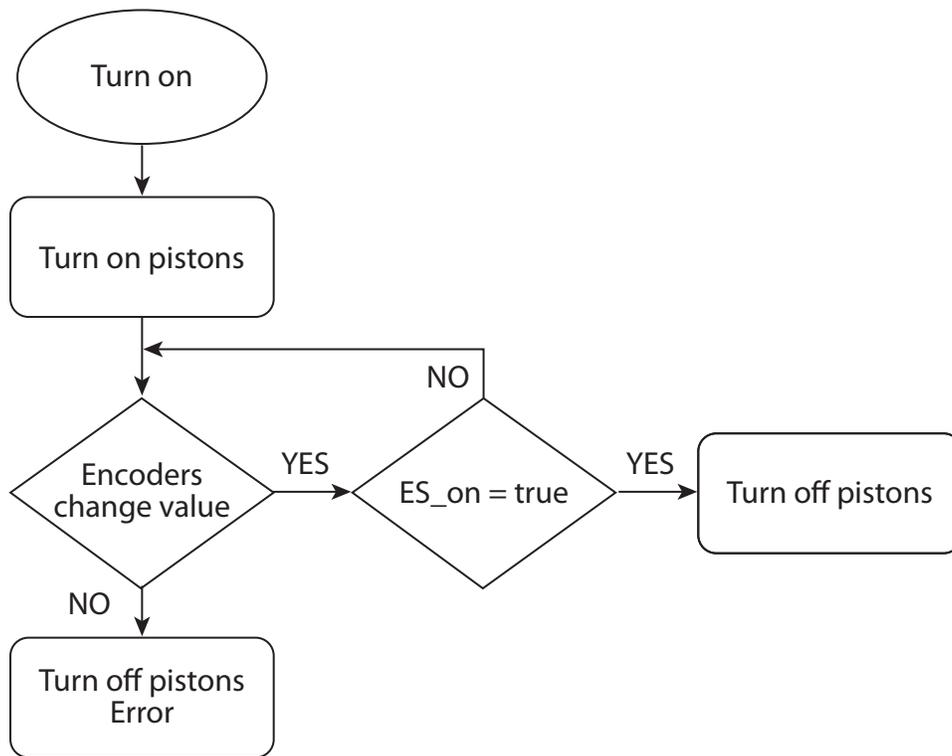


Figure 5. Turn tertiary mirror on sequence.

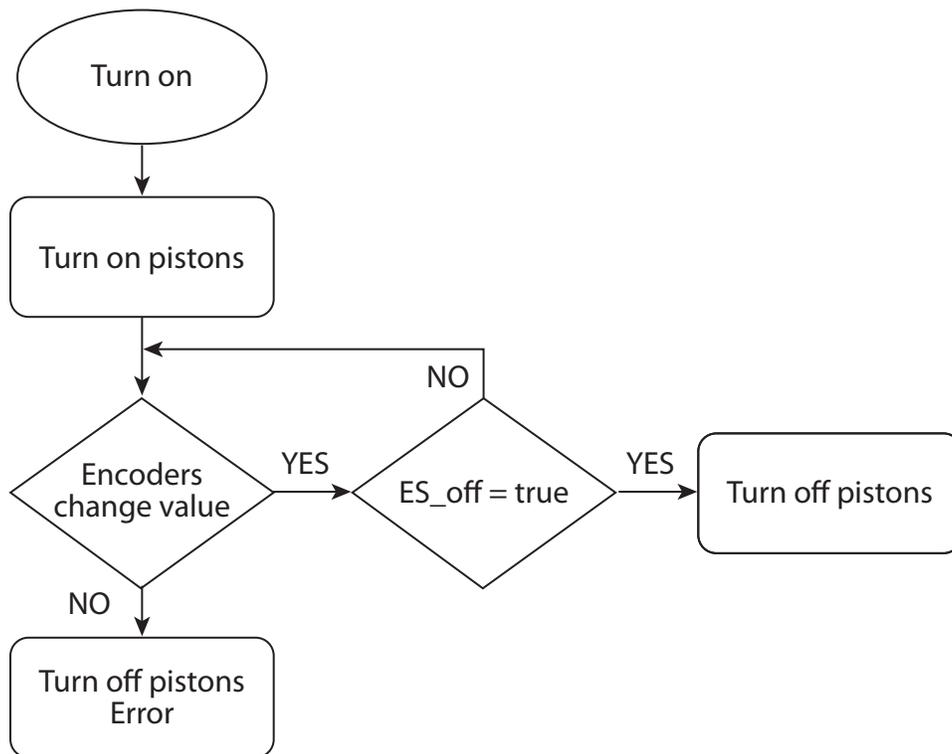


Figure 6. Turn tertiary mirror off sequence.

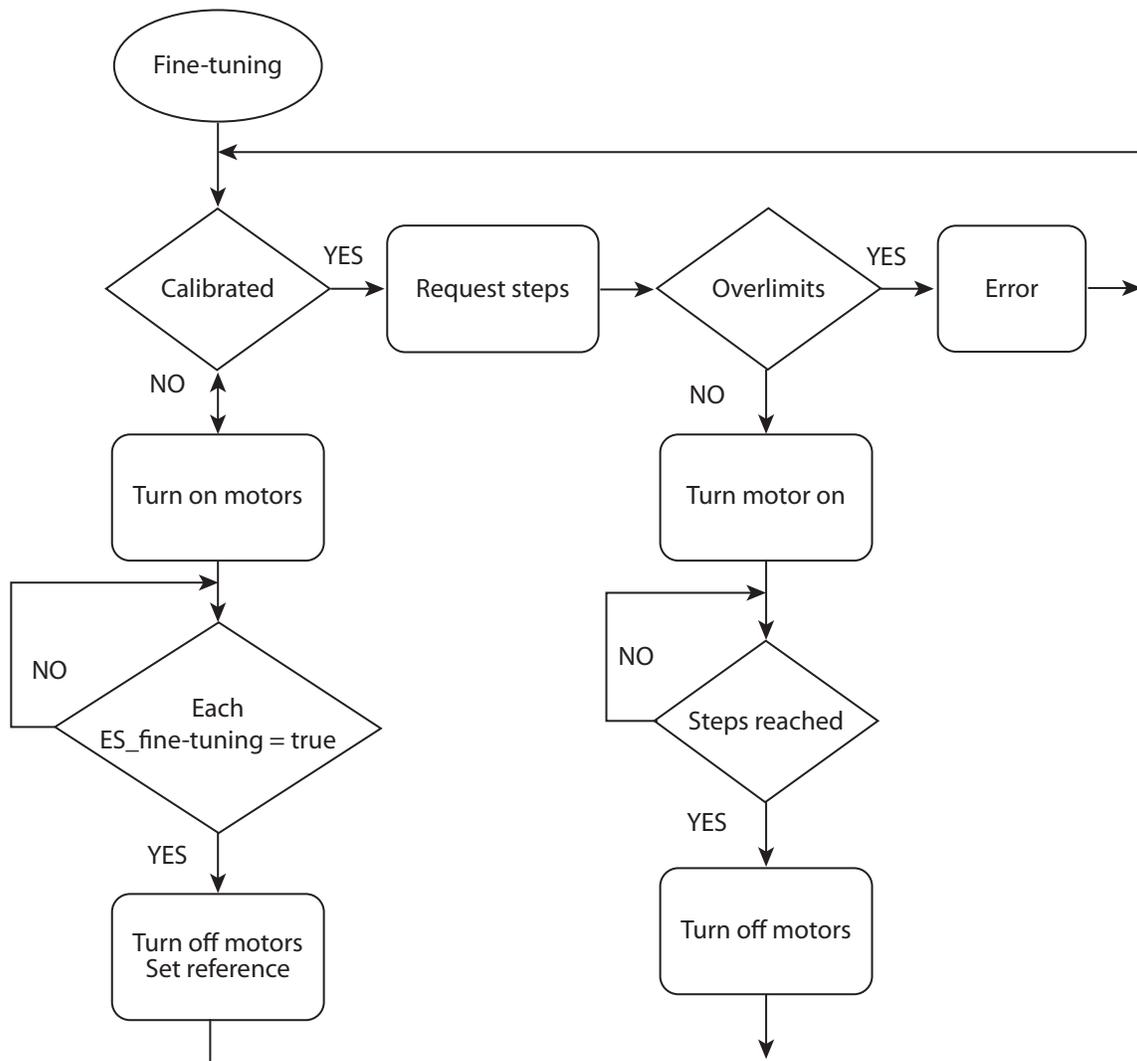


Figure 7. Fine-tuning tertiary mirror sequence.

Comparativa entre modelos turísticos sostenibles vigentes en España y Costa Rica; tomando como referencia la región de Murcia, Cartagena y la región Caribe Sur, Gandoca

Comparison between sustainable tourism models in force in Spain and Costa Rica; Taking as reference the region of Murcia, Cartagena and the South Caribbean region, Gandoca

Allan Alexander Cerdas-Monge¹

Cerdas-Monge, A. Comparativa entre modelos turísticos sostenibles vigentes en España y Costa Rica; tomando como referencia la región de Murcia, Cartagena y la región Caribe Sur, Gandoca. Tecnología en marcha. Edición especial Movilidad Estudiantil 7. Abril, 2020. Pág.78-81.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i6.5169>

¹ Estudiante de Gestión en Turismo Sostenible. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cost Rica. Correo electrónico: allanalex8824@gmail.com



Palabras Clave

Desarrollo sostenible; turismo sostenible; modelos turísticos; España; Costa Rica.

Resumen

El turismo representa grandes oportunidades para los comercios turísticos, permitiendo desarrollar la economía de una región en: los factores humanos, políticos, ambientales permite que se desarrolle con gran facilidad. Los ambientes desarrollados por el turismo en la ciudad de Cartagena, España, se logra determinar con el análisis en factores que hacen que una región logre empoderarse con una actividad tan importante, permitiendo enfocar la comparativa con los modelos de la región de Gandoca, Sixaola. La investigación se basa sobre un análisis comparativo entre ambas regiones que permite ver la gran diferencia entre ambas regiones.

Keywords

Sustainable development; sustainable tourism; tourism models; Spain; Costa Rica.

Abstract

Tourism represents great opportunities for tourist trade, allowing to develop the economy of a region in: human, political, environmental factors allow it to develop with great ease. The environments developed by tourism in the city of Cartagena, Spain, can be determined with the analysis of factors that make a region able to empower itself with such an important activity, allowing to focus the comparison with the models of the region of Gandoca, Sixaola. The research is based on a comparative analysis between both regions that shows the great difference between the two regions.

Introducción

En España desde los años 70 se ha implantado un modelo de desarrollo turístico de masas fuertemente criticado por su impacto ambiental, debido esto en los últimos años sus políticas turísticas han incluido el concepto de sostenibilidad ambiental, sin embargo, su modelo de desarrollo turístico es el mismo y con una idea muy diferente de sostenibilidad la que tiene Costa Rica.

España ha generado desastres ecológicos por la construcción de hoteles de transnacionales optado por un desarrollo de masas un modelo muy diferente de Costa Rica no se ha desarrollado en la región del Caribe Sur de Costa Rica, para no romper el esquema de sostenibilidad.

Los modelos turísticos entre España y Costa Rica son modelos muy diferentes, la gran demanda turística es un ejemplo de lo que se mencionara, los enfoques turísticos entre estos países son muy grandes. España se caracteriza ser por un destino muy conocido como “turismo de Masa” es esta actividad se caracteriza por ser una actividad demandada y poco sostenible con el ambiente, Costa Rica es todo lo contrario, se caracteriza por ser totalmente sostenible y desarrollar actividades locales. La finalidad de este artículo es presentar una reflexión especialmente entre los modelos turísticos de estas regiones, donde vemos dos panoramas muy diferentes entre Cartagena y Gandoca.

Desarrollo turístico y sostenibilidad

Antecedentes al turismo sostenible

Antes de explicar los planes llevados a cabo de cara a implantar un turismo más responsable y competitivo en el ámbito nacional e internacional, se hará un breve repaso del desarrollo turístico previo a la preocupación por un turismo sostenible entre España y Costa Rica. Ya que se estaba poniendo en peligro el futuro del turismo, carente de gestión y planificación.

El origen del turismo de masas en España se genera entre 1960 y 1973, donde el número de visitantes pasó de 6.113.255 en el año 1960 a 34.558.943 visitantes en 1973, con tasas anuales de variación superiores al 10% en la mayoría de sus años. El turismo receptor internacional provenía de Inglaterra y Alemania, en busca de un turismo vacacional en la zona del litoral mediterráneo. Dicho crecimiento acelerado en la demanda provocó un evidente aumento en la construcción para hospedar a dichos turistas en establecimientos hoteleros, campings, apartamentos, etc.... Dando lugar a una importante generación de empleo en la economía española. Todo este desarrollo turístico se llevó a cabo sin la existencia de planes de ordenación territorial ni urbanísticos, a falta de una planificación turística con perspectivas de futuro [1].

Los modelos Turísticos en Costa Rica empezaron entre los años ochenta y noventa con un modelo no muy diferente al de España a inicios de los años sesentas, con un modelo de sol y playa a medida que esto ocurría en el país se decide crear a un instituto legal así lo determinaba ya desde 1955, por medio de la Ley Orgánica No 1917, se crea el Instituto Costarricense de Turismo (ICT) cuya misión es "promover el desarrollo turístico integral con el fin de mejorar el nivel de vida de los costarricenses, manteniendo el equilibrio entre lo económico, lo social, la protección del ambiente, la cultura y la infraestructura" y tiene como finalidad principal incrementar el turismo en el país [2].

En Región de Murcia cuentan con Espacios de naturales protegidos algunos de ellos se mencionarán a continuación:

- Cañón de los Almadenes.
- Parque Regional Sierra del Carche.
- Parque Regional de la Pila.
- Parque Regional El valle y Carrascoy.
- Parque Regional Sierra Espuña.
- Parque Regional Salinas de San Pedro
- Parque Regional de Calblanque.
- Parque Regional Calnegre y Cabo Cope.
- Reserva Natural Cañaverosa.
- Paisaje Protegido Ajauque y Rambla salada.
- Paisaje Protegido Islas y Espacios del Mar Menor.

Esta información fue emitida por medio del Instituto de Turismo de la Región de Murcia.

En la provincia de Limón contamos con una gran cantidad de áreas protegidas ellas son:

- Refugio de vida silvestre Barra del Colorado.

- Parque Nacional Tortuguero.
- Parque Nacional Cahuita.
- Reserva Biologica Hitoy Cerere
- Refugio de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo.

Actividades turísticas de la región de Murcia Cartagena.

1. Sol y Playa
2. Religioso
3. Cultural/Mice/Ciudades
4. Senior
5. Náutico
6. Fútbol
7. Golf
8. Naturaleza Y Activo
9. Salud Y Belleza - Médico
10. Gastronómico
11. Enoturismo
12. Camping
13. Cruceros
14. Idiomático

Actividades Turísticas de La Provincia de Limón, Gandoca.

1. Sol y playa
2. Surf
3. Snorkel
4. Kayaking
5. Buceo
6. Pesca
7. Canopy
8. Cabalgatas
9. Rápidos
10. Cuadraciclo
11. Ciclismo montaña
12. (Instituto Costarricense de Turismo, 2015-2016)

Las Actividades turísticas entre ambas regiones son muy diferentes con grandes dimensiones del tipo de turista que visita la zona y sus intereses de ocio. La región de Murcia en Cartagena se basa en un modelo de turismo cultural, comercio, histórico un modelo muy interesante para los turistas de la unión europea y continentes cercanos. Por otra parte, el turismo que la zona de Limón en Gandoca ofrece es un turismo rural, ecoturismo, sol y mar de una forma sostenible sin modelos de hoteles de grandes cadenas como lo son NH, RIU, BARCELÓ, IBERIOSTAR, EUROSTAR entre otros hoteles. La comunidad de Gandoca tiene lo que son posadas turísticas, realizadas por pequeños empresarios pymes que mediante el modelo de turismo sostenible se auto sustentan de las ganancias de los visitantes que quieren un entorno muy natural y un modelo totalmente diferente al de España que viene siendo un modelo generado por empresarios poderos económicamente.

El Plan Integral de Calidad y Turismo Español (PICTE) fue desarrollado entre los años 2000-2006, donde las empresas y servicios turísticos ejercen acciones estableciendo estándares de calidad. En esta etapa el turismo se recuperaba de la mala imagen dada en periodos anteriores y coincide el periodo de convergencia hacia los programas e iniciativas de la UE [3] [1].

Conclusiones

Después de la reflexión a que condujo esta investigación, se puede afirmar que ambos países tienen en claro la importancia de la actividad turística como parte del desarrollo sostenible y su efecto de amortiguar los impactos ambientales actuales, los modelos de turismo son muy diferentes y cabe decir que Costa Rica tiene mucha más ventaja en temas ambientales sostenibles que España esto porque no se ha hecho una sobre explotación de recursos naturales , como de igual forma España tiene más desarrollo económico que Costa Rica, esto por la cantidad de turismo que acaparan , mediante planes estratégicos y un plan de ordenamiento territorial.

El turismo en la región de Murcia, Cartagena es muy activo y dinámico gracias la gran cantidad de embarcaciones de cruceros que llegan a lugar como punto de destino, las excelente infraestructura en los puertos, su gran cantidad de museos históricos, la gran gastronomía. Pero la persistencia en el tiempo de la actividad turística depende, en gran parte, por una adecuada planificación sin perjudicar a los ámbitos económicos, sociales y ambientales en el largo plazo. Los cambios en la demanda, por un turista más concienciado ambiental y culturalmente, ponen en auge la búsqueda de destinos turísticos donde exista cierta belleza paisajística y se disfrute de la cultura y tradiciones de la zona. Estos cambios están dejando obsoletas las zonas de sol y playa masificadas que predominan en el levante español, debido en gran parte al desarrollo urbanístico descontrolado. La Región de Murcia lo refleja mayormente en la zona de la Manga del Mar Menor, donde las encuestas de satisfacción a los turistas de esta zona valoran con menor puntuación las variables relacionadas con los espacios verdes, la falta de actividades culturales y el exceso de tráfico en épocas estivales de verano.

Personalmente opino que para que un modelo turístico sea exitoso debería empezar por los gobiernos locales para que se haga un planteamiento, ordenamiento de los esquemas turístico en una ciudad o pueblo es la mejor forma de tener un modelo éxito de turismo de igual forma no se debe olvidar que toda practica turística debe ser responsable para poder ejercerse. Las dimensiones entre Costa Rica y España son muy grande y el turismo son totalmente diferentes pero hay que destacar que ambos países empezaron su modelo turístico con el famoso sol y playa y además que Costa Rica logro ir cambiando su modelo durante los años y ahora los países como es España están en camino del ese cambio sostenible.

Agradecimientos

El autor agradece a las Vicerrectorías de Investigación y Docencia del Instituto Tecnológico de costa rica que intervinieron para hacer posible la realización de la pasantía. Un agradecimiento Administración Y Dirección De Empresas Universidad Politécnica De Cartagena, Facultad De Ciencias De La Empresa.

Referencias

- [1] J. M. Mompeán (2014-2015). *Turismo sostenible y la ordenación del territorio: análisis y conclusiones en la región de Murcia*. Murcia, España.
- [2] L. D. Alvarado (2009). *Evolución e importancia del turismo en Costa Rica*. San Jose : Conare.
- [3] Instituto Costarricense de Turismo. (2015-2016). *Plan Nacional de Turismo Sostenible Costa Rica*.

Aproximación inicial a la comparación de cámaras hiperespectrales para su aplicación en agricultura

Initial approach to the comparison of hyperspectral cameras for application in agriculture

Rodolfo José Piedra Camacho¹

Piedra-Camacho, R. Aproximación inicial a la comparación de cámaras hiperespectrales para su aplicación en agricultura. Tecnología en marcha. Edición especial Movilidad Estudiantil 7. Abril, 2020. Pág.82-91.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i6.5170>

¹ Área académica de ingeniería mecatrónica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: fofo.piedra@gmail.com



Palabras clave

Cámaras hiperespectrales; Agricultura; cubos de imágenes.

Resumen

El presente artículo muestra un método inicial, práctico y básico para la comparación de cámaras hiperespectrales. Una cámara hiperespectral permite tomar “cubos de imágenes” que constan de tres dimensiones, dos espaciales y una espectral en la que se almacena la reflexión de una escena a todos los espectros de onda entre el rango de la luz visible y el inicio del infrarrojo. Se utilizaron dos cámaras hiperespectrales para las pruebas, una marca Cubert modelo UHD-185 y una cámara diseñada por el Grupo Integrado de Ingeniería de la Universidad de la Coruña; la primera captura 127 espectros en el rango de los 450 a 998nm, la segunda toma hasta 1088 espectros, algunos repetidos, en el rango de 385 – 950nm. Se diseñó una interfaz para el control de la cámara no comercial, se realizaron capturas de forma simultánea a una escena bajo abundante luz solar y se comparó la información mediante Matlab al promediar y presentar de forma gráfica la información hiperespectral de un área común a ambas capturas. Entre los resultados más predominantes se encuentra el reconocimiento de la suavidad en la curva de datos de la cámara UHD-185 y la falta de picos pronunciados en momentos de caída de nivel de ciertos espectros; ambos criterios de selección importante según la aplicación. El procedimiento se puede aplicar para cámara de línea o de escena siempre y cuando las mismas retornen su información en una gama de imágenes que se puedan pasar a un formato .mat de Matlab.

Keywords

Hyperspectral cameras; Agriculture; cubes of images.

Abstract

This article shows an initial, practical and basic method for comparing hyperspectral cameras. A hyperspectral camera allows taking “image cubes” that consist of three dimensions, two spatial and one spectral in which the reflection of a scene is stored at all wave spectra between the range of visible light and the start of infrared. Two hyperspectral cameras were used for the tests, a Cubert brand model UHD-185 and a camera designed by the Integrated Engineering Group of the University of La Coruña; the first captures 127 spectra in the 450 to 998nm range, the second takes up to 1088 spectra, some repeated, in the 385 - 950nm range. An interface was designed to control the non-commercial camera, captures were made simultaneously with a scene in abundant sunlight, and the information was compared using Matlab by averaging and graphically presenting hyperspectral information from an area common to both captures. . Among the most predominant results are the recognition of smoothness in the data curve of the UHD-185 camera and the lack of pronounced peaks in moments of level drop of certain spectra; both important selection criteria depending on the application. The procedure can be applied for line or scene cameras as long as they return their information in a range of images that can be passed to a Matlab .mat format.

Introducción

El avance y desarrollo de tecnologías de monitorización, vuelo a baja altura, sistemas de visión y manipulación de datos, ha llevado a la necesidad de la tecnificación de una variedad de industrias y áreas de la ciencia; de estas se destaca particularmente la agricultura, en principio por su importancia a nivel alimenticio. Particularmente la industria agrícola posee los medios con los cuales actuar sobre el medio, herbicidas, rotación de cultivos o similares; para complementar estos medios la tecnificación de la industria se da sobre el área de medición, monitorización y similares. Dentro de las tecnologías para la monitorización en agricultura destacan las imágenes, cámaras y análisis hiperespectrales.

Una imagen hiperespectral es una imagen que almacena la radiación de una gran cantidad de bandas espectrales que emiten los cuerpos terrestres al reflejar la energía del sol u otra emisión de luz [1]. Se puede comparar con el concepto de imagen RGB, donde cada imagen consta de tres espectros amplios: Rojo, azul y verde; una imagen hiperespectral consta de una mayor cantidad de espectros estrechos, principalmente del espectro visible y el infrarrojo; por la cantidad de espectros la imagen hiperespectral también se le conoce como cubo hiperespectral.

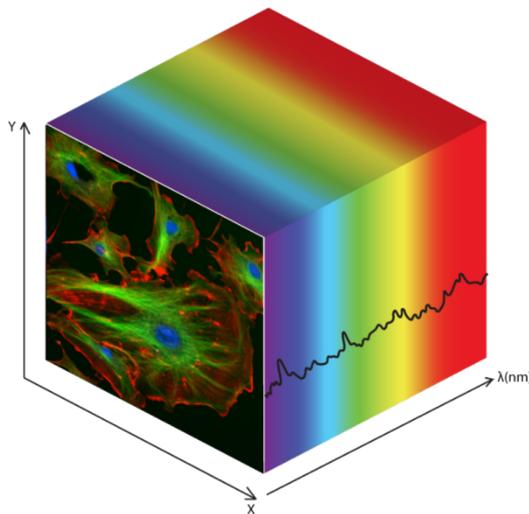


Figura 1. Concepto de Cubo Hiperespectral.

La utilidad del cubo hiperespectral radica en el concepto de firma espectral, lo cual es la forma específica en que cada material interactúa con las distintas longitudes de onda [2]. Entiéndase la firma espectral como una huella dactilar para un material que en el caso de la agricultura permite conocer sobre el estado del suelo, la biomasa o similares [2].

Finalmente como lo explica [1] existen tres tipos de cámaras hiperespectrales: de punto, de línea o push-broom y de escena o snapshot. En el primer tipo se captura la información en un único pixel, en el segundo se captura la información espectral en una línea de pixeles y el último captura información hiperespectral en toda la escena al costo de menos bandas espectrales.

Distintas investigaciones han demostrado la viabilidad de la tecnología, por un lado [3] utilizando una cámara snapshot, modelo UHD-185, obtuvieron información sobre la biomasa verde y el nivel de clorofila de una campo de cebada, requirió del algoritmo de vecino más cercano para interpretar la información hiperespectral limitada de la cámara UHD-185, imágenes de 50 x 50 pixeles.

Por otro lado [4] realizaron un estudio con cámaras tipo pushbroom marca Headwall en el cual logran obtener información sobre la clorofila tipo a y b, así como el índice de área de hoja y la biomasa verde de los cultivos. En la misma línea [5] y [6] realizan más estudios mediante cámaras pushbroom variando principalmente en temas de cultivos o condiciones de la captura de información; no obstante, ambos demuestran la viabilidad del análisis hiperespectral.

En todos los casos se demuestra la viabilidad de las imágenes y cámaras hiperespectrales en el análisis de agricultura más no así el proceso o razonamiento bajo el cual se seleccionó o prefirió un modelo sobre otro; la selección en si misma puede incidir en la calidad de la información, detalle en espectros particulares, costos y facilidad de análisis; una cámara podría ser más rápida en la captura de imágenes pero incapaz de obtener el detalle en ciertos espectros críticos; si bien el detalle o calidad de la información varía de aplicación a aplicación si es cierto que siempre se necesita un proceso de elección. Por esta razón el presente artículo presenta un proceso básico e inicial bajo el cual se comparan dos cámaras hiperespectrales distintas, el estudio se realiza con capturas en tierra.

Metodología

Equipo y Materiales

Propiamente el proceso de comparación requirió de dos cámaras hiperespectrales, un trípode y dos computadores portátiles, una para el control de cada hiperespectrometro.

La primera cámara hiperespectral es del tipo snapshot, modelo UHD-185 de marca Cubert, captura imágenes con una resolución 50 x 50 en las imágenes espectrales y una resolución 1000 x 1000 en las imágenes blanco y negro; internamente la cámara traduce la información hiperespectral 50 x 50 a la imagen de mayor resolución; el rango espectral es de 450 a 998 nm y toma 127 espectros distintos con una distribución variable de 4 nm en los espectros bajos y de hasta 32 nm en los espectros altos. Posee un tiempo de exposición ajustable entre 1 a 1000 ms, para efectos de las pruebas se utilizó a 16 ms. Finalmente permite aplicar correcciones a las imágenes o entregar los datos crudos; para efectos de la pruebas se utilizó el método de captura de datos crudos.

La segunda cámara hiperespectral es del tipo pushbroom y fue diseñada propiamente por el Grupo Integrado de Ingeniería de la Universidad de la Coruña, campus Ferrol, utiliza una cámara UI3360-CP para la captura de imágenes. Al ser del tipo pushbroom las imágenes constan de una dimensión espacial, fijada a la dimensión X y la información de todos los espectros en la dimensión Y, posee una resolución espacial de 2048 pixeles y toma 1088 bandas espectrales, de las cuales algunas se repiten, en el rango de 385 – 950nm. Requiere un tiempo de exposición mínimo de 83 ms, para efectos de las pruebas se utilizó el valor de 83 ms.

Se utilizó un trípode marca Nexstar para poder capturar una escena con la cámara tipo pushbroom, esto dado que al tomar solamente una línea espacial la cámara pushbroom requiere que su posición se ajuste recurrentemente para así poder capturar una escena entera; otra opción es que el trípode rote de forma continua en lo que la cámara hiperespectral toma las imágenes. Los trípodes marca Nexstar permiten ambas opciones de barrido.

Las computadoras portátiles se utilizaron para poder correr los programas necesarios para la captura de imágenes, en el caso de la cámara snapshot se utilizó el programa del proveedor Cubert de nombre Cube-Pilot; por otro lado el computador de la cámara pushbroom solo necesita ser de sistema operativo Windows y poder ejecutar programas diseñados en Microsoft Visual Studio 2012.

Interfaz de Control Pushbroom

Para operar la cámara hiperespectral se diseñó un programa en C++ bajo el ambiente de depuración Microsoft Visual Studio 2012 y utilizando como base las librerías del proveedor de la cámara UI3360-CP. En la figura 2 se puede apreciar la interfaz diseñada.

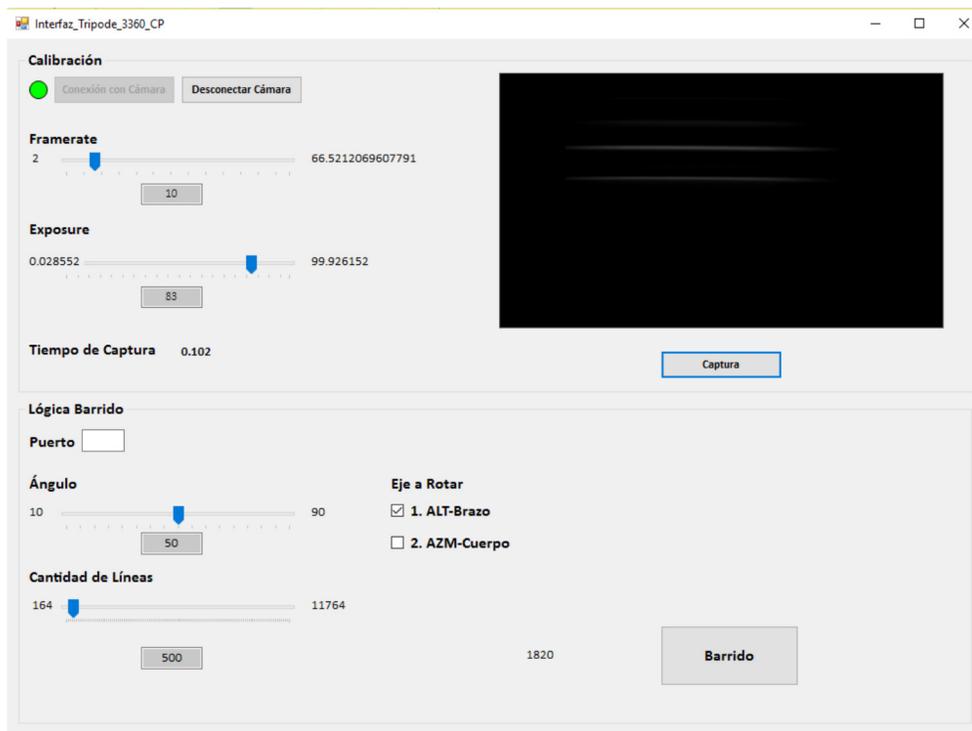


Figura 2. Interfaz para Captura de Imágenes Mediante Cámara Snapshot.

La interfaz permite controlar tanto la cámara como el trípode; propiamente permite asignar el tiempo de exposición, el ángulo del barrido, la cantidad de líneas espaciales a capturar, entre otros datos. Para el proceso de barrido del trípode, se decidió optar por un movimiento a velocidad constante, la velocidad depende de la siguiente fórmula:

$$V \text{ } ^\circ/\text{s} = \frac{\text{angulo } ^\circ}{T_{\text{captura}} \text{ s} * C_{\text{Lineas}}} \quad (1)$$

Condiciones y Procedimiento de Captura

Las condiciones de la cámara pushbroom fueron las siguientes:

- Tiempo de Exposición = 83 ms
- Ángulo = 20°
- Cantidad de Líneas = 350
- Tiempo de Captura = 0.102s
- Velocidad = 0.56 °/s

Para la cámara tipo snapshot se utilizó la interfaz del proveedor Cube-Pilot sin aplicar corrección a las imágenes, tipo de captura por datos crudos, con una exposición de 16 ms y exportando los resultados a un formato .tiff.

Se tomaron las imágenes de forma simultánea a un área común, como la captura por cámara pushbroom toma más tiempo que la snapshot se sincronizó la captura de la cámara snapshot al punto intermedio del barrido; esto velando por que las condiciones de luz fuesen lo más similares en ambas capturas. Se realizaron las pruebas bajo techo; no obstante, la captura fue a un escenario en el exterior iluminado con abundante luz solar, no hubo obstrucciones mayores ni ventanas entre las cámaras y el escenario.

Procesamiento en Matlab

Para la comparación de los cubos de datos resultantes se utilizaron scripts .m de Matlab, propiamente los scripts realizan las labores:

- Generar el cubo de datos de las imágenes snapshot: La cámara retorna 127 imágenes .tiff separadas, un script .m se encarga de reunir las imágenes en una estructura mat.
- Generar el cubo de datos de las imágenes pushbroom: Mismo proceso al de las imágenes snapshot.
- Comparación de sectores: Un script .m encargado de comparar dos áreas específicas y presentar a manera de gráfica la información promediada de la reflexión de espectros proveniente de cada cámara hiperespectral. Para las pruebas se comparó un sector del tronco del árbol presenten en la escena.

La salida final del procesamiento de Matlab es una gráfica donde se muestran todos los valores de cada espectro para cada cámara.

Resultados y Discusión

Los resultados de las pruebas se pueden resumir en tres imágenes, la captura por parte de cada cámara al área común y la gráfica de comparación. Inicialmente la figura 3 presenta la captura de la cámara pushbroom.



Figura 3. Imagen Cámara Pushbroom

Al provenir de un barrido de solo 350 líneas la imagen capturada no representa las dimensiones originales de la escena; por este efecto se aplicó una transformación de la dimensión X a 2048 líneas, logrando así una imagen cuadrada, este proceso se realizó solo para la presentación de la imagen, la comparación utiliza los datos originales de la matriz 2048 x 350. Las franjas completamente negras corresponden a un sector del sensor de la cámara UI3360-CP al cual no incide luz, como el área seleccionada para la comparación fue el tronco, esta particularidad no tiene mayor impacto.

El único detalle a destacar es que para aplicaciones formales en agricultura, conviene utilizar una cámara solidaria capaz de capturar imágenes generales de la escena, esto con el fin de localizar adecuadamente los sectores de la captura hiperespectral; esto aplica principalmente cuando la lejanía entre la escena y la cámara es mayor, como lo es un vuelo de baja altura de 120 m.

La figura 4 presenta uno de los espectros de la cámara snapshot.



Figura 4. Imagen Cámara Snapshot.

La figura 4 presenta específicamente la reflexión al espectro de 746 nm, por temas de presentación se aumentó el brillo de la imagen en un factor de 2.5; no obstante para la comparación se utilizó la información original de la captura.

Finalmente la figura 5 presenta el producto del script .m que compara la información hiperespectral del tronco de la escena.

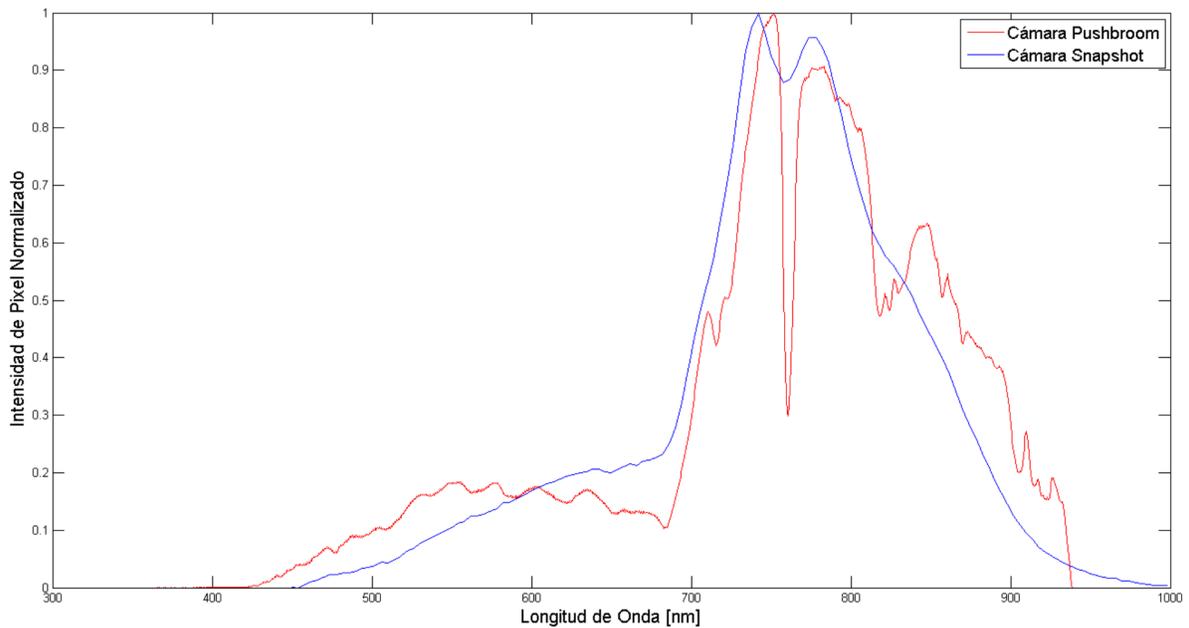


Figura 5. Comparación de Resultados de Cámaras Hiperespectrales.

La información se normalizó para poder apreciar la información a una misma escala, por este motivo la principal comparación se debe apreciar en los perfiles de las gráficas y las proporciones internas de las mismas.

Cabe destacar que las cámaras hiperespectrales toman su información en el rango de la luz visible y el inicio del infrarrojo, dado que el primer espectro de luz visible responde al 400nm se puede verificar con la gráfica que ambas cámaras presentan un comportamiento inicialmente adecuado; por otro lado los valores máximos de 950 y 998nm son parte del primer sector del espectro infrarrojo por lo que las cámaras respetan adecuadamente el límite superior del espectro.

El desfase entre los perfiles de las gráficas se puede atribuir a temas de calibración por parte de la cámara tipo pushbroom; esta diferencia aunque importante de corregir no implica un defecto mayor que pueda ser criterio de elección o contraste, siempre y cuando sea posible calibrar el equipo.

Un primer problema que se observa con las gráficas es el detalle en la reflexión de los espectros por parte de la cámara snapshot, principalmente la progresión sin cambios pronunciados que es prueba de un proceso de suavizado de datos. En la gráfica de cámara pushbroom se puede observar como en el perfil de la gráfica existen zonas con cambios pronunciados; la falta de este fenómeno en la cámara snapshot es motivo de cuidado al seleccionar el equipo.

Seguidamente las gráficas hacen luz a un segundo problema, la caída pronunciada en la gráfica pushbroom entre los espectros de 700 y 800nm casi no tiene contraparte en la gráfica snapshot. Debe aclararse que existen espectros de la luz solar que son absorbidos por la atmósfera terrestre, la caída entre los 700 y 800nm de la cámara pushbroom reflejan este fenómeno efectivamente; por otro lado la cámara snapshot presenta únicamente un leve valle en el mismo rango espectral, por hipótesis se puede decir que este problema es una extensión del proceso de suavizado de datos realizado por la cámara UHD-185.

La importancia del problema radica en que parte de la información que interesa para el análisis de parámetros en agricultura se encuentran en el rango de 700 - 800nm o bien en la capacidad de presentar los cambios pronunciados; una medición suavizada o que carece de la reflexión de ciertos fenómenos atmosféricos y de humedad introduce un error a las mediciones de parámetros en agricultura. Cabe destacar que ambos problemas muestran una diferencia relevante en cuanto a la sensibilidad al detalle de las cámaras y son posible motivo para la elección de un equipo sobre el otro.

Conclusiones

El proceso de contraste realizado utilizó una gráfica para mostrar el promedio de la información hiperespectral de una porción de madera en una escena capturada tanto con una cámara pushbroom como una cámara snapshot modelo UHD-185. El proceso de comparación dio a luz dos principales diferencias o problemas.

La cámara snapshot presenta un suavizado de datos que elimina la sensibilidad a los cambios bruscos o los máximos en la reflexión de espectros, dejando por resultado una curva suave; esto es contrario a la cámara pushbroom utilizada que presenta la información incluyendo los cambios bruscos. Efectivamente una pérdida de información en la cámara snapshot.

La cámara snapshot no detecta debidamente la caída en el rango de los 700 a 800nm que responde a la absorción, por parte de la atmósfera, de ciertas longitudes de onda. Esto puede volver inutilizable una cierta parte de la información según la aplicación.

En ambos casos cabe aclarar que la elección propia de un equipo dependerá únicamente de las necesidades de la aplicación y como las cámaras responden a dicha aplicación; en el caso de la agricultura esto puede variar según los parámetros que se quieran estudiar. Por otro lado siempre es posible tomar la información de comparación y decidir qué acciones tomar sobre las cámaras para poder utilizar su información, por ejemplo para el caso de la cámara snapshot utilizada tomar la información y tratar de extraer los cambios pronunciados originales.

De esta forma se puede concluir que el proceso de comparación, aunque básico y práctico permitió diferenciar dos cámaras hiperespectrales en criterios de importancia para elección, así mismo logro traer a luz necesidades de calibración y similares.

Agradecimientos

Todo el equipo y material en el desarrollo del proyecto se debe al Grupo Integrado de Ingeniería de la Universidad de la Coruña, Campus Ferrol; se agradece tanto el aporte material así como en conocimiento y experiencia de la materia o facilitación de documentación. Así mismo se agradece al sistema de Beca de Movilidad de Rectoría del TEC por brindar el aporte económico necesario para dar posibilidad al desarrollo del proyecto de graduación, el presente artículo es fruto y prueba del apoyo significativo de la beca.

Referencias

- [1] B. Priego Torres (Julio de 2011). Técnicas de Inteligencia Computacional Aplicadas al Procesamiento de Señal en Imágenes Hiperespectrales. (*Tesis de Maestría*). Universidad de la Coruña, Coruña, España.
- [2] A. Marini & P. Colandrea (2009). Data Bank Of Territorial Spectral Signatures For Sardinia And North Africa. *NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security* (págs. 137-142). Dordrecht: Springer.
- [3] H. Aasen, A. Burkart, A. Bolten & G. Bareth. "Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring: From camera calibration to quality assurance", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, pp. 245-259, 2015.
- [4] Z. Malenovský, T. Veness, L. & Wallace, "HyperUAS-Imaging Spectroscopy from a Multirotor Unmanned Aircraft System", *Journal of Field Robotics*, pp. 571-590, 2014.
- [5] J. Suomalainen, et al., "Lightweight Hyperespectral Mapping System and Photogrammetric Processing Chain for Unmanned Aerial Vehicles". *Remote Sensing*, pp. 11013-11030, 2014.
- [6] P. Zarco-Tejada, V. González-Dugo & J. Berni, "Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera". *Remote Sensing of Environment*, pp. 322-337, 2012.

Aplicación de *Deep Learning* al aprendizaje de modelos en robótica cognitiva

Deep Learning application to model learning in cognitive robotics

Ariel Rodríguez-Jiménez¹, Esteban Arias-Méndez²,
Francisco Bellas-Bouza³, Jose Becerra-Permuy⁴

Rodríguez-Jiménez, A., Arias-Méndez, E., Bellas-Bouza, F., Becerra-Permuy, J. Aplicación de *Deep Learning* al aprendizaje de modelos en robótica cognitiva. Tecnología en marcha. Edición especial Movilidad Estudiantil 7. Abril, 2020. Pág. 92-104.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i6.5171>

- 1 Ingeniero en Computación. SimMachines, Costa Rica. Correo electrónico: arieli13.10@gmail.com
- 2 Profesor de Ingeniería en Computación. Escuela Ingeniería en Computación, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: esteban.arias@tec.ac.cr
- 3 Profesor titular de universidad. Escuela Politécnica Superior, Departamento de Computación, Universidad de la Coruña, España. Correo electrónico: francisco.bellas@udc.es
- 4 Profesor titular de universidad. Escuela Politécnica Superior, Departamento de Computación, Universidad de la Coruña, España. Correo electrónico: jose.antonio.becerra.permuy@udc.es



Palabras clave

Red neuronal artificial; entrenamiento con batch; entrenamiento con mini-batch; aprendizaje online; aprendizaje profundo; robótica cognitiva; aprendizaje automático; optimizadores estocásticos; robot Baxter.

Resumen

El tipo de entrenamiento utilizado para una red neuronal artificial va a depender de factores como: disponibilidad de datos, tiempo de entrenamiento, recursos de hardware disponibles, entre otros. Los entrenamientos pueden ser offline u online. En el presente artículo se experimentan entrenamientos online sobre un robot cuya principal característica es que utiliza un mecanismo cognitivo darwinista para su supervivencia.

El aprendizaje del robot se produce en tiempo real. Este tiene redes neuronales artificiales profundas para predecir acciones a realizar, se entrena con la menor cantidad de espacio de almacenamiento y en el menor tiempo posible sin sacrificar confianza de la red neuronal artificial profunda.

Los entrenamientos experimentados son: Online Deep Learning, Online Deep Learning con memoria y Online Mini-Batch Deep Learning con memoria.

Keywords

Artificial neural network; batch training; mini-batch training; online learning; deep learning; cognitive robotics; machine learning; stochastic optimizer; Baxter robot.

Abstract

The kind of training used for an artificial neural network will depend on factors such as: available data, training time, hardware resources, etc. The trainings can be online and offline. In the current article we experimented with online trainings on a robot whose main characteristic is the usage of a Cognitive Darwinist Mechanism to survive.

The robot learns in real-time. It has deep artificial neural networks to predict actions, it's trained using the least amount of storage and the training time has to be as fast as possible; keeping high confidence in the artificial neural network.

The experimental trainings are: Online Deep Learning, Online Deep Learning with memory and Online Mini-Batch Deep Learning with memory.

Introducción

La robótica cognitiva [1] es un campo que estudia la creación de arquitecturas para robots, permitiéndoles aprender progresivamente mientras interactúan con el mundo real con dispositivos como cámaras, micrófonos, parlantes, etc.

La idea principal de este artículo es exponer un mecanismo de Machine Learning capaz de aprender modelos matemáticos, prediciendo futuras acciones relacionadas a distintas entradas (de información) basadas en acciones previamente realizadas. Las redes neuronales artificiales pueden modelar problemas de clasificación, regresión, entre otros; sin embargo, en este artículo nos enfocamos en el segundo [2].

Mientras el robot está interactuando con el ambiente, se obtiene nueva información por aprender, entonces se puede decir que no se dispone de un dataset completo para entrenar el modelo (al inicio), este es entrenado con un solo dato a la vez. Esto significa que los métodos de entrenamiento comunes como batch [3] no se pueden utilizar para resolver este problema; no obstante, Online Learning [9] es el apropiado porque con optimizadores estocásticos somos capaces de aprender el modelo descrito anteriormente.

Es importante escoger un método de entrenamiento para la red neuronal artificial, pero también es muy importante tener una arquitectura robusta para hacer el aprendizaje más sencillo y efectivo. Deep Learning [4] puede hacer modelos más complejos, aprender distintas dimensiones de datos y además mejorar la confianza de la red.

Robótica cognitiva

La robótica cognitiva [1], se centra en la creación de arquitecturas de desarrollo para robots que les permita realizar un aprendizaje autónomo progresivo a partir de su propia interacción con el mundo real. Esta aproximación contrasta con la robótica clásica en la que se pre-programa el robot con respuestas específicas a tareas predefinidas.

Descripción del problema

El robot Baxter [7] es un modelo de mundo [6] que aprende en tiempo real a predecir acciones que en un futuro le pueden generar una pérdida o una ganancia. Llámese pérdida a las acciones que anteriormente se ejecutaron y produjeron ganancia, pero se volvieron a ejecutar en un contexto similar y no se obtuvo recompensa; por ejemplo: hay un objetivo el cual es ingresar una pelota en una caja. El robot tiene la bola en la mano y la caja al frente entonces la acción que realiza es meter la bola en la caja, esto le produce una ganancia. En algún otro momento el objetivo cambia y ahora es agarrar la caja. Supongamos que el robot se encuentra con la bola en la mano y la caja al frente (ambiente similar al anterior), el robot decide meter la bola en la caja y termina sus acciones. Esto no produce ninguna recompensa pues el objetivo cambió, así que se añade una pérdida a los datos pues para ese ambiente, el objetivo es distinto y las acciones también. Las acciones que se pueden ejecutar por el robot son las siguientes:

- Agarrar objeto
- Pedir favor (Ejemplo: Pedir que acerquen una caja, a través de parlantes)
- Cambiar objeto de mano
- Poner objeto en una caja
- Arrastrar objeto
- Agarrar con ambas manos
- Tirar objeto

El objetivo de los experimentos es poder aprender basándose en los resultados que le produjeron las acciones que ha ejecutado anteriormente. Es decir, saber que si su objetivo era agarrar la bola y lo que hizo fue golpearla, aprender que esa acción para este objetivo, no le puede traer ningún beneficio entonces tiene una probabilidad baja de ejecución, mientras que agarrar la bola tiene una probabilidad alta pues anteriormente le dio un buen resultado. Cada acción que se quiere predecir va a depender completamente del contexto actual en el que se encuentre el robot. Porque el ambiente es muy poco probable que sea idéntico a los anteriores,

es por esto que las predicciones son probabilidades ($[0, 1]$ probabilidad de ejecutar o no una acción). La idea es que por cada acción (llámese acción a ejecuciones desde un movimiento que pueda hacer el robot como mover una mano, hasta moverse a un lado y agarrar un objeto) haya un mecanismo de aprendizaje automático que pueda decidir qué tan probable es que sea buena para lograr un objetivo. Podemos decir que un objetivo puede componerse de una o más acciones, es por esto que las acciones futuras dependen de las anteriores, y se debe de aprender de estas, es decir: olvidar lo menos posible. La adopción del robot al ambiente se realiza utilizando una arquitectura MDB [6]. Dentro de la memoria de largo plazo existen modelos de aprendizaje automático cuya función es predecir si ejecutar o no cierta acción (como mover alguna parte, o puede ser incluso un grupo de acciones); estos son llamados pnodes. Los pnodes reciben información del contexto actual (ambiente en el que se encuentra el robot mediante sensores como cámaras, micrófonos...) y predicen la probabilidad de que la acción que les corresponde sea buena o mala para el objetivo propuesto. Ejemplo: Para agarrar una bola que se encuentra al lado derecho del robot, es necesario activar los pnodes que tienen como objetivo predecir si: mover el hombro derecho, mover la mano derecha, agarrar un objeto; van a generar alguna recompensa. Para poder realizar este trabajo, cada pnode recibe la siguiente información:

- `ball_in_right_hand`: Booleano que indica si el robot tiene la bola agarrada con la mano derecha, en metros.
- `ball_dist`: Distancia que hay entre el robot y la bola, en metros.
- `box_size`: Tamaño de la caja, en metros.
- `ball_in_left_hand`: Booleano que indica si el robot tiene la bola agarrada con la mano izquierda.
- `box_ang`: Ángulo del robot a la caja, en radianes entre $[-\pi, \pi]$.
- `ball_ang`: Ángulo del robot a la bola, en radianes entre $[-\pi, \pi]$.
- `box_dist`: Distancia que hay entre el robot y la caja, en metros.
- `ball_size`: Tamaño de la bola, en metros.

Como se puede observar, los objetivos del robot para estos pnodes serían meter la bola en una caja, mover una caja, agarrar una bola, etc. Se trabajó con 21 pnodes que cada uno predice la ejecución de una acción de las mencionadas anteriormente.

Metodología

Es importante saber que el aprendizaje del robot es en tiempo real, los datos ingresan 1 por 1 de manera secuencial al modelo de aprendizaje automático, y se necesita algún mecanismo que ayude a aprender el modelo matemático del problema. Para poder retornar buenas acciones, lo que se hace es: hacer una predicción, y posteriormente recibir una respuesta indicando si la acción realizada estuvo buena o mala (Este feedback de la acción lo indica un sensor que tiene el robot, del cual desconozco su funcionamiento). De esta manera, entrenar el modelo de predicciones (cada pnode que participó en la acción) para ajustarlo y aprender de la acción realizada. El tiempo que le toma al robot realizar una acción puede ser bastante largo (1 min, por ejemplo), por ello lo que se hizo fue simular la ejecución de acciones por parte del robot con un programa de simulación, y almacenar los datos obtenidos para poder entrenar un modelo de aprendizaje automático. De esta manera se obtuvo un dataset por cada pnode para poder entrenar y probar los modelos. (Cada dataset con datos entre 250 y 1000 registros aproximadamente).

Para lograr el aprendizaje del robot se utilizaba un algoritmo evolutivo llamado Neat [11] como el modelo de aprendizaje automático (para cada pnode). El algoritmo lo que hace es buscar una topología de red neuronal óptima para la predicción de los datos. El objetivo era encontrar un método de Deep Learning [4] que mejore el resultado de las predicciones, olvide muy poco para no perder información y que cada vez que entrene le tome poco tiempo; pues es un trabajo que realiza en tiempo real (como se mencionó anteriormente).

Solución implementada

Existen dos tipos de entrenamiento para redes neuronales: online [10] y offline. La diferencia entre estos dos radica principalmente en la manera en que la red neuronal artificial es actualizada y la forma como ingresan los datos de entrenamiento. Los datos en un entrenamiento online^[9] normalmente se obtienen 1 a 1 de manera secuencial, es decir no se tiene el dataset completo pues al principio no se dispone de datos para su entrenamiento. Es por esto que se entrena un dato a la vez, y se ejecuta el algoritmo de optimización con cada dato (Stochastic Gradient Descent [2], Adam [8], Adagrad [5], etc), además el learning rate [12] es bajo (~ 0.001 , depende mucho del problema) pues la red prácticamente nunca deja de entrenarse (en problemas de tiempo real, como el que se está tratando). Para el entrenamiento de estas redes se utilizan optimizadores estocásticos, es decir, ejecutan el algoritmo de optimización cada vez que se recibe un nuevo dato. La idea es que la red aprenda de los nuevos sin olvidar los anteriores. Por otro lado, el entrenamiento offline (los típicos con batch [3] y mini-batch [3]) realizan un entrenamiento con el dataset completo, y una vez la red converge podría estar lista para ser utilizada.

Está claro que el tipo de entrenamiento que necesitamos es online, porque la red es alimentada con los datos que le brinde el robot cada vez que ejecute una acción y esta tenga un resultado ya sea positivo o negativo. Como la idea es que el robot nunca deje de aprender, se podría decir que se dispone de un dataset infinito, aunque al principio es nulo (las decisiones que tome al comenzar su ciclo de vida no serán óptimas, podría decirse que serán aleatorias).

Para solucionar el problema se decidió utilizar 3 tipos de entrenamiento online [9] debido a que se al ser de tiempo real es lo que se recomienda por la comunidad científica. Los 3 entrenamientos están basados en Online Deep Learning [10]:

- Online Deep Learning [10].
- Online Deep Learning [10] con memoria.
- Online Mini-Batch Deep Learning con memoria.

Arquitectura de la red neuronal artificial

Para lograr un resultado satisfactorio es necesario construir una red neuronal artificial capaz de aprender un modelo matemático que sea similar al del problema tratado. Se experimentó con distintos tamaños de red (entre 2 y 5 capas escondidas) con diferentes números de neuronas en cada capa. Las capas de entrada y salida tenían 8 y 1 neuronas respectivamente.

Las funciones de activación de las capas intermedias fueron RELU (Rectilinear Unit), mientras que la de output fue Sigmoid pues el resultado debía de ser una probabilidad (comprendida entre [0, 1]).

De los dataset, se utilizó aproximadamente el 70% de los registros como conjunto de entrenamiento y el 30% como conjunto de prueba.

Por otra parte, para comparar las topologías de red, se realizaron entrenamientos de tipo Mini-Batch [3] con el dataset completo, (cada mini-batch tenía 5 registros) fueron entrenamientos asistidos donde se terminaba cuando la red alcanzaba la convergencia.

El learning rate [12] utilizado varió entre 0.1, 0.01 y 0.001; con el objetivo de tener distintas referencias y ver el cambio tanto en tiempo de entrenamiento como en aprendizaje.

La calidad de la red se midió basándose en el error final del conjunto de test, cuanto menor fuera éste mejor era la red. Este error era calculado con el Error Cuadrático Medio, cuya fórmula es:

$$\sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - x_i)}$$

Para la actualización de los pesos de la red se utilizó el optimizador ADAM [8].

El cuadro 1 muestra los resultados de las 5 mejores topologías de red obtenidas (todas ellas con un learning rate [12] de 0.01).

Cuadro 1. Resultados de las 5 mejores topologías de red obtenidas.

| Número de neuronas en capas escondidas | Iteraciones hasta alcanzar convergencia | Raíz del error cuadrático medio del conjunto de prueba | STDDEV promedio del conjunto de prueba |
|--|---|--|--|
| 128, 64, 64, 32 | 2096 | 0.003658 | 0.055114 |
| 16, 16, 16, 8 | 3038 | 0.004749 | 0.057674 |
| 128, 64 | 3320 | 0.005097 | 0.056115 |
| 128, 64, 64, 32, 16 | 1547 | 0.005486 | 0.061715 |
| 32, 32, 16 | 2113 | 0.005517 | 0.067645 |

La red escogida para realizar los entrenamientos online fue la que tiene 4 capas escondidas con 128, 64, 64 y 32 neuronas respectivamente, con funciones de activación RELU en cada capa intermedia y Sigmoid en la capa de salida.

Entrenamientos

Online Deep Learning

Cada vez que la red recibe un nuevo registro para entrenar, ésta lo realiza y luego del cálculo del error y actualización de sus pesos el registro es desechado. Este entrenamiento tiene la ventaja de que no gasta memoria almacenando un dataset. Sin embargo, el aprendizaje es muy costoso. Es muy sencillo caer en overfitting o underfitting si el learning rate [12] no es el adecuado. Por otro lado, es un entrenamiento que requiere bastante uso de los recursos de hardware pues ejecuta el algoritmo de optimización con cada nuevo registro.



Código ilustrativo:

```
while new_data:
    input, label = split(new_data)
    for step in range(train_steps):
        prediction = model.predict(input)
        cost = cost_function(prediction, label)
        model.update(cost)
```

Online Deep Learning con memoria

La idea de este algoritmo es mantener una memoria donde se almacenan N registros ingresados previamente. Cada vez que la red entrena con un dato, este es almacenado en la memoria. Si ésta se llena, se procede a eliminar un registro para ingresar el nuevo. Los métodos de selección del registro a eliminar pueden ser variados, desde un algoritmo tipo cola hasta selección por menor cantidad de vistas, etc.

Cada vez que ingresa un nuevo dato se entrena de manera online con la memoria completa. Ejecutando N iteraciones.

Código ilustrativo:

```
mem = Queue(SIZE)
While new_data:
    mem.enqueue(new_data)
    for step in range(train_steps):
        for inputs, labels in mem:
            predictions = model.predict(input)
            cost = cost_function(prediction, labels)
            model.update(cost)
```

Online Mini-Batch Deep Learning con memoria

A diferencia con los entrenamientos online comunes, éste actualiza los pesos de la red cada N registros procesados. El entrenamiento online [9] normal (como el mencionado anteriormente) ejecuta el algoritmo de optimización cada vez que recibe un registro, mientras que con Mini-Batch [3] ejecuta el algoritmo de optimización cada N registros. Se calcula el error medio de los N registros procesados y con ese dato se actualizan los pesos. La idea es dividir la memoria en M batches, cada batch de tamaño N.

Código ilustrativo:

```
mem = Queue(SIZE)

While new_data:
    mem.enqueue(new_data)

    mini_batches = mini_batch_queue(mem, mini_batch_size)

    for step in range(train_steps):
        for inputs, labels in mini_batches:
            predictions = model.predict(input)
            cost = cost_function(prediction, labels)
            model.update(cost)
```

Resultados

Para los entrenamientos se utilizó un dataset que tenía 665 datos, 500 se designaron a entrenamiento y los otros 165 para validación.

Los tres entrenamientos fueron ejecutados variando learning rate [12] (0.1, 0.01, 0.001), número de iteraciones y tamaño de memoria (los que la tienen). A continuación, se muestra el mejor resultado de cada uno.

En las gráficas de dispersión, los puntos naranjas son el objetivo y los puntos azules son los que la red neuronal predijo.

Online Deep Learning

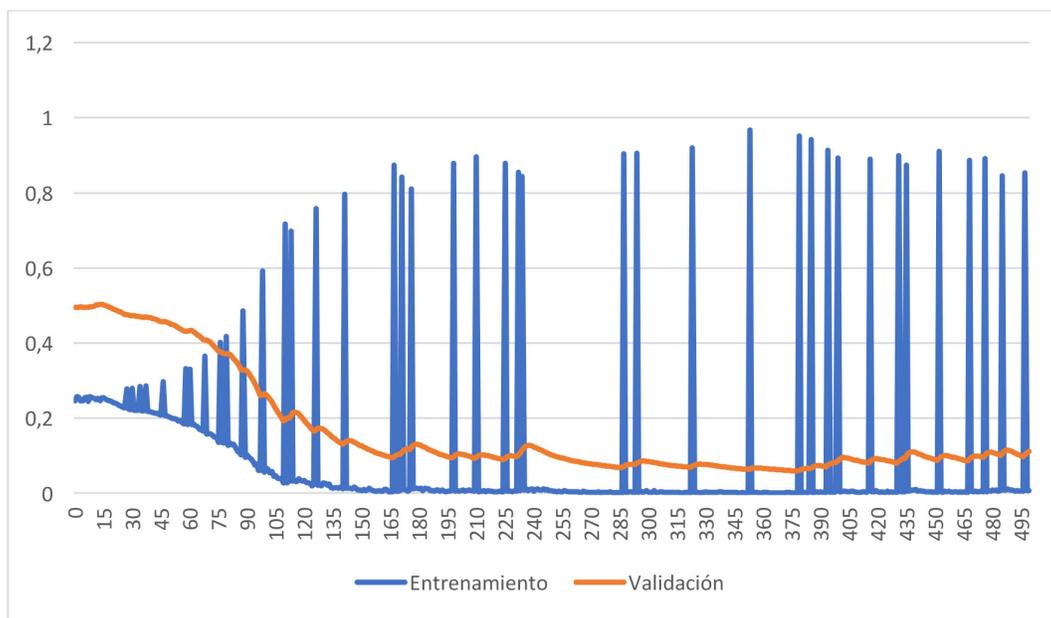


Figura 1. Gráfico lineal. En el eje X se muestra el número de iteración del entrenamiento Online Deep Learning [10], en el eje Y se muestra el error cuadrático medio sobre el conjunto de datos.

Por cada iteración se realizaron 5 pasos de entrenamiento con el mismo registro. Como se puede observar la gráfica de entrenamiento no llega a converger de la manera esperada. Hay muchos puntos donde el error de entrenamiento aumenta de manera exagerada, se puede observar que la red no aprendió el modelo. Incluso en la gráfica de validación nunca se estabiliza el error.

Las predicciones finales de este entrenamiento se observan en la siguiente gráfica de dispersión.

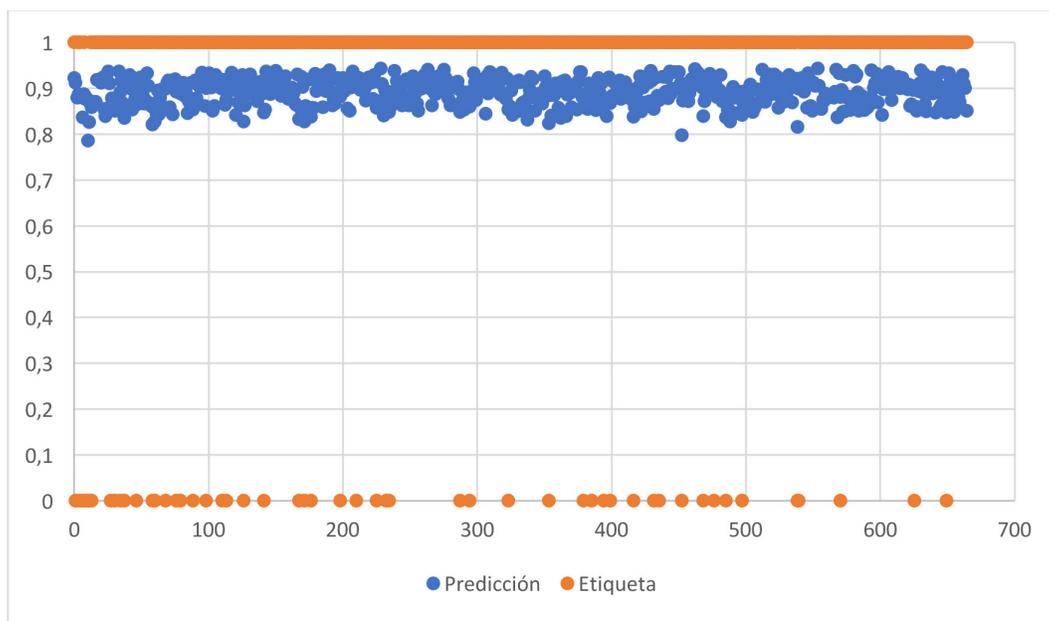


Figura 2. Gráfico de dispersión. Los puntos anaranjados son las etiquetas mientras que los puntos azules son las predicciones de la red neuronal.

Las predicciones finales de prueba, como se muestran en la figura 2, muestran que no se logró aprender el modelo, por lo tanto, la red no es confiable.

Online Deep Learning con memoria

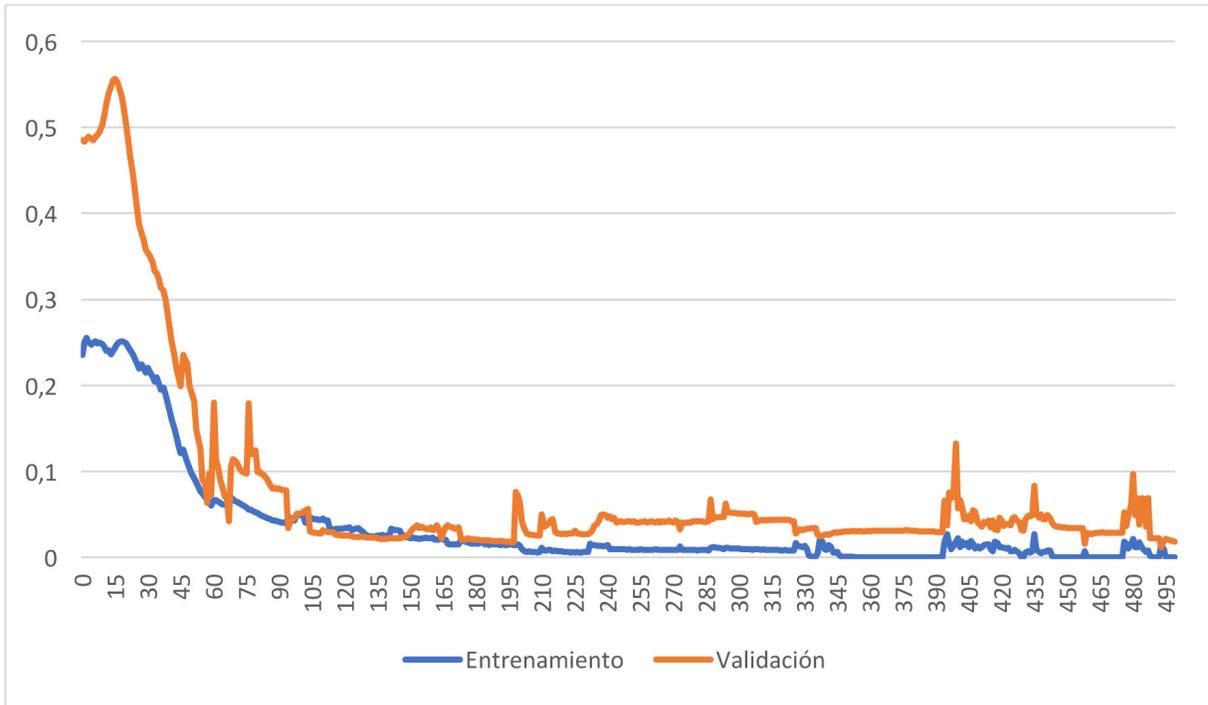


Figura 3. Gráfico lineal. En el eje X se muestra el número de iteración del entrenamiento Online Deep Learning [10] con memoria, en el eje Y se muestra el error cuadrático medio sobre el conjunto de datos.

Para este entrenamiento se utilizó una memoria tipo cola de tamaño 100. Además, el número de pasos de entrenamiento fueron 25.

El error de entrenamiento tiene menos varianza que el de la figura 1. Además, hay menos oscilaciones cada vez que recibe un nuevo registro.

Las predicciones finales de este entrenamiento se observan en la siguiente gráfica de dispersión.

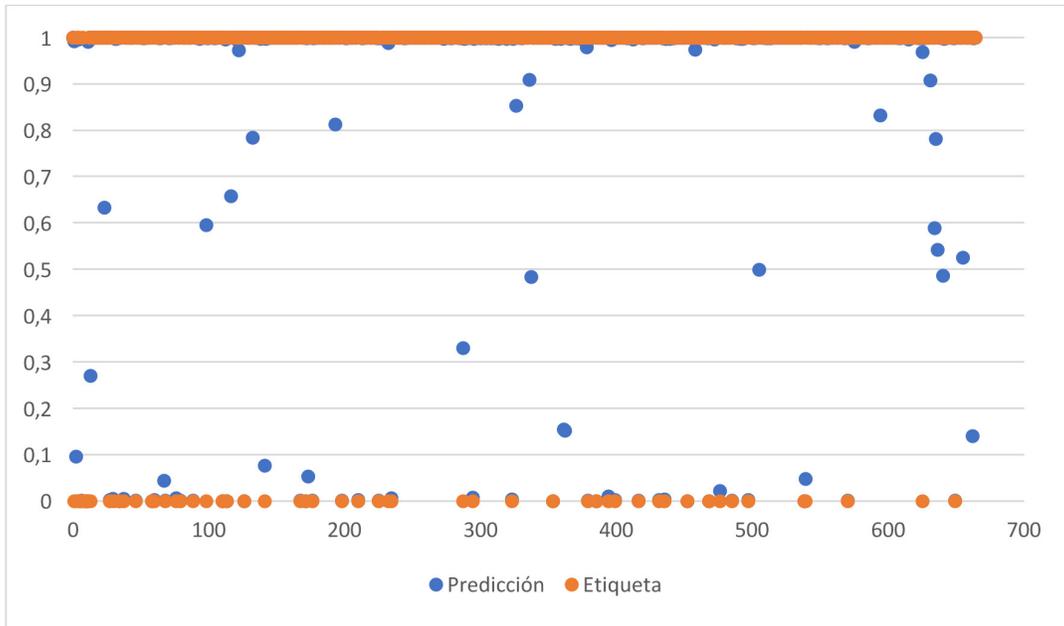


Figura 4. Gráfico de dispersión. Los puntos anaranjados son las etiquetas mientras que los puntos azules son las predicciones de la red neuronal.

En la figura 4 el aprendizaje de la red fue mejor, se nota en las predicciones que hay una mayor confianza porque son más cercanas a sus respectivas etiquetas.

Online Mini-Batch Deep Learning con memoria

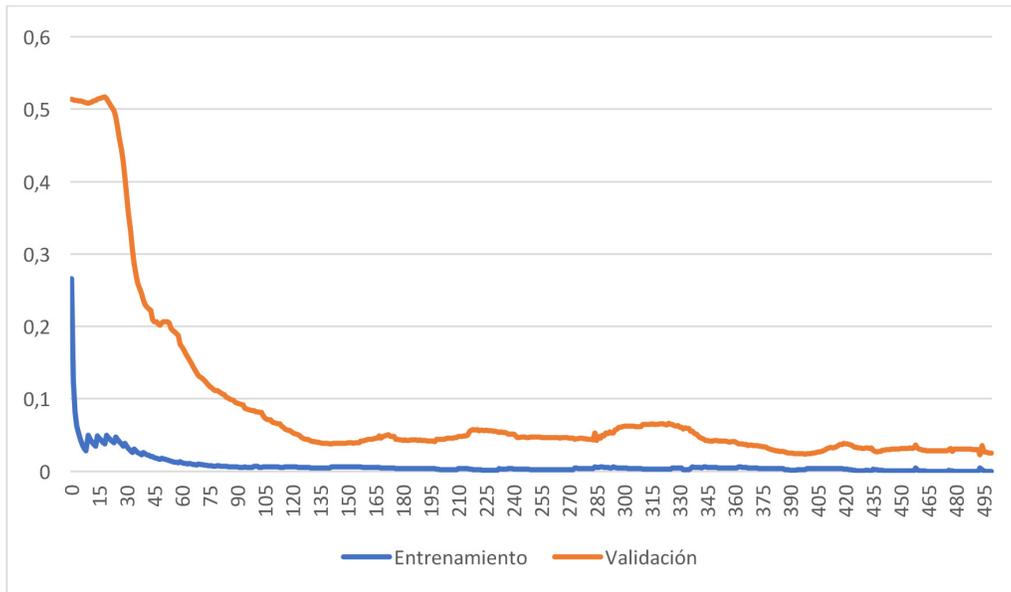
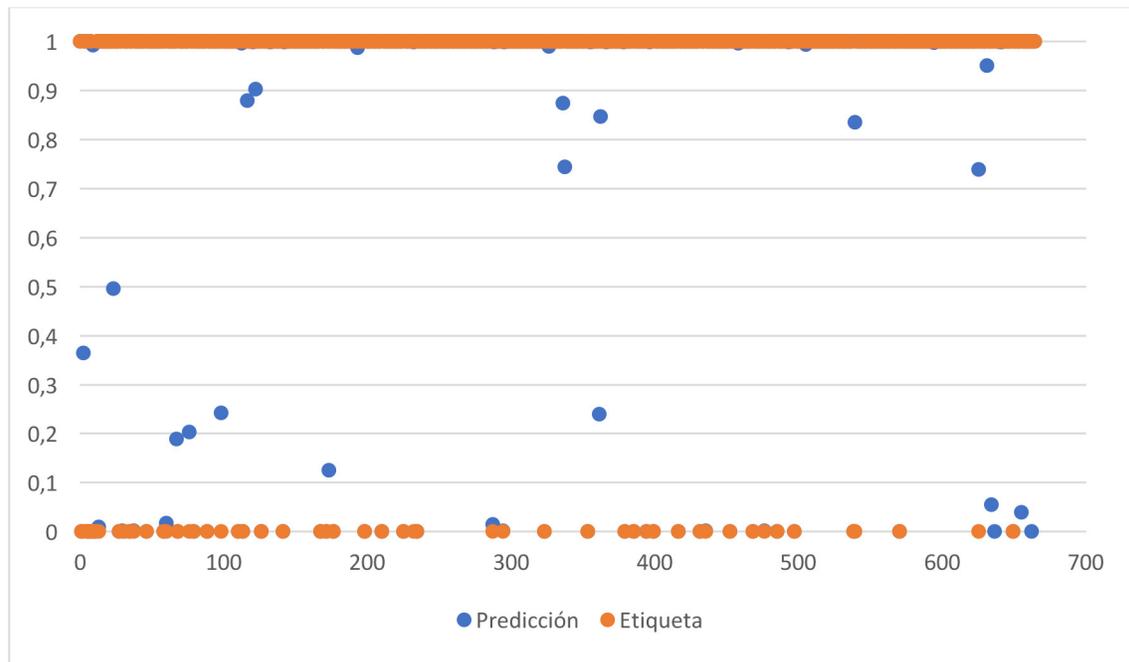


Figura 5. Gráfico lineal. En el eje X se muestra el número de iteración del entrenamiento Online Mini-Batch Deep Learning con memoria, en el eje Y se muestra el error cuadrático medio sobre el conjunto de datos.

Este entrenamiento fue el mejor de los tres porque ambas gráficas presentan menos latencia y alcanzan una mejor convergencia.

Las predicciones finales de este entrenamiento se observan en la siguiente gráfica de dispersión (figura 6).



Por otra parte, el método de escoger cuál registro eliminar de la memoria también; por ejemplo, utilizando algoritmos que eliminen registros similares, algoritmos que traten mantener en la memoria la mayor dispersión de datos posible, algoritmos que mantienen los registros más vistos, entre otros.

El objetivo del artículo fue exponer el nuevo método de entrenamiento experimentado (Online Mini-Batch Deep Learning con memoria) y los resultados fueron satisfactorios pues mejoró el aprendizaje en comparación con los otros dos métodos, mejorando la convergencia de la red tanto en entrenamiento como en validación.

Referencias

- [1] Arrabales, R. (2007). *Robótica Cognitiva* (1era edición) [Online]. Disponible: <http://www.conscious-robots.com/es/2007/08/21/robotica-cognitiva/>
- [2] Bottou, U. (2010). *Large-Scale Machine Learning with Stochastic Gradient Descent* (1era edición) [Online]. Disponible: <https://leon.bottou.org/publications/pdf/compstat-2010.pdf>
- [3] Brownlee, J. (2017). *A Gentle Introduction to Mini-Batch Gradient Descent and How to Configure Batch Size* (1era edición) [Online]. Disponible: <https://machinelearningmastery.com/gentle-introduction-mini-batch-gradient-descent-configure-batch-size/>
- [4] Crawford, C. (2016). *An introduction to deep learning* (1era edición) [Online]. Disponible: <https://blog.algorithmia.com/introduction-to-deep-learning/>
- [5] Duchi, S., Hazan, E. y Singer, Y. (2011). *Adaptive Subgradient Method for Online Learning and Stochastic Optimization* (1era edición) [Online]. Disponible: <http://www.jmlr.org/papers/volume12/duchi11a/duchi11a.pdf>
- [6] F. Bellas, "MDB mecanismo cognitivo darwinista para agentes autónomos", *Disertación doctoral*, departamento de computación, Universidade da Coruña, A Coruña, España, 2003.
- [7] Guizzo, B. y Ackerman, E. (2018, setiembre 18). *How Rethink Robotics Built its New Baxter Robot Worker* (1era edición) [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/robotics/industrial-robots/rethink-robotics-baxter-robot-factory-worker>
- [8] Kingma, D., y Lei J. (2015). *ADAM: A method for stochastic optimization* (1era edición) [Online]. Disponible: <https://arxiv.org/pdf/1412.6980.pdf>
- [9] Poggio, T., Voinea, S., y Rosasco, L. (2018). *Online learning, stability and stochastic gradient descent* (1era edición) [Online]. Disponible: <https://arxiv.org/pdf/1105.4701.pdf>
- [10] Sahoo, D., Pham, Q., Lu J., y C.H S. (2017). *Online Deep Learning: Learning Deep Neural Networks on the Fly* (1era edición) [Online]. Disponible: <https://arxiv.org/pdf/1711.03705.pdf>
- [11] Stanley, K. y Miikkulainen, R. (2002). *Evolving Neural Networks Through Augmenting Topologies* (1era edición) [Online]. Disponible: <http://nn.cs.utexas.edu/downloads/papers/stanley.ec02.pdf>
- [12] Zulkifli, H. (2018). *Understanding Learning Rates and How It Improves Performance in Deep Learning* (1era edición) [Online]. Disponible: <https://towardsdatascience.com/understanding-learning-rates-and-how-it-improves-performance-in-deep-learning-d0d4059c1c10>

Diseño de paisaje para el bienestar humano:pautas de diseño

Landscape Design for Human Wellness, Design Guidelines

Estephania Largaespada¹

Largaespada, E. Diseño de paisaje para el bienestar humano: pautas de diseño. Tecnología en marcha. Edición especial Movilidad Estudiantil 7. Abril, 2020. Pág.105-115.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i6.5172>



¹ Estudiante de diseño Industrial. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

Palabras Clave

Arquitectura; Paisaje; Salud; Bienestar.

Resumen

Un proyecto arquitectónico que es fuertemente concebido como un diseño integral, relacionando aspectos del entorno cultural, sistemas político - económicos y el desarrollo urbanístico, no puede dejar de lado el diseño paisajístico.

A través de este artículo, se busca evidenciar la importancia del entorno natural en la vida del ser humano. Además brindar una nueva perspectiva hacia el paisajismo como un recurso promotor de la salud y el bienestar físico, mental y social.

Se plantea el aprovechamiento los recursos naturales como medio para fomentar el bienestar de la población costarricense como una iniciativa a seguir. Se establecen una serie de pautas y directrices con el fin generar una guía para ser aplicada en proyectos arquitectónicos y poner en evidencia el potencial que tiene el paisajismo como recurso promotor de la salud pública.

Keywords

Architecture; Landscape; Health; Human wellness.

Abstract

An architectural project is conceived as a highly integral design, by relating aspects of the cultural, political - economic systems and urban development, it cannot ignore the landscape design.

Through this article, we seek to highlight the importance of the natural environment in human life. In addition to provide a new perspective towards the landscape as a health resource promoter of physical, mental and social well-being.

The use of natural resources arises as a means to promote the welfare of the Costa Rican population as an initiative to follow. A series of guidelines are established to generate a guide to be applied in architectural projects and bring out the potential of the landscape as a promoter of the public health.

Introducción

Existen una serie de factores que afectan la salud de la población. Máximo Valsercchi [1], expone que estos factores son: el estilo de vida, los factores socioeconómicos, ambientales y genéticos. (Ver figura 1)

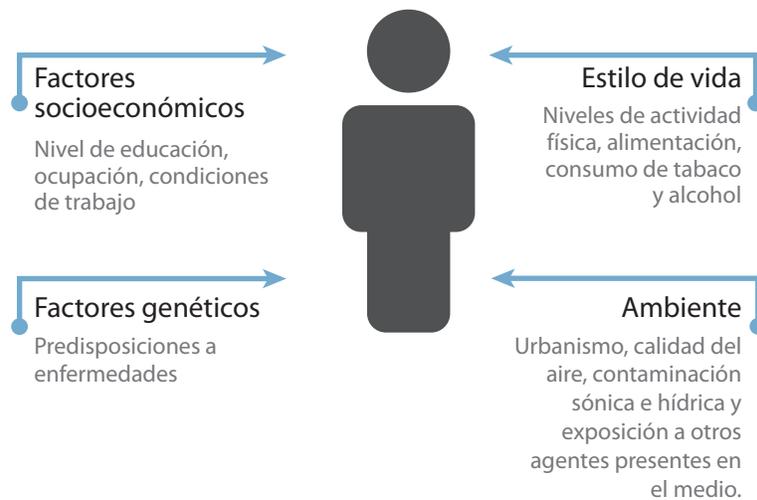


Figura 1. Factores que afectan la salud de la población.

Mediante intervenciones en el paisaje se puede generar un impacto en estos factores. Específicamente en los ambientales, mediante la creación de zonas verdes en áreas urbanas, que además brinden un espacio apto para el desarrollo de actividades físicas y recreativas. La participación de forma activa de la población costarricense en estas actividades puede llegar a formar parte de su estilo de vida, fomentando el ejercicio y la interacción social.

Por lo tanto, es de suma importancia estudiar el papel de las intervenciones urbanas y paisajísticas en la promoción de la calidad de vida, así como brindar consideraciones para el diseño de estos espacios.

Metodología

Con el objetivo de determinar las condiciones del paisaje que intervienen en la salud del ser humano se opta por la obtención de datos secundarios, mediante la participación en el curso de formación permanente "Therapeutic Landscape Design" impartido en el Politécnico de Milán. Una vez determinados estos factores se plantean pautas y consideraciones, las cuales se implementan en una propuesta de diseño, con el fin de evidenciar el potencial que tiene el paisaje para promover la salud pública en la población costarricense.

Esta investigación es de enfoque cualitativo, se dirige a la obtención de información con respecto a recomendaciones de diseño y el impacto de intervenciones paisajísticas en la salud. Es de tipo descriptivo por lo que busca especificar propiedades, características y pautas de diseño. Con respecto al diseño de la investigación es no experimental, ya que sus características son la ubicación de variables a nivel arquitectónico y la recolección de datos en un único momento, siendo este octubre del año 2015.

Salud

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y el Centro Centroamericano de Población (CCP), las enfermedades del sistema circulatorio son la principal causa de muerte en Costa Rica desde el año 1970. Y sumado a esto, se han identificado los principales factores de riesgo cardiovascular los cuales son: "...diabetes mellitus, hipertensión arterial, obesidad, sedentarismo, el fumado y el elevado consumo de grasa saturada."

A partir de estos datos surge la inquietud de cómo colaborar a solventar las necesidades de la población en materia de salud pública.

Estudios han demostrado que para el tratamiento de enfermedades cardiovasculares se puede recurrir al ejercicio físico y a una dieta balanceada, de esta manera se ayuda a reducir la presión arterial, de manera tal que se ven beneficios en el tratamiento de la hipertensión y en otros casos ayuda a prevenir su aparición. Teniendo en cuenta esta afirmación, llama la atención que en Costa Rica entre la población hipertensa un 32.1% sufre sobrepeso y un 45.9% enfrenta condiciones de obesidad. (Figura 2)

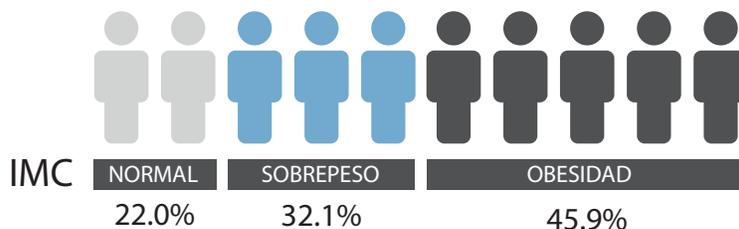


Figura 2. Estadísticas índice de masa corporal de la población hipertensa en Costa Rica (2010). Fuente: [2]

Un estudio realizado, a 1803 personas entre 18 y 59 años en Australia por Billie Giles y Robert Donovan [3], muestra los factores que influyen en los individuos para realizar actividades físicas. Los resultados son que la distancia, el costo, la seguridad, el transporte y el agrado por las instalaciones, son las principales razones por las cuales las personas deciden realizar ejercicio físico.

Tomando en cuenta lo anterior, si se logran incorporar espacios que fomenten la actividad física en los proyectos arquitectónicos a nivel nacional, se puede contribuir a mejorar la salud de los costarricenses, siempre y cuando estos permanezcan abiertos al público, a una distancia caminable, en un ambiente seguro y que sean del agrado de los usuarios. Estos espacios pueden llegar a ser tanto parques, jardines, plazas o recorridos a lo largo de la ciudad y en los sitios de trabajo.

La inserción de estos espacios en el entorno urbano no solamente brinda beneficios para la promoción de la salud y la prevención de enfermedades, sino también ayudan al tratamiento y la recuperación de las mismas.

El profesor Roger Ulrich de la Universidad de Texas, en 1984 inicia la investigación centrada en el vínculo entre las enfermedades y la naturaleza. Como resultado de su estudio, descubrió que tomando dos grupos de pacientes lo más homogéneos en cuanto a edad, patología y peso corporal, el grupo que goza de una vista a zonas verdes se recupera mucho más rápido, estando menos estresados.

El estudio verifica que:

- Ver o estar en un entorno natural provoca cambios fisiológicos y psicológicos
- El cuerpo y la mente estando en equilibrio, se mantienen en un estado de salud integral
- Observar la naturaleza y entrar en contacto con ella, ayuda a reducir el tiempo de recuperación y en consecuencia se ahorra dinero reduciendo el tiempo de internamiento.

En definitiva existe una fuerte relación entre el entorno natural y el bienestar de la población, por lo que se puede potencializar este recurso en miras a la promoción de la salud. Esta investigación pretende guiar en materia de diseño arquitectónico y paisajístico, para buscar el bienestar de los usuarios en espacios públicos.

Pautas de diseño

Con el fin de generar lugares enfocados en la promoción de la salud, se han establecido una serie de pautas y recomendaciones de diseño. Estas recomendaciones han sido implementadas en una propuesta de diseño que ilustra los puntos expuestos seguidamente.

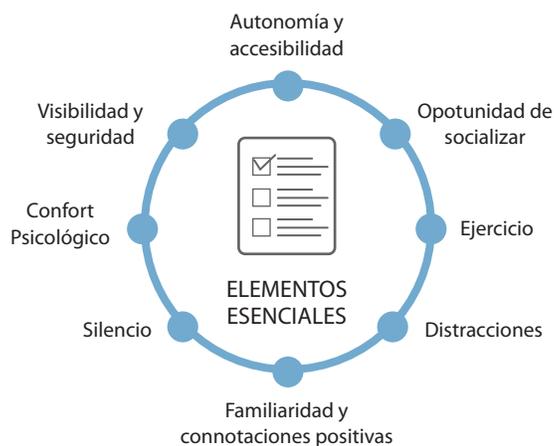


Figura 3. Elementos esenciales de diseño.

En la intervención de los espacios públicos, según lo expuesto por Monica Botta [4], existen una serie de elementos esenciales en el diseño; como se pueden ver en la figura 3. Entre estos elementos destacan los siguientes: la autonomía y accesibilidad, oportunidad de socializar, oportunidad de realizar ejercicio, distracciones, sentido de seguridad y visibilidad, confort psicológico, silencio, familiaridad y un diseño con características positivas.

- **Visibilidad y seguridad:** Para atraer a la población a los espacios públicos se debe hacer énfasis en la seguridad; sin embargo este sentimiento que se busca proporcionar no se limita a seguridad contra el hampa o presencia policial, sino que influye en el diseño de los espacios. Se debe procurar diseñar espacios que mantengan una buena iluminación y visibilidad desde el exterior, de igual manera se recomienda instalar mapas y mantener las diferentes zonas bien señalizadas para que las personas se ubiquen más fácilmente y con tranquilidad puedan explorar los espacios diseñados para su disfrute.
- **Autonomía y accesibilidad:** El modo en que las personas interactúen con el ambiente va a determinar sus deseos de regresar, por este motivo la autonomía es muy importante. Se deben generar espacios en donde la población se sienta segura y pueda realizar actividades de manera independiente. Es necesario diseñar tomando en cuenta la accesibilidad universal. En Costa Rica existe la ley 7600, de igualdad de oportunidades para personas con discapacidad, pero más que garantizar acceso universal se debe promover el bienestar de todos los visitantes; considerando las diferencias de edades y necesidades para niños, adultos, adultos mayores y personas con alguna discapacidad.

En la figura 4 se puede observar la aplicación de estos primeros puntos en una propuesta de diseño. Se plantea una señalética que indica no solo la ubicación en el mapa, sino también los lugares cercanos, distancias para acceder a ellos y recorridos. Con el fin de promover la accesibilidad universal los diferentes caminos mantienen texturas lisas y antideslizantes, asimismo se instalan barandas para facilitar a personas con movilidad reducida recorrer el lugar. Se opta por la incorporación de recorridos lineales que ayuden a la orientación, principalmente en el caso de personas no videntes y se crean recorridos sensoriales en donde la vista no es

el único elemento orientador, sino que se incorporan plantas con aromas fuertes, fuentes de agua y otros elementos estimulan los sentidos. En el caso del mobiliario se busca satisfacer las necesidades de los diferentes segmentos de la población, por lo que tomando en consideración a los adultos mayores las bancas seleccionadas tienen descansa brazos y son de mayor altura para facilitarles la tarea de levantarse.

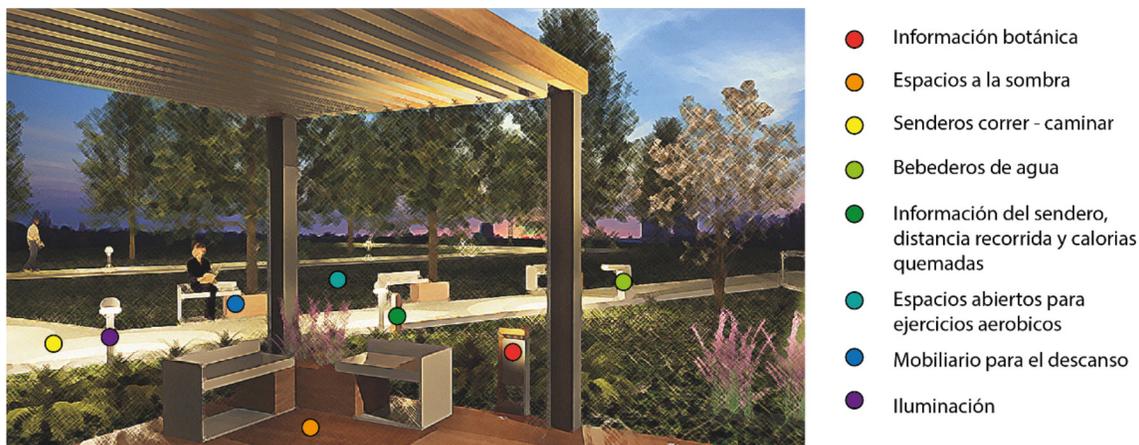


Figura 4. Propuesta Diseño del paisaje para el bienestar.

- **Oportunidad de socializar:** Se deben generar espacios para el descanso y para fomentar la socialización. Esto se puede lograr mediante la disposición del mobiliario urbano y las zonas dedicadas a diferentes actividades. En este aspecto es importante considerar al sol y otras cubiertas a la sombra para garantizar el confort.
- **Ejercicio:** Es importante la creación de diferentes ambientes en donde se incluyan zonas abiertas que brinden la oportunidad de hacer movimientos y ejercicios, así como también recorridos que fomenten la actividad física y mobiliario para el descanso.
- **Distracciones:** La naturaleza puede servir como un elemento distractor y relajante, para su contemplación y la meditación, por sus beneficios para disminuir el estrés. Igualmente se recomienda instalar señalética con información botánica de las especies, de esta manera las personas no sólo pueden disfrutar del espacio sino también adquirir nuevo conocimiento.
- **Familiaridad y connotaciones positivas:** Para el bienestar de la personas se busca crear espacios que les den un sentimiento de tranquilidad y con connotaciones positivas. Si existen elementos que caractericen la identidad de la población estos se deben incluir como hitos ya que generan familiaridad con el entorno.
- **Confort Psicológico:** Se recomienda buscar un confort psicológico mediante una continuidad en materiales y colores del pavimento, sin cambios abruptos y manteniendo las mismas tonalidades.

En la figura 5 se muestra una propuesta de diseño en donde se incorporan recorridos que fomentan el ejercicio, con senderos diseñados para caminar o correr. Se incluyen indicaciones sobre distancia recorrida, tiempo para llegar a otra zona y cantidad de calorías quemadas. Para la comodidad de las personas que utilizan estos espacios para hacer ejercicio, se instalan también bebederos de agua y bancas para el descanso. Además se disponen espacios abiertos para realizar actividades aeróbicas y de baile. Así como se disponen espacios para realizar ejercicio, del mismo modo se incluyen zonas para socializar y descansar. Estas zonas cuentan con espacios abiertos y con zonas a la sombra protegidos con pérgolas del sol y la

lluvia. En los espacios de descanso se instalan fichas con información botánica de las especies, que incluye el nombre común, nombre científico y principales características, para llamar la atención a la vegetación incorporada.



Fuente: Propia

Figura 5. Propuesta Diseño del paisaje para el bienestar.

La selección de la vegetación

Para la selección de las especies de plantas se pueden seguir tres criterios que responden al contexto, características de la vegetación y diseño paisajístico. Estos criterios son los criterios agronómicos, criterios eco-físicos y criterios del paisaje [5].



Figura 6 – Criterios de selección de la vegetación. Fuente: propia.

1. **Criterios agronómicos:** Los criterios agronómicos se refieren a los aspectos que vienen a asegurar la supervivencia de las plantas. Entre estos cabe mencionar el clima y suelo, la temperatura, la humedad, el agua, la luz, el pH, nutrientes y salinidad del suelo, ya que afectan de manera decisiva al crecimiento de la vegetación.
2. **Criterios eco-físicos:** Estos se basan en los requisitos de las especies vegetales, tales como la demanda de luz, requisitos térmicos y de agua, entre otros. En este aspecto es preferible la elección de plantas autóctonas, ya que responden mejor a las necesidades de conservación, caracterización del paisaje local y tienen una mayor capacidad de adaptación a las condiciones ecológicas de la zona.

3. **Criterios del paisaje:** El criterio del paisaje se basa en los elementos estéticos y la composición de las plantas. En este aspecto influye el uso del color, la textura, la forma, densidad, diversidad y la disposición de las especies vegetales en el espacio; sin dejar de lado que los elementos son materia viva, que cambian, crecen, se reproducen y mueren.

El uso del color: Este factor se ve influenciado por los periodos de floración de las plantas, de ahí la importancia de considerar sus cambios durante todo el año; sin embargo es importante recalcar que la elección de los colores no debe considerarse de forma aislada e independiente con los demás elementos y principios del diseño, ni con el objetivo general del proyecto.

El color puede afectar el estado psicológico y la percepción. El uso de colores cálidos produce sensaciones de entusiasmo, mientras que los tonos fríos se asocian a estados de meditación. Para atraer la atención a un área en particular, se recomienda la utilización de colores cálidos, el color rojo es óptimo para acentuar un punto focal. Con respecto a las percepciones del espacio los colores azul y otros frescos hacen un pequeño espacio parezca más grande; por el contrario los colores cálidos, hacen que el espacio parezca más pequeño, ya que dan la sensación de estar más cerca de lo que realmente están.

En el diseño paisajístico se puede optar por utilizar colores cálidos, fríos o bien crear un contraste, mediante el uso de colores complementarios, pero siempre se debe buscar mantener una unidad en la composición.

En la figura 7 se ilustra lo anterior, en un mismo espacio se perciben sensaciones diversas mediante cambios en los colores de la vegetación seleccionada.



Figura 7. Uso del color. Fuente: propia.

Forma y textura: La forma y textura están muy relacionados para la percepción del espacio en su conjunto y en los detalles de cada especie. En este contexto, la textura es la cualidad percibida de la superficie de un objeto. La textura del follaje y las flores pueden ser clasificadas en grueso, medio o fino. Con respecto a la forma, el término hace referencia a la silueta de la planta. En el gráfico a continuación se pueden identificar diferentes formas como lo son: piramidal, columnar, triangular, circular, ascendente y descendente.

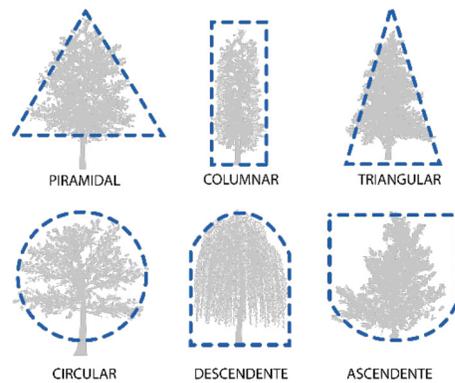


Figura 8. Forma de árboles. Fuente: propia.

La forma y la textura crean un efecto específico en función de la manera en que se ordenan. Mediante la repetición de estos elementos se puede crear una unidad, destacando el espacio intervenido del contexto inmediato, generando su propia identidad.

En la figura 9 se puede observar como este elemento de composición se utiliza para crear un ritmo en el paisaje.

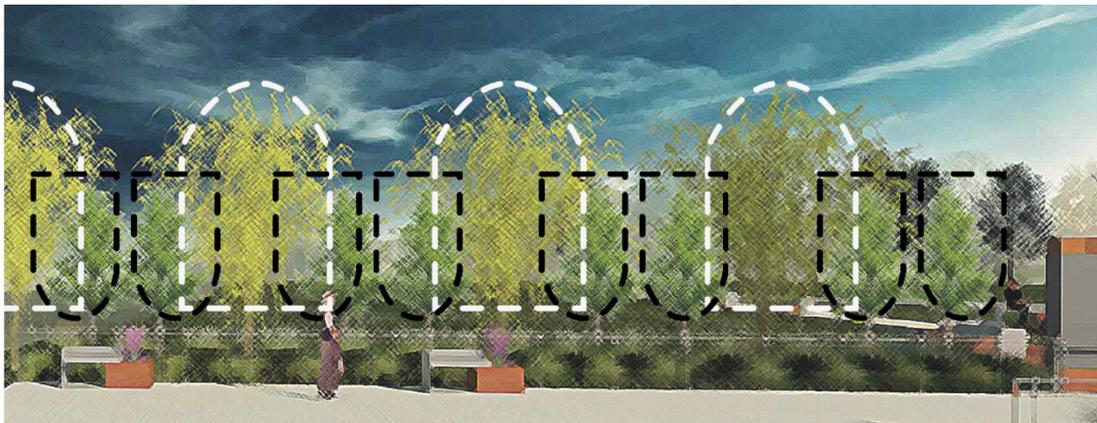


Figura 9. Ritmo por forma y repetición de vegetación. Fuente: propia.

Densidad: Esta característica tiene un efecto inmediato en la sombra proyectada. Se pueden elegir los árboles con follaje denso, o los árboles que muestran la estructura de las ramas y ramas a través del follaje; dependiendo del efecto buscado.

La Uniformidad visual – diversidad de especies: ¿Cómo hacer coincidir el concepto de unidad con las necesidades para aumentar las variedades plantadas en los entornos urbanos y evitar los riesgos asociados con el monocultivo? Los principales criterios de selección son la dimensión de las plantas al alcanzar su madurez y la forma del follaje, mientras que como criterios de selección secundarios se presentan la densidad de ramas y la textura del follaje.

Disposición de los árboles en el espacio: Dentro del diseño, los árboles son fundamentales en la definición de la relación exacta entre las diferentes áreas del proyecto y guían el movimiento a través de este. Entre las opciones se pueden colocar de forma paralela en una trayectoria lineal para conducir directamente al objetivo o bien utilizar una trayectoria

curva. Sin embargo en el segundo caso cada curva tiene que surgir de la topografía de la tierra o la perspectiva escénica, de lo contrario, el camino serpenteante se entenderá como una fuente de trastorno arbitraria.

Los criterios anteriormente expuestos son recomendaciones respecto a la selección de la vegetación y sus posibles disposiciones en el diseño. Estos aspectos describen las principales características a considerar previo a la elección de las especies en un proyecto.

Conclusiones

Es importante considerar el paisajismo dentro de los proyectos arquitectónicos ya que existe una estrecha relación entre el bienestar del ser humano y la naturaleza. Utilizando este recurso se pueden promover espacios de descanso y relajación, así como también áreas para el desarrollo de actividades físicas, favorables para la salud de la población.

En la sociedad costarricense la principal causa de muerte es producto de las enfermedades cardiovasculares, que van en aumento debido a factores de riesgo como la obesidad e hipertensión. Por lo tanto, es necesario incentivar a las personas a realizar actividad física para lograr disminuir estos factores. Mediante intervenciones paisajísticas se puede motivar a la población a adquirir hábitos de vida saludables, como caminar, utilizar las plazas y parques con el fin de brindar calidad de vida.

En los proyectos es indispensable considerar a los usuarios de manera inclusiva, desde niños hasta adultos mayores y personas con discapacidad. Se recomienda fomentar la actividad física desde edades tempranas pero respetando criterios de accesibilidad universal para que la población le pueda dar un uso constante y llegue a formar parte de su estilo de vida, sin importar edad, género o condición física.

Con respecto a los criterios de diseño se debe buscar el bienestar generando espacios que promuevan un confort físico y mental. Para lograrlo se han identificado pautas fundamentales, las cuales se enfocan principalmente en los aspectos funcionales y de actividades a realizar; ya que para que sea exitoso un proyecto de intervención en el paisaje urbano el aspecto primordial a tomar en cuenta es el ser humano y propiciar las condiciones para su bienestar y comodidad.

Es importante tomar en cuenta que el diseño del paisaje trata con elementos vivos, los cuales, son normados por una serie de criterios necesarios para su selección. Estos criterios son tanto estéticos, como eco-físicos y agronómicos, los cuales permiten garantizar el desarrollo integral del proyecto. Los criterios agronómicos y eco-físicos dependen del medio y los requerimientos de la vegetación, pero en el campo de los criterios estéticos el diseñador tiene mayor libertad. Previamente se ha hecho referencia a una serie de criterios del paisaje los cuales responden a características estéticas y de composición, para ilustrar los elementos a considerar en el diseño de espacios al aire libre. Lo anterior con el fin de incentivar el diseño de las áreas externas que por falta de información muchas veces se deja de lado en los proyectos arquitectónicos y puede ser muy beneficioso para mejorar la vida de la población.

En resumen, el diseño del paisaje posee un enorme potencial como recurso promotor de la salud pública, por lo que incorporarlo en proyectos arquitectónicos es una oportunidad para ayudar al mejoramiento del entorno urbano y fomentar buenos hábitos. Por este motivo se ha ampliado no sólo sobre la importancia de este tema, sino también se han incluido pautas para propiciar el desarrollo de proyectos arquitectónicos integrales en donde el diseño del paisaje sea parte de una propuesta integral.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al “Programa de Pasantía Estudiantil con Fondos del Sistema 2015, CONARE-TEC” con el cual se ha cubierto parte fundamental de los gastos de viaje del pasante y a la Rectoría del Instituto Tecnológico que gestiona todo el programa.

Referencias

- [1] Valsecchi, M. (2015). Spazi verdi e salute pubblica, migliorare il benessere nei contesti urbani. *Seconda Edizione Therapeutic Landscape Design* (pp. 2, 10-11). Milan: Politecnico di Milano.
- [2] Ministerio de Salud. (2009). *Encuesta de diabetes, hipertensión y factores de riesgo de enfermedades crónicas*. San José: Ministerio de Salud.
- [3] B. Giles-Corti & R. J. Donovan. “The relative influence of individual, social and physical environment determinants of physical activity”, *Social science & medicine*, vol. 54, no. 12, pp. 1793-1812, 2002.
- [4] M. Botta (2015). La progettazione dei giardini terapeutici. *Seconda Edizione Therapeutic Landscape Design* (pp. 6). Milan: Politecnico di Milano.
- [5] L. Gatti (2015). La vegetazione nella composizione paesaggistica. *Seconda Edizione Therapeutic Landscape Design* (pp. 2-67). Milan: Politecnico di Milano.

Manufactura de andamios para cultivos celulares: automatización de módulos de suministro

Manufacture of scaffolds for cell cultures: automation of supply modules

Jorge Carvajal-Araya¹

Carvajal-Araya, J. Manufactura de andamios para cultivos celulares: automatización de módulos de suministro. Tecnología en marcha. Edición especial Movilidad Estudiantil 7. Abril, 2020. Pág.116-129.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i6.5173>

¹ Estudiante. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.



Palabras clave

Cultivo celular; electrohilado; nanofibras; automatización.

Resumen

Se está desarrollando un sistema de fabricación para andamios de cultivo celular. El sistema requiere crear fibras muy delgadas que están en la escala de nanómetros usando un proceso llamado electrohilado. Este artículo presenta la implementación de los módulos encargados de suministrar energía e inyectar materiales necesarios para crear nanofibras.

Keywords

Cellular culture; electrospinning; nanofibers; automation.

Abstract

A manufacturing system for cellular culture scaffolds is under development. The system requires to create very thin fibers that are in the scale of nanometers using a process called electrospinning. This article presents the implementation of the modules in charge of supplying power and injecting materials required to create nanofibers.

Introducción

El deterioro de tejidos u órganos a causa de una lesión es un problema común en el área de la salud. Tradicionalmente, este tipo de lesiones han sido asistidas con diversos tipos de tratamiento, tales como: trasplantes, intervenciones quirúrgicas, prótesis artificiales, dispositivos mecánicos, entre otros. Sin embargo, tal y como se afirma en [1], en la mayor parte de los casos el daño provocado a un tejido u órgano no puede ser reparado de forma satisfactoria.

Bajo este contexto nace el área de la ingeniería de tejidos, como una posible solución de gran potencial que consiste en la implantación de tejidos naturales, sintéticos o semi-sintéticos que son completamente funcionales y que permiten restaurar o mantener tejidos u órganos que han sufrido de alguna lesión [2]. Una de las aplicaciones más comunes es el tratamiento de quemaduras mediante el uso de piel artificial.

El Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, por medio del Centro de Innovación en Diseño y Tecnología se ha dedicado por varios años al estudio de esta área. Mediante la participación de un equipo interdisciplinario, busca el desarrollo de un sistema de manufactura de andamios híbridos para ingeniería de tejidos. El proyecto descrito en este documento se basa en la integración de los módulos de suministro de poder y de inyección del material utilizado para la confección de los andamios.

Conceptos y definiciones

La ingeniería de tejidos y medicina regenerativa consiste en un área interdisciplinaria que se encarga de la combinación de andamios, células y moléculas biológicamente activas para crear tejidos funcionales que posteriormente pueden ser utilizados para restaurar, mantener o mejorar tejidos dañados u órganos completos [2].

Según [3], el procedimiento tradicional de cultivo celular se desarrolla en un ambiente bidimensional, mediante el uso de contenedores como discos de Petri o frascos de cultivo; permitiendo el estudio del comportamiento celular en un ambiente controlado. Sin embargo, esto constituye un problema debido a que las células desarrolladas en un ambiente de dos dimensiones podrían no reaccionar de la misma manera que aquellas que se encuentran en un ambiente *in vivo*.

Las células que se encuentran en el interior del cuerpo humano no se limitan a un ambiente bidimensional, sino que conforman un complejo diseño en tres dimensiones conocido como matriz extracelular (ECM por sus siglas en inglés), el cual se encarga de permitir procesos como: la adhesión celular, la comunicación entre células y la diferenciación celular [3].

Para realizar procesos de cultivo celular es de gran importancia proveer un ambiente que cuente con características que se asemejen a las del entorno natural en que se desenvuelven las células de forma que estas puedan recibir los estímulos físicos y bioquímicos necesarios para su desarrollo. A estas estructuras artificiales que permiten la formación de tejidos con una estructura tridimensional se les denomina andamios. La aplicación de estos al cultivo celular permite solventar las limitaciones estructurales implicadas al realizar cultivos bidimensionales.

La fabricación de andamios tridimensionales se describe en [3] como el conjunto de tres procesos de manufactura: modelado por deposición fundida (FDM por sus siglas en inglés), electrohilado y fresado. El FDM es un método utilizado por las impresoras 3D en el que se construyen piezas capa por capa al calentar un material termoplástico hasta un estado casi líquido y colocarlo según rutas controladas por un computador [4].

El proceso de electrohilado consiste según [5] en un método simple y versátil para generar fibras ultra finas de una gran variedad de materiales como: polímeros, compuestos y cerámicas. La técnica involucra el uso de voltajes muy altos para generar un chorro del líquido que produce una fibra sólida a medida que la sustancia es estirada por la atracción estática de las cargas superficiales. La sustancia utilizada para este proyecto es preparada a partir de Policaprolactona (PCL) y acetona de grado analítico.

El desarrollo de andamios se realiza mediante deposición de capas de material intercalando las técnicas de modelado por deposición fundida y de electro-hilado. Mediante el FDM se crea una estructura de malla que posteriormente es cubierta con fibras de escala nanométrica utilizando el proceso de electro-hilado. Este proceso se repite hasta obtener la estructura deseada.

Finalmente, el proceso de fresado consiste en el uso de herramientas rotatorias utilizadas para remover material de una pieza. Este permite dar retoques finales a la estructura desarrollada.

En la figura 1 se muestra el CAD del sistema de manufactura que se pretende construir, en esta se muestra la posición de cada uno de los componentes de mayor importancia.

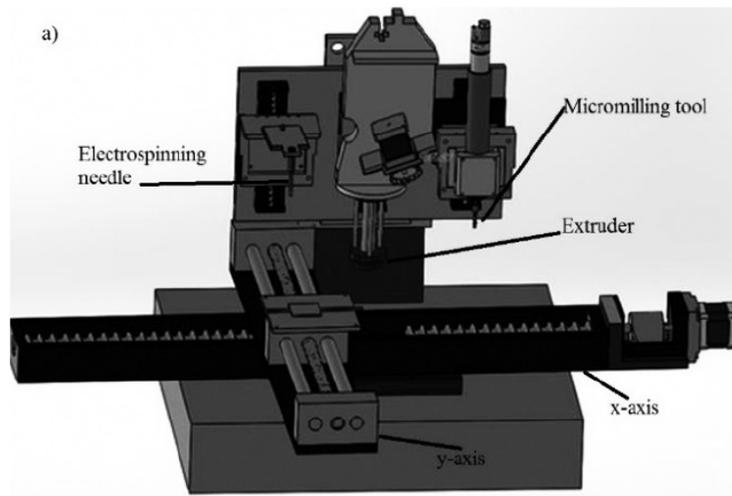


Figura 1. CAD del sistema de manufactura de andamios híbridos para ingeniería de tejidos. Tomada de [3].

Estado del sistema

A inicios del segundo semestre de 2015, era posible obtener las primeras muestras de andamios para cultivo celular, sin embargo el proceso era complicado debido a que los módulos de impresión (figura 2) y de electro-hilado (figura 3) funcionaban de forma independiente, lo cual dificultaba el desarrollo de andamios debido a que se debía llevar la muestra de un sistema al otro.

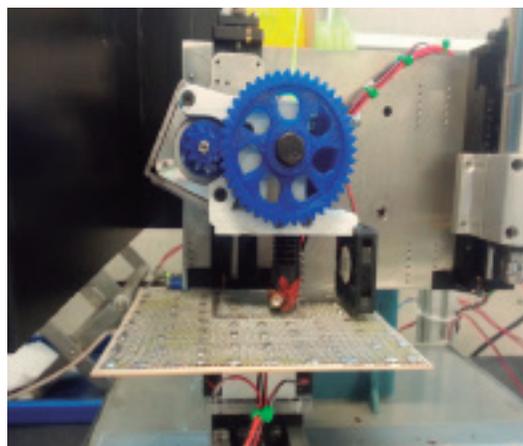


Figura 2. Sistema de impresión

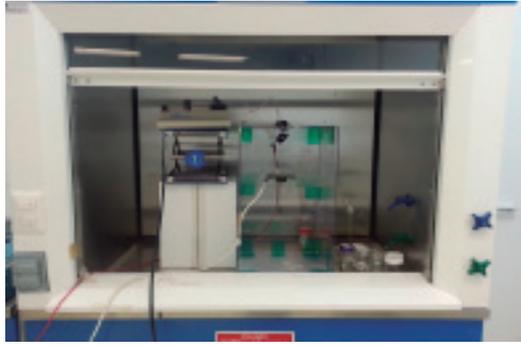


Figura 3. Sistema de electro-hilado

Para lograr que ambos sistemas trabajen de forma conjunta se deben integrar los módulos de la etapa de electro-hilado encargados de la inyección de PCL y de suministro de energía al programa principal del sistema de manufactura. Por esta razón, se pretende desarrollar una interfaz utilizando NI LabView como lenguaje de programación que permitirá controlar los módulos de forma independiente para realizar pruebas de su funcionamiento y posteriormente integrarlos al sistema desarrollado por el Dr. Christian Mendoza y el candidato a doctorado Ing. Hernán Lara.

Herramientas utilizadas

El control del sistema de manufactura se realiza mediante un computador que utiliza Windows como sistema operativo y que ejecuta un programa desarrollado con el lenguaje de programación NI LabView. El lenguaje de programación fue establecido por el Centro de investigación en Diseño y Tecnología (CIDyT) y conforma una limitación impuesta al proyecto. En el caso de los elementos de hardware, se utilizarán los siguientes dispositivos:

- Fuente de poder programable: Stanford Research Systems (SRS) modelo PS375.
- Bomba de desplazamiento positivo: KDScientific modelo KDS-200.

Implementación de la solución

La implementación de la solución está dividida en tres partes: el desarrollo de la interfaz de control de la fuente de poder, el desarrollo de la interfaz que controla la fuente de desplazamiento positivo y finalmente la implementación de los módulos en el sistema de manufactura. Estas etapas serán descritas de acuerdo al orden cronológico en que fueron desarrolladas las tareas correspondientes a cada sección.

Interfaz de control de la fuente de poder

El primer paso para el desarrollo de la interfaz fue obtener los manuales correspondientes al dispositivo, los cuales pueden ser encontrados en el sitio oficial de los desarrolladores del equipo [6]. Con este documento fue posible responder a una de las principales interrogantes, el modo en que la fuente de poder se comunica con el computador. Según el manual, la forma más simple para comunicarse con la fuente es mediante el uso del puerto RS-232, mediante una serie de comandos pre-establecidos que son enviados como cadenas de caracteres.

En el documento se especifican dos tipos de comando: (1) aquellos utilizados para realizar consultas del estado del dispositivo y (2) comandos utilizados para dar órdenes al dispositivo. Para este proyecto, resulta de interés implementar una interfaz de control por lo que se dio un enfoque al segundo tipo de comandos, es decir, el utilizado para dar órdenes.

A continuación se presenta una lista de los comandos implementados, entre paréntesis se muestra la sintaxis de la instrucción, aquellos que cuentan con "{x}", requieren de un valor que sustituye estos caracteres:

- High Voltage On (HVOF): deshabilita el alto voltaje de la fuente.
- High Voltage On (HVON): habilita el alto voltaje de la fuente.
- Recall Configuration Zero (*RCL 0): Establece las configuraciones por defecto.
- Voltage Limit (VLIM{x}): Define el límite de voltaje al que puede operar la fuente.
- Limit Current (ILIM{x}): Define el límite de corriente al que puede operar la fuente.
- Trip Current (ITRP{x}): Define el límite de corriente al que puede operar la fuente y apaga el alto voltaje en caso de superar este valor
- Voltage Set (VSET{x}): Define el valor de tensión de la fuente, pero este valor no será establecido en las terminales del equipo hasta que el alto voltaje sea activado.

Debido a que se trata de un mecanismo de comunicación bastante utilizado, National Instruments provee en su página de web un ejemplo que permite escribir y leer en el puerto serial. El código de dicho ejemplo puede ser encontrado en [7].

Este código está dividido en 4 secciones principales, las cuales se describen mediante notas en el programa mostrado en la figura 6. Primero es necesario realizar la configuración de la comunicación serial mediante la definición de parámetros como el "baud rate", la cantidad de bits de datos, entre otros. Posteriormente se define la etapa de escritura, la cual requiere especificar la cadena de caracteres que se desea emitir. La sección de lectura es la siguiente y requiere especificar la cantidad de bits que se espera que sean leídos. Finalmente, el módulo encargado de cerrar la comunicación con el puerto.

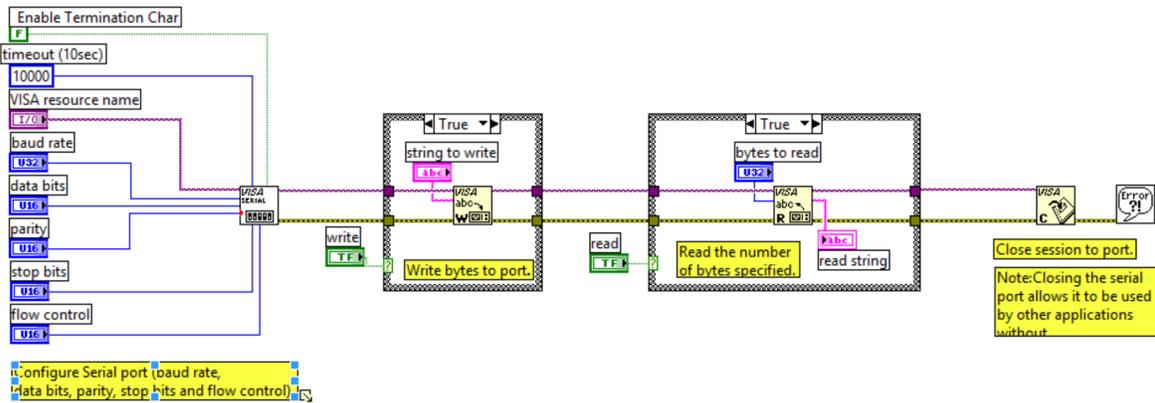


Figura 4. Diagrama de bloques del ejemplo original provisto por la empresa National Instruments para la escritura y lectura del puerto serial.

El funcionamiento del diagrama de bloque mostrado en la figura 4 puede ser comprendido de mejor manera observando el panel frontal de dicho programa (figura 5), en el cual se especifican los parámetros de conexión en la sección izquierda, los de escritura y lectura en la sección superior izquierda.

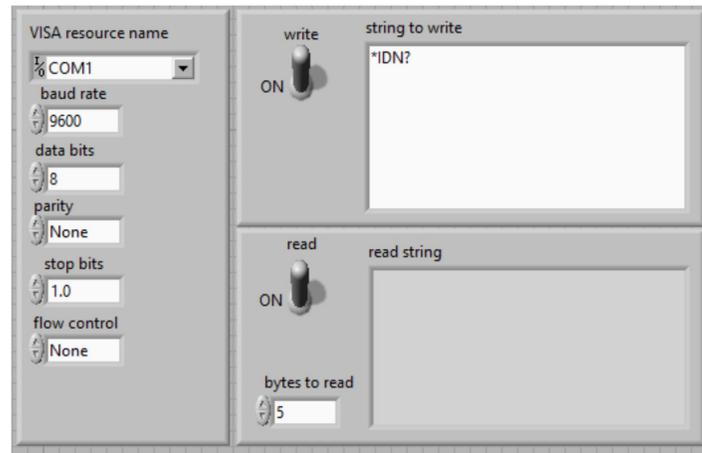


Figura 5. Panel frontal del ejemplo de escritura y lectura del puerto serial provisto por la empresa National Instruments.

Una vez que se probados los comandos que se desean utilizar con el programa descrito anteriormente, se procedió a su modificación de forma que el programa brinde funcionalidades específicas para el control de la fuente de poder. El panel frontal y diagrama de bloques del programa se muestran en las figuras 6 y 7 respectivamente.

El código se encarga de generar las cadenas de caracteres a partir de los comandos base y los valores indicados por el usuario en los campos de nivel de tensión, límite de tensión, límite de corriente, límite de disparo y los botones mostrados en la figura 6.

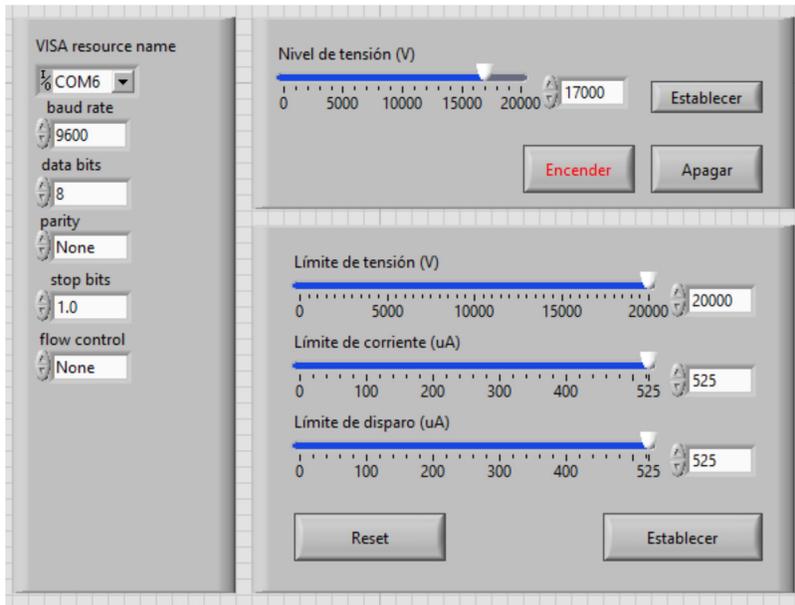


Figura 6. Panel frontal de la interfaz de control de la fuente de poder programable.

En la figura 7, se puede observar cómo se realiza el proceso de concatenación de cadenas de caracteres y estas son pasadas como parámetros a una serie de casos accionados cuando los botones se presonan.

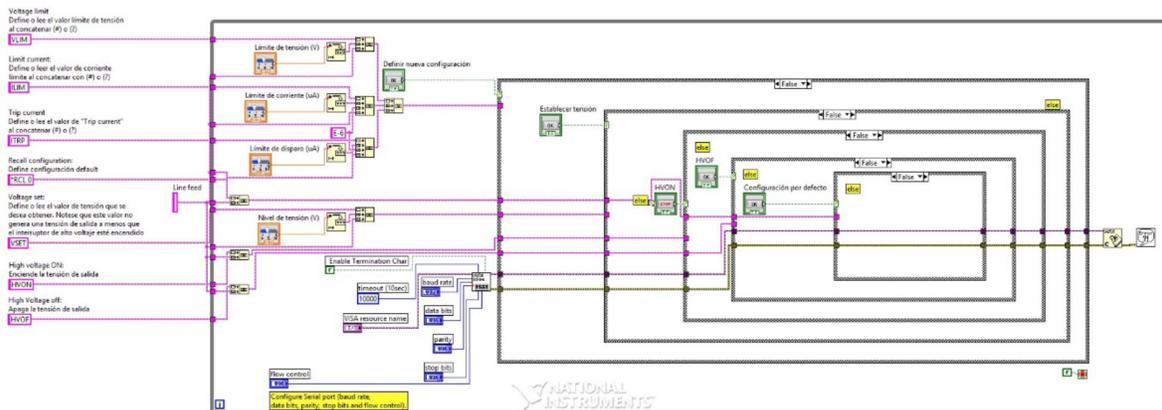


Figura 7. Diagrama de bloques de la interfaz de control de la fuente de poder programable.

Interfaz de control de la bomba de desplazamiento positivo

Al igual que con la fuente de poder, el primer paso para el desarrollo de la interfaz fue obtener los manuales correspondientes al dispositivo, los cuales pueden ser encontrados en el sitio oficial de los desarrolladores del equipo [8]. Este dispositivo cuenta con dos mecanismos de control: utilizando el protocolo RS-232 y mediante la tecnología TTL, sin embargo este último presenta una funcionalidad mucho más limitada ya que no permite el envío de comandos sino que permite realizar diferentes acciones mediante el encendido o apagado de los pines.

Se realizó un proceso de selección de los comandos que sería necesario implementar para el control de la fuente. Una vez realizada, se procedió a realizar pruebas del funcionamiento

de estos comandos utilizando el programa de escritura y lectura del puerto serial provisto por National Instruments (el mismo utilizado para realizar las pruebas de funcionamiento de la fuente de poder).

Al realizar las pruebas se encontraron comportamientos anormales que no seguían las especificaciones del manual de usuario de la bomba de desplazamiento positivo. Tras realizar pruebas más detalladas en conjunto con el encargado del proyecto (Dr. Christian Mendoza), se determinó que el puerto serial de la bomba de desplazamiento positivo no funcionaba correctamente y por esto no se pudo realizar la implementación con el protocolo RS-232. Por esta razón se tomó la decisión de desarrollar el programa de control utilizando la tecnología TTL, a pesar de sus limitaciones.

La tecnología TTL, se basa en el encendido y apagado de ciertas líneas de control que definen funciones específicas de la bomba de desplazamiento positivo. Para esto fue necesario controlar un Arduino desde LabView para accionar las funcionalidades de la bomba, esto se realizó haciendo uso del complemento llamado Linx de LabView. De esta forma se desarrolló el programa, cuyo diagrama de bloques se muestra en la figura 8.

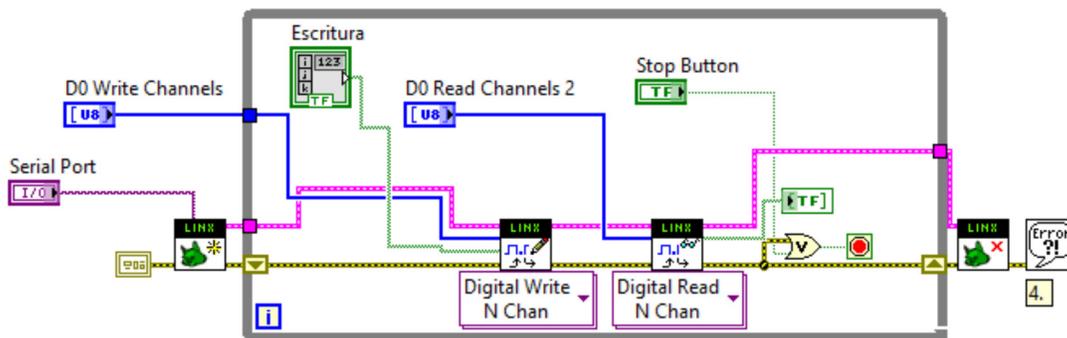


Figura 8. Programa de control de la bomba de desplazamiento positivo.

El programa tiene un flujo de trabajo muy similar al de la escritura en el puerto serial: primero, se debe realizar un proceso de inicialización en que se especifica el puerto en que el arduino se encuentra conectado. Una vez inicializado, hay un ciclo que se encarga de realizar lecturas y escrituras según la información provista por el usuario. Finalmente, existe un módulo que se encarga de cerrar la conexión.

Cabe mencionar que las únicas funcionalidades de interés que pudieron ser implementadas utilizando la tecnología TTL, son el encendido de la fuente, apagado de la fuente y lectura de algunas líneas de estatus. Todo el proceso de configuración de la misma debe realizarse previamente de forma manual ya que no es posible enviar comandos complejos a la fuente.

Las funcionalidades descritas anteriormente se pueden observar en el panel frontal del programa, el cual se presenta en la figura 9. El panel de configuración permite especificar los pines del arduino que serán utilizados para la lectura y escritura. El botón presentado al lado derecho permite cambiar el estado de encendido y apagado de la fuente y los leds de la parte baja muestran el estado de la bomba.

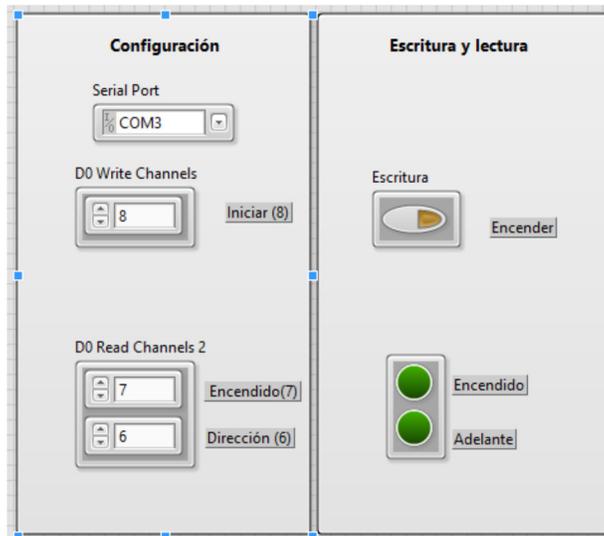


Figura 9. Panel frontal del programa de control de la bomba de desplazamiento positivo.

Las líneas de control pueden ser conectadas a cualquier pin del arduino, sin embargo para realizarlo de la forma en que se especifica en la figura 9, es necesario seguir el diagrama mostrado en la figura 10, donde se muestra claramente donde deben ser conectados cada uno de los pines.

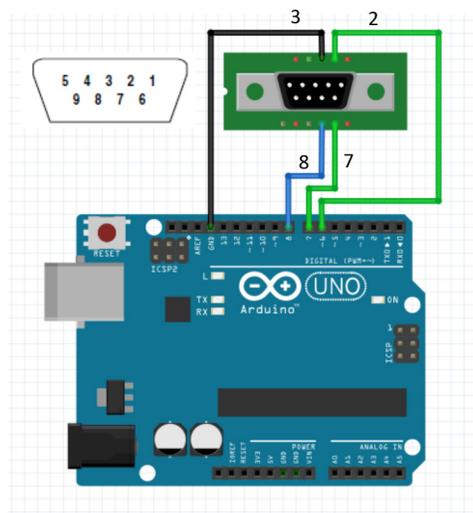


Figura 10. Diagrama de conexión.

Integración al código principal

El programa principal del sistema de manufactura fue desarrollado por el candidato a doctorado, Ing. Hernan Lara. Por razones de confidencialidad, en este documento se presenta únicamente aquellas secciones del código que se relacionan con el control de la fuente de poder y la bomba de desplazamiento positivo.

El sistema de manufactura es controlado utilizando código G, el cual consiste en un lenguaje de programación que permite indicar a una máquina que hacer y cómo lo debe hacer mediante el uso de instrucciones que indican adonde moverse, que tan rápido debe moverse y la trayectoria que esta debe seguir. Un ejemplo de los códigos utilizados puede observarse en la figura 11.

```

; INITIALIZATION
G21                ; set units to millimeters
M107
M104 S195          ; set temperature
G1 Z0 F75          ; lift nozzle
G28                ; home all axes
M109 S195          ; wait for temperature to be reached
G90                ; use absolute coordinates
G92 E5
M82                ; use absolute distances for extrusion

; POWER SOURCE CONTROL
C50                ; defines a voltage of 50V
T5                 ; waits 5 seconds
C80                ; defines voltage of 80V
T5                 ; waits 5 seconds
B100               ; turns on the voltage of power source
T5                 ; waits 5 seconds
C90                ; changes the voltage while the power source is on
T5                 ; waits 5 seconds
B200               ; turns off the voltage of the power source

; PUMP CONTROL
A100               ; a pulse is sent tu turn the pump on
T0.1
A200
T5                 ; delay
A100               ; a pulse is sent to turn the pump off
T0.1
A200

; SHUT DOWN PROCESS
G1 Z0 F800.000
M107
M104 S0            ; turn off temperature
G28 X0             ; home X axis
G28 Y0             ; home Y axis
M84                ; disable motors
M30
    
```

Figura 11. Ejemplo de código G utilizado para el control del sistema de manufactura.

Este código es ingresado al programa de control y debe ser procesado para que se convierta en señales que determinan el comportamiento de los instrumentos que conforman el sistema de manufactura. La figura 12 muestra el panel frontal del programa encargado de controlar el sistema de manufactura y la forma en que el código es ingresado al mismo.

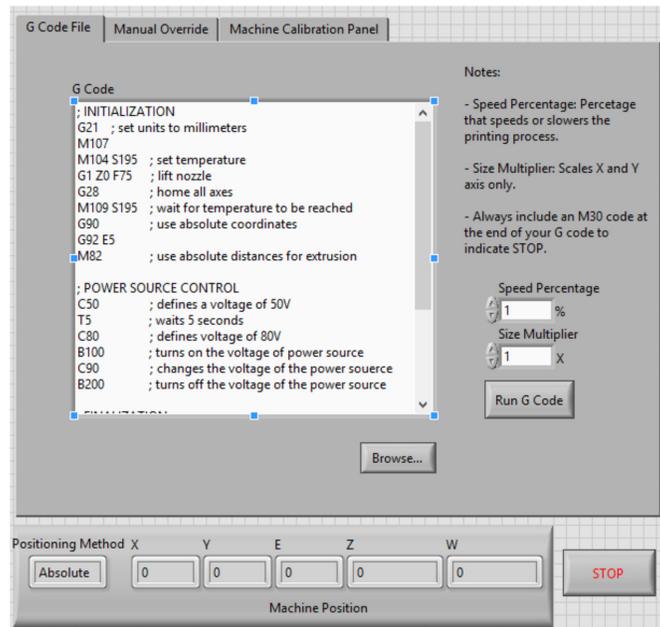


Figura 12. Panel frontal del programa principal.

Para determinar la función que debe realizarse, el sistema utiliza comandos que están compuestos por una letra del abecedario seguida de un número. Cada letra define las diversas funciones que pueden realizar y el número que le sigue conforma un parámetro para dicha función. Por ejemplo, en el código mostrado, la “C” es utilizada para definir el valor de voltaje y el número que le sigue constituye el valor que se desea definir. En el caso de la “B”, que se utiliza para encender (100) o apagar (200) la fuente según el valor que le sigue a la letra.

El conjunto de funciones que fue implementado para el sistema de manufactura es menor al que se utiliza en la interfaz de control debido a que para el programa final solo se requiere encender, apagar y cambiar el valor de voltaje de la fuente de poder. En el caso de la bomba de desplazamiento positivo, debido a las limitaciones presentadas por el fallo del puerto serial, únicamente se requiere el encendido y apagado de la misma.

Para procesar cada instrucción el sistema obtiene el primer carácter de la instrucción para determinar la función correspondiente, la cual es seleccionada mediante una estructura de “case”. Las funciones para controlar la fuente de poder y la bomba son 3 y se representan mediante las letras “A”, “B” y “C”.

Las letras “A” y “B”, se encargan del proceso de encendido/apagado de la bomba y la fuente respectivamente, mientras que la “C” permite definir la tensión que entrega la fuente de voltaje. Los códigos implementados se muestran en las figuras 13, 14 y 15. Algunos procesos de inicialización fueron realizados fuera de las estructuras presentadas en las figuras mencionadas, sin embargo, por asuntos de confidencialidad estos no serán presentados.

Como se mencionó anteriormente, al implementar la interfaz de control de la bomba de desplazamiento positivo, se utilizó la biblioteca llamada “Linx” para controlar un arduino que enciende y apaga la bomba. Sin embargo, para realizar la integración con el programa principal se debió migrar a una versión anterior de esta biblioteca llamada “Lifo”. El código implementado se muestra en la figura 13.

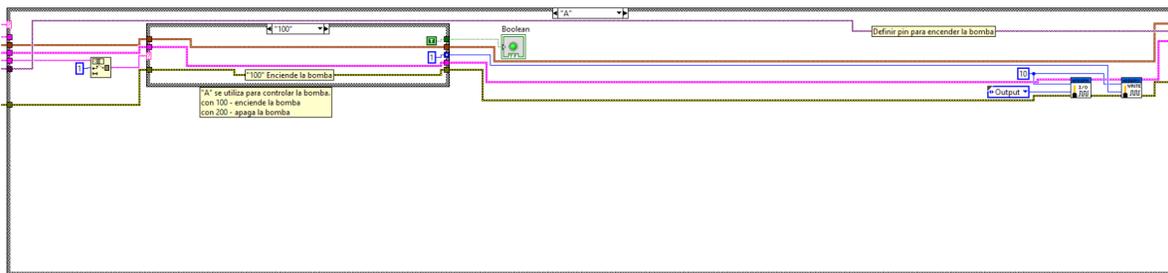


Figura 13. Caso “A”: encendido y apagado de la bomba de desplazamiento positivo.

Para controlar la fuente de poder, se continúa utilizando el protocolo RS-232. En las figuras 14 y 15 se muestra el código implementado para el control de la fuente de poder. El proceso de inicialización fue realizado fuera de la estructura del case y no se presenta por razones de confidencialidad. Sin embargo, se invita al lector a revisar el código presentado en la figura 7, donde se presenta el proceso completo.

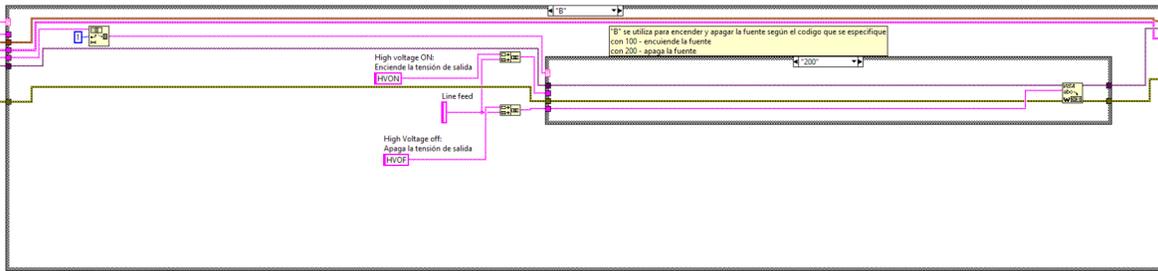


Figura 14. Caso “B”: encendido y apagado de la fuente de poder.

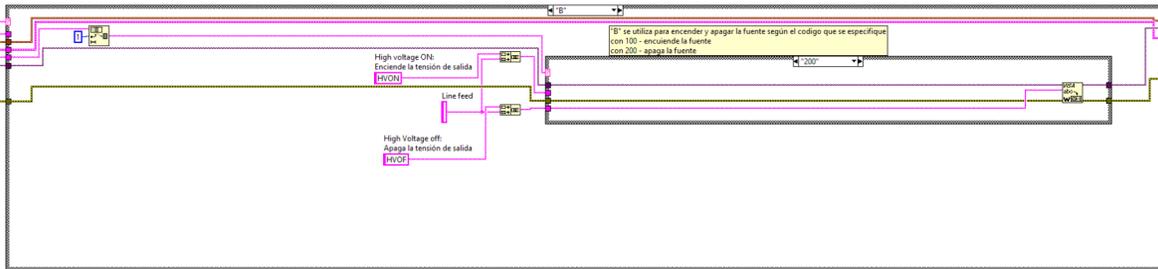


Figura 15. Caso “C”: se establece nivel de tensión.

Finalmente, el código desarrollado fue presentado al Dr. Christian Mendoza una vez que fue agregado al programa principal. El código presentado en la figura 11 fue el utilizado para realizar las pruebas de todas las funcionalidades de los mecanismos implementados, con lo que se recibió el visto bueno sobre la funcionalidad del proyecto desarrollado.

Discusión y resultados

Las interfaces de control desarrolladas permitieron realizar pruebas del funcionamiento requeridas previas a la implementación en el sistema de manufactura. En el caso de la fuente de voltaje, todos los comandos presentados en las secciones fueron probados para garantizar el correcto funcionamiento de los mismos.

La bomba de desplazamiento positivo presentó algunos problemas en el puerto RS-232 por lo que se debió desarrollar una solución alternativa a la que originalmente se planeaba. A pesar de esto, la funcionalidad de mayor interés (accionar la bomba de forma automática desde un computador) fue alcanzada. La desventaja de la solución implementada es que no permite la configuración de los parámetros de flujo de la bomba, sin embargo, estos solo deben configurarse una vez.

La integración de ambos módulos se realizó de forma exitosa al código del sistema de manufactura. Durante las pruebas realizadas no fueron encontrados errores. Sin embargo, durante las mismas se determinó que existen algunos problemas estructurales que impiden que la solución pueda ser utilizada de forma inmediata.

Durante las pruebas ejecutadas se encontró que durante el desarrollo de andamios es común tener que realizar algunos ajustes manuales como la posición de la muestra o la jeringa dispensadora de PCL. Dado que el sistema se ejecuta de forma continua a partir del momento que se acciona, resulta peligroso para la persona que realiza estos ajustes el accionamiento automático de la fuente de voltaje (considerando que se trabajan con voltajes de hasta 20 000 V).

A pesar de que se alcanzaron los objetivos del proyecto, los módulos no podrán ser utilizados de forma automática hasta que no se provea un mecanismo que realice los ajustes manuales y así garantizar la seguridad de los operarios.

Referencias

- [1] Desconocido, «Tissue engineering, Nature Biotechnology», vol. 17, pp. 508 - 510, 2000.
- [2] NIBIB, «Ingeniería de tejidos y medicina regenerativa,» julio 2013. [En línea]. Available: https://www.nibib.nih.gov/sites/default/files/Ingenier%C3%ADa%20de%20Tejidos%20y%20Medicina%20Regenerativa_0.pdf. [Último acceso: 10 agosto 2015].
- [3] C. Mendoza-Buenrostro, H. Lara y C. Rodríguez, «Hybrid fabrication of a 3D printed geometry embedded with PCL nanofibers for tissue engineering applications,» Procedia Engineering, pp. 128 - 134, 2015.
- [4] Desconocido, «Tecnología FDM,» Stratasys, [En línea]. Available: <http://www.stratasys.com/mx/impresoras-3d/technologies/fdm-technology>. [Último acceso: 10 agosto 2015].
- [5] D. Li y Y. Xia, «Electrospinning of Nanofibers: Reinventing the Wheel?,» Advanced Materials, vol. 16, n° 14, p. 1151, 2004.
- [6] S. R. Systems, «High Voltage Power Supplies,» [En línea]. Available: <http://www.thinksrs.com/downloads/PDFs/Manuals/PS365m.pdf>. [Último acceso: 08 December 2015].
- [7] N. Instruments, «Serial Communication - Basic Serial Write and Read,» National Instruments, [En línea]. Available: <http://www.ni.com/example/27669/en/>. [Último acceso: 08 December 2015].
- [8] KDSscientific, «Model 200 Series Users Manual,» [En línea]. Available: http://www.kdscientific.com/downloads/KDS%20Literature/Manuals/KDS_Model_200_Manual.pdf. [Último acceso: 08 December 2015].
- [9] ITESM, «Visión,» 13 octubre 2012. [En línea]. Available: <http://www.itesm.mx/wps/wcm/connect/ITESM/Tecnologico+de+Monterrey/Nosotros/Formacion+que+Transforma+Vidas/Vision/>. [Último acceso: 09 abril 2015].
- [10] ITESM, «Valores,» 18 diciembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.itesm.mx/wps/wcm/connect/ITESM/Tecnologico+de+Monterrey/Nosotros/Formacion+que+Transforma+Vidas/Valores/>. [Último acceso: 09 abril 2015].
- [11] ITESM, «Propósito de la institutción,» 07 mayo 2015. [En línea]. Available: <http://www.itesm.mx/wps/wcm/connect/ITESM/Tecnologico+de+Monterrey/Nosotros/Formacion+que+Transforma+Vidas/Proposito/>. [Último acceso: 09 agosto 2015].
- [12] CIDyT, «Centro de Innovación en Diseño y Tecnología» [En línea]. Available: <http://cidyt.mty.itesm.mx/>. [Último acceso: 09 agosto 2015].
- [13] ITESM, «Investigación,» [En línea]. Available: <http://www.itesm.mx/wps/wcm/connect/ITESM/Tecnologico+de+Monterrey/Investigacion/>. [Último acceso: 09 agosto 2015].
- [14] Desconocido, «Cultura colectiva,» [En línea]. Available: <http://culturacolectiva.com/wp-content/uploads/2014/06/tecnol%C3%B3gico-de-monterrey.jpg>. [Último acceso: 09 agosto 2015].
- [15] H. Lara, C. Rodríguez y C. Mendoza, «Fuzzy inference system applied to mechanical design of bone tissue engineering scaffolds,» de Asian-Pacific Conference on Computer Aided System Engineering (APCASE) , At Quito, Ecuador, 2015.

Influence of the design of a mist chamber for the deposition of nanometric thin liquid films – proof-of-concept

Influencia del diseño de una cámara de niebla en la deposición de nano-películas delgadas líquidas – prueba de concepto

Silvia Hidalgo¹, Laura Barillas², Klaus-Dieter Weltmann³, Katja Fricke⁴

Hidalgo, S., Barillas, L., Dieter-Weltmann, K., Fricke, K. Influence of the design of a mist chamber for the deposition of nanometric thin liquid films – proof-of-concept. *Tecnología en marcha*. Edición especial Movilidad Estudiantil 7. Abril, 2020. Pág.130-142.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v33i6.5174>

- 1 Mechatronics Engineering Academic Area, Costa Rica Institute of Technology, Cartago, Costa Rica. Email address: silviahidalgo.p@gmail.com
- 2 Junior Research Group Biosensing Surfaces, Leibniz Institute for Plasma Science and Technology e.V. (INP), Greifswald, Germany.
- 3 Junior Research Group Biosensing Surfaces, Leibniz Institute for Plasma Science and Technology e.V. (INP), Greifswald, Germany.
- 4 Junior Research Group Biosensing Surfaces, Leibniz Institute for Plasma Science and Technology e.V. (INP), Greifswald, Germany. Email address: k.fricke@inp-greifswald.de



Keywords

Thin films; mist chamber; atmospheric-pressure plasma.

Abstract

Different designs of mist chambers, intended for the generation of a fine aerosol, were evaluated in terms of its application to deposit a thin liquid film homogeneously on solid surfaces. The developed approach comprises a spray generator that is adapted to the different chambers studied, which is called hereinafter mist chamber. In particular, the utilization of small volume of liquids for the generation of fine mist was in the focus of interest because of its importance for applications where aerosol concentration and size distribution need to be tailored to specific needs. Four mist chamber proposals were evaluated and subjected to experimentation in order to characterize the performance of each proposal. For the proof of concept of the designed mist chambers, a liquid acrylate-based monomer mixture was deposited on silicon wafers and subsequently polymerized by means of an atmospheric-pressure plasma jet. A thorough surface analysis of the obtained films revealed a thickness in the nanometer range as well as a homogeneous deposition pattern.

Palabras clave

Películas delgadas; cámara de niebla; plasma a presión atmosférica.

Resumen

Diferentes diseños de cámaras de niebla, cuyo propósito es la generación de un fino aerosol, fueron evaluados en términos de su aplicación para la deposición de capas delgadas homogéneas sobre superficies sólidas. El abordaje desarrollado comprende un generador de aerosol que se adapta a las diferentes cámaras estudiadas, lo que se denomina en adelante como cámara de niebla (mist chamber). Particularmente, el foco de interés fue la utilización de pequeños volúmenes de líquidos para la generación de una niebla fina, debido a su importancia en aplicaciones donde la concentración de aerosol y la distribución del tamaño de las gotas deben ser ajustadas a necesidades específicas. Cuatro cámaras de niebla fueron evaluadas y sometidas a pruebas experimentales, con el fin de caracterizar el rendimiento de cada propuesta. Como prueba de concepto para las cámaras de niebla diseñadas, una mezcla líquida de monómeros de base acrílica fue depositada en obleas de silicio y posteriormente polimerizadas mediante un plasma jet a presión atmosférica. Finalmente, un riguroso análisis de la superficie de las capas obtenidas reveló que estas tienen un grosor en el rango nanométrico y presentan un patrón de deposición homogéneo.

Introduction

Spray systems are of paramount importance for instance for sample introduction in ICP (inductively coupled plasma) instruments, in agriculture for the distribution of pesticides, in climate chambers or in metal industry for applying adhesives and high-viscosity media to different devices. For the effective spray application, the drop size and drop-size distribution are important for a good deposition and coverage. For all these applications, a liquid solution is transformed into an aerosol, by means of a nebulizer, atomizer or micro-spray valves, which is injected into the spray chamber. The spray chamber is used to separate the larger droplets from the smaller ones, allowing the latter to reach the outlet [1]. Many types of nebulizers and spray

chambers have been described in the literature and are commercially available [2]. However, depending on the application, e.g. introduction of liquid samples into spectroscopic sources, improvement of the transport efficiency of the system is needed. For instance, for classical spray chambers, only a few percent of the initial liquid is vaporized and reaches the outlet [3]. This proportion can be improved by modifying the nebulizer to produce an aerosol with increased number of small droplets and by enhancing the droplet distribution of the injected aerosol by optimizing the spray chamber geometry, respectively.

The aim of this work was (i) to design a spray chamber fitted with a commercially available nebulizer for the deposition of a thin liquid film on substrates, which is subsequently polymerized by using atmospheric-pressure plasma and (ii) to obtain a nanometer thin plasma-polymerized film that is homogeneously covering the substrate. In this context, the application of interest relies on the deposition of polymer coatings where the precursor is not vaporized. Plasma polymerization has gained importance by producing polymer films of organic compounds that do not polymerize under normal chemical polymerization conditions at low temperatures [4]. Thin films are formed mostly by methods purely physical, such as evaporative methods, or purely chemical, such as gas- and liquid-phase chemical processes [5]. An overview of various thin-film deposition technologies is described in [6]. Unlike the well-studied and sophisticated equipment available for the deposition of inorganic materials, such established techniques are difficult to adopt for the deposition of organic materials, polymers, or biological macromolecules, since these materials can be damaged by high temperature, vacuum, or chemical etchants [7]. The methodology presented in this paper, is particularly suitable for materials with low vapor pressure that are difficult to transfer into the gas phase.

However, common approaches to generate plasma polymerized films at atmospheric-pressure by using liquid monomers is to apply a nebulizer or to drop the liquid directly on the substrate prior to polymerization [8–10]. Figure 1 represents a comparison of the spraying patterns between a nebulizer (figure 1a) and the mist chamber proposed in this work (figure 1b).

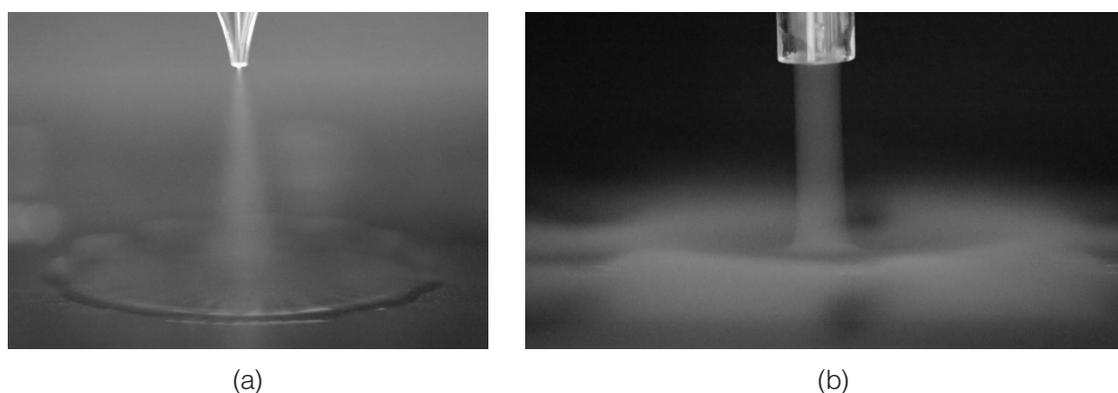


Figure 1. Pictures of (a) Produced aerosol and liquid film obtained using a commercially available nebulizer, where it is clearly seen that the liquid film is very thick and, due to large droplets, heavily impacting the substrate. (b) Formation of fine mist obtained by the newly designed mist chamber. It can be noticed that the mist distributes smoothly along the surface, creating a more uniform film.

The nebulizer produces an aerosol that contains a wide range of particle sizes resulting in sprayed films with thicknesses in the order of 400-1000 nm [11–13].

By connecting a nebulizer to a spray chamber, an aerosol with a smaller particle size can be obtained, which results in a very fine mist. Based on this approach, we studied the design of different mist chambers for creating nanometer thin plasma polymerized films. Furthermore,

we modified the design to study the influence of geometry and internal volume on the liquid transport efficiency and deposition pattern of the plasma polymerized film.

Methodology

A schematic representation of the setup used for the deposition of liquid films is shown in figure 2. The process starts with the liquid injection, where the precursor is pumped into the spray generator (e.g. nebulizer). The outlet of the spray generator is connected to the mist chamber, allowing the aerosol or spray to enter the chamber through the inlet. The mist is deposited as a thin, uniform layer of small droplets on the substrate.

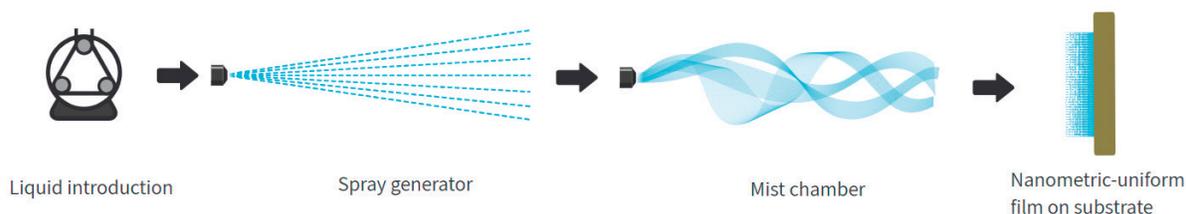


Figure 2. Schematic of the approach to produce a fine mist and its deposition on a substrate mounted perpendicular to the setup.

Design of the mist chamber

Figure 3 shows 2D schematics and 3D models of the transversal section from the four mist chamber proposals. All designs are related to spray chambers used as sample introduction system in inductively coupled plasma mass spectrometry or atomic emission spectrometry, ICP-MS, ICP-AES, where very low liquid flow rates are commonly applied [14]. In particular, mist chamber A and B were modified in order to adapt them to the approach described by figure 2, resulting in new designs inspired by cyclone-type and Scott-type ICP-MS spray chambers [1], the two most widely applied types. Proposal C represents a variation of model B (to evaluate a second wall effect, as will be described further) whereas proposal D represents a new developed design. Despite geometric differences, the four proposals share three main parts labelled as outlet, inlet and drain; represented in figure 3 as a circle, an arrow and a rectangle, respectively. The inlet corresponds to the mechanical interface between the nebulizer and the mist chamber. The mist is released through the outlet whereas large droplets are drained.

In order to improve geometric aspects, a preliminary application test was performed. The test was based on injecting the aerosol produced by a spray generator into the mist chamber and inspecting visually the mist generation at the outlet. This was important in order to determine if any of the mist chamber models should be discarded at a very early stage, in case that no mist is observed at the outlet. Final designs and dimensions were defined after these tests. For a better understanding of the mist chamber sizes, the internal volume for each chamber is also given in figure 3.

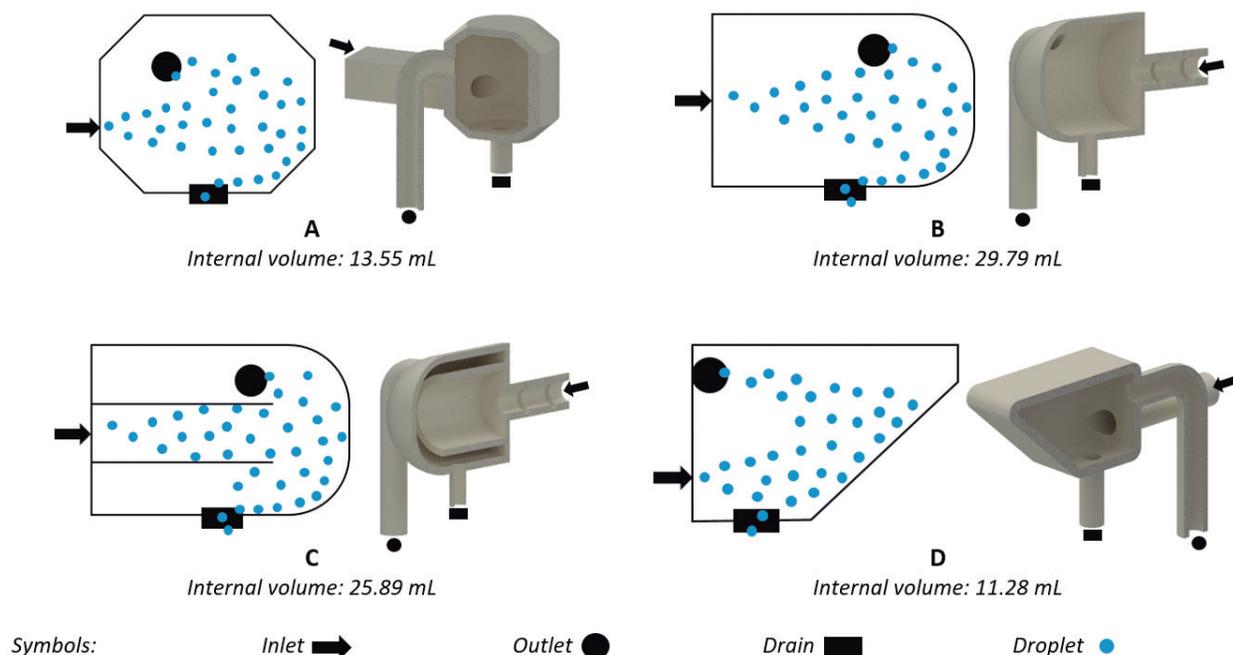


Figure 3. Schematics and 3D images of the transversal section geometry of the four mist chamber proposals. Figures A and D have slants in their geometries, while B and C present rounded shapes. Additionally, a further difference between B and C is the inner wall, which changes the trajectory of the sprayed droplets. Note: Depending on the design, the internal volume varies between the chambers.

For all experimental tests conducted, different prototypes were manufactured by stereolithography (SLA) additive manufacturing (or commonly known as “3D printing”) using methacrylate photopolymer resin.

Experimental and application tests

Different experimental tests were conducted for evaluating and comparing the performance of each mist chamber by using a liquid mixture of acrylate-containing and non-aromatic hydrocarbon-based monomers. This mixture was pumped into the spray generator by applying an Argon (Ar) gas flow of 0,5 standard liter per minute (slm). The following sections are dedicated to explain the objective of each analysis and the applied parameters.

Drain-drop time

A drain is used to remove the larger drops from the transport gas stream that are collected in a mounted vial. The drainage characteristics play a crucial role to maintain a constant mist at the outlet, as pressure changes may occur. This drainage process should happen smooth and continuous [15]. Thus, minimum accumulation of the fluid inside the chamber is desired; also, to avoid liquid trying to get out through the inlet, increasing the dead volume. Hence, the efficiency of the drain in each prototype was evaluated by measuring the time when the first drop of the monomer mixture was drained. Furthermore, the impact of the mist chamber geometry on the required time until draining was studied. Longer times indicate that more fluid is accumulated inside the chamber before the draining starts, therefore short times are desired.

Liquid transport efficiency

For all prototypes, it was observed that most of the injected liquid sprayed into the mist chamber was always going out through the drain and only a small portion reached the outlet. In order

to estimate its proportion, the amount was determined by subtracting initial and final masses from the fluid reservoir (glass vial) and the mist chamber. Therefore, a liquid of known volume was injected into the chamber whereas the drained liquid was trapped in a vial for quantitation. For the calculation of the drained liquid, the mass of an empty vial was subtracted. In the same way, by knowing the mass of the empty and dry mist chamber, it is possible to calculate the percentage of liquid left inside each chamber.

Application test

Since in this study the direct application of the mist chamber focuses on creating nanometric and uniform liquid films for subsequent plasma polymerization, it is important to determine the thickness of the obtained films. For each mist chamber design, a set of three samples was generated according to the following procedure and as shown in figure 4.

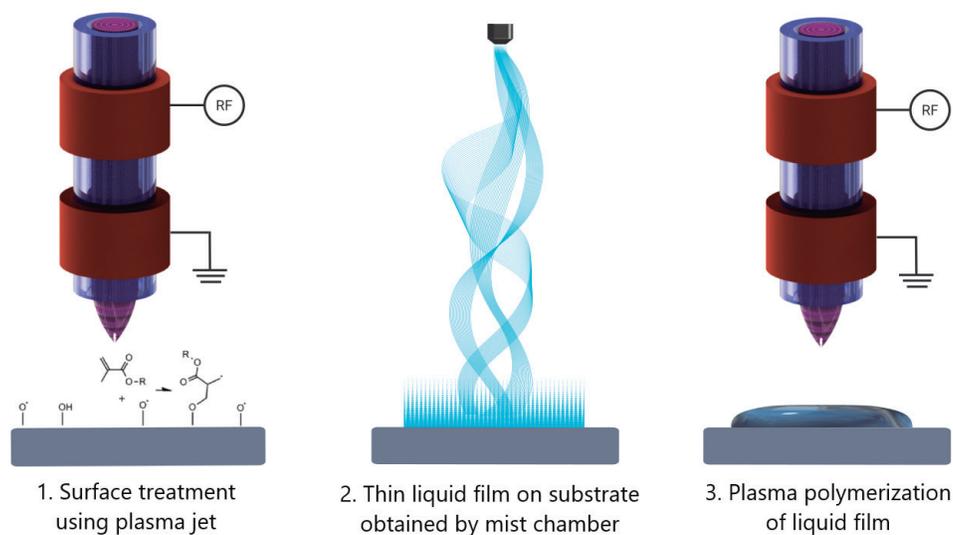


Figure 4. Scheme of the plasma polymerization procedure for the application test.

1. To improve the surface wettability, the samples (silicon wafers (Prime CZ-Si), 1-side polished, thickness $381 \pm 20 \mu\text{m}$, orientation $\langle 100 \rangle$, p-type Boron doped TTV $< 10 \mu\text{m}$, resistance $1\text{-}10 \Omega\text{cm}$) were pretreated by using a radio frequency-driven (27,12 MHz) atmospheric-pressure plasma jet [7, 15] operated at an Ar flow rate of 1 slm.
2. The pretreated samples were subjected towards the mist chamber for 30 s, using a 2 mm distance between the outlet and the substrate.
3. Plasma polymerization of the deposited mist by using the same jet and the same process parameters as previously described in 1.

The mist chamber outlet and the plasma jet were always mounted perpendicular to the substrate, as shown in figure 5. Consequently, if the substrate's center is aligned with the plasma jet, the highest thickness is expected to be in the film's center. The film thickness was measured using the ellipsometer.

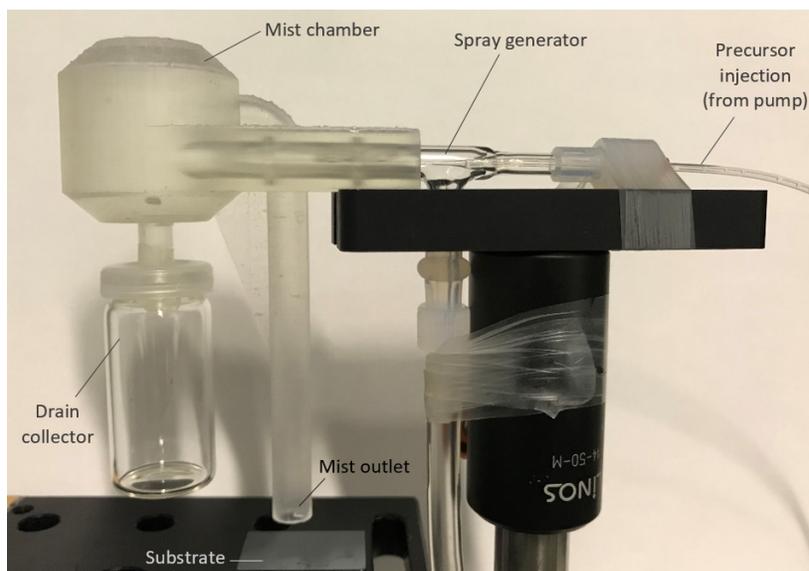


Figure 5. Photograph of the setup used for generating a fine mist. In this approach, mist chamber A is shown.

The ellipsometric data were measured using a J.A. Woollam® M-2000® V ellipsometer at incidence angles of 55°, 65°, and 75°. The optical data obtained for the films were fitted by the Cauchy model including films non-uniformity and roughness using Complete EASE® software.

Results and discussion

The preliminary test was performed with two different versions of the outlet. The difference relied on the transversal area of the outlet trajectory. One version included an elliptical transversal area, whereas the second version included a circular one, as shown in figure 6. The elliptical shape allowed the accumulation of the liquid at the outlet, inducing the generation of a large drop on the substrate after several seconds. However, by using the circular shaped outlet, the generation of large drops was prevented, suggesting that the geometry should be kept as uniform as possible throughout the outlet trajectory. After implementing the circular shaped outlet in all chamber models, it was noticed that for all proposals the aerosol was successfully decelerated, producing a soft and uniform mist of the liquid mixture that covers the substrate evenly, as seen in figure 1b.

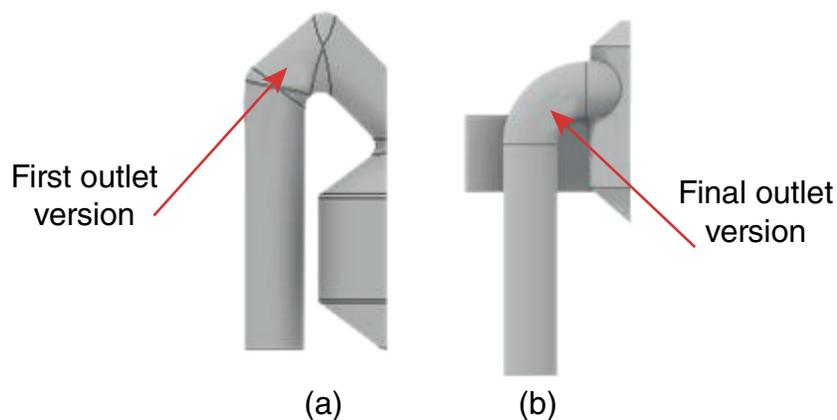


Figure 6. Comparison between two outlet designs for the mist chambers: (a) elliptical shape, (b) circular shape.

Results from the drop time test are shown in table 1. Model A was the fastest to start draining. It is suggested that this was probably caused due to the slant included in the bottom part (near to the drain area), as well as the cyclonic forces generated in this kind of geometry. For the other prototypes, the drain took three times longer or even more. Proposal B is the prototype with the largest internal volume, which might be the reason that it took the longest time to start draining. In order to maintain a constant mist at the outlet and to avoid liquid trying to get out through the inlet, minimum accumulation of the fluid inside the chamber is desired. Based on that, the faster the drain starts, the better. For this reason, the best performance in this test was obtained for proposal A.

Table 1. Drop time for the different mist chambers.

| Mist chamber proposal | Drop time (s) |
|-----------------------|---------------|
| A | 10 |
| B | 35 |
| C | 30 |
| D | 29 |

Regarding the results from the distribution of the injected liquid test, table 2 shows the calculated percentages of the drained liquid, residual fluid inside the chamber and of the liquid expelled through the outlet. Values from the liquid left inside the chamber were expected, since the prototypes with less internal volume (A and D) obtained the lowest percentages. Proposal C got the highest percentage, which can be explained as a consequence of having a double wall in contact with the liquid. This double wall increases the superficial area on which the liquid could be deposited. Regarding the percentages of the drained liquid, the results confirm the statement that most of the injected liquid (a rough estimation of 80% or more, based on observations during the preliminary tests) leaves the chamber as droplets. Furthermore, it was found that for all prototypes at least 90% of the injected liquid does not become part of the mist. Simulations from other authors of ICP-MS spray chambers calculated that a maximum of 2% of the nebulizer aerosol reaches the outlet [16, 17]. Based on those values, results from this test seem to be reasonable.

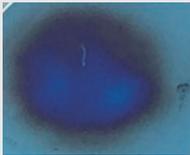
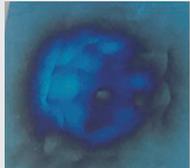
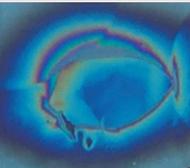
Table 2. Percentage of the injected liquid that was drained and left inside the chamber determined by weighing the mass of the mist chamber and of the glass vial used for the drain, respectively, before and after spraying.

| Mist chamber proposal | Drained liquid (%) | Liquid left inside the chamber (%) | Expected liquid as mist (%) |
|-----------------------|--------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| A | 86,5 | 7,6 | 5,9 |
| B | 86,3 | 9,5 | 4,2 |
| C | 79,2 | 14,7 | 6,1 |
| D | 85,0 | 5,8 | 9,2 |

According to the procedure depicted in figure 4, the film thickness of the coatings achieved by the different mist chambers are listed in table 3. Additionally, a representative picture of the received film is shown. In terms of the film thickness, the thinnest films (< 100 nm) were obtained for model A whereas for films produced by using model C, the highest thickness was determined. When looking at the pictures, remarkable differences in the deposition pattern can

be noticed. The film obtained by using model A, shows a homogeneous, round shaped pattern with a uniform color-distribution. In contrast, for coatings produced by applying model B and C, spots and rings of different colors are visible, which indicates differences in the coating's thickness. Also for the film polymerized after using model D, exhibits a inhomogeneous thickness distribution.

Table 3. Thickness and deposition pattern of the plasma polymerized films obtained by using the different mist chamber designs (the given data are an average of three replicates).

| Mist chamber proposal | Film thickness (nm) | Standard deviation (nm) | Pictures of the plasma polymerized films |
|-----------------------|---------------------|-------------------------|---|
| A | 96,8 | 10,2 |  |
| B | 120,8 | 15,6 |  |
| C | 169,6 | 28,5 |  |
| D | 105,5 | 10,4 |  |

In addition to the experimental results already mentioned, other parameters were considered in order to select the most adequate mist chamber. Maintenance and cleaning, manufacturing complexity and minimum accumulation performance comprise the additional considered parameters. During the experiments, it was observed that model A has the best accumulation performance, since other models allow a significant accumulation of liquid, especially model D. Considering that model D also has the lowest internal volume, this drawback becomes more important.

Based on the presented data, model A is considered as the most adequate mist chamber for the creation of a uniform, nanometer thin film. Nevertheless, it is necessary to mention that despite the fact that model A got the best performance, the four proposed mist chambers meet all the established requirements, since all chambers decelerate the aerosol by creating a mist and allowed the creation of films in the order of nanometers.

Once the model A was defined as the most appropriate mist chamber, additional efforts were done in order to obtain thinner films. For this model the influence of the internal volume on the film thickness was analyzed. By reducing 32,5% of the original volume, 54% thinner films were obtained. As shown in table 4 and figure 7.

Table 4. Thickness of the plasma polymerized films obtained by using mist chamber model A and its reduced version (the given data are an average of three replicates).

| Internal volume (mL) | Sample | Film thickness (nm) | Mean value (nm) | Standard deviation (nm) |
|----------------------|--------|---------------------|-----------------|-------------------------|
| 9,15 | 1 | 46,4 | 45,1 | 5,0 |
| | 2 | 39,6 | | |
| | 3 | 49,4 | | |
| 13,55 | 1 | 98,1 | 98,9 | 13,9 |
| | 2 | 85,5 | | |
| | 3 | 113,20 | | |

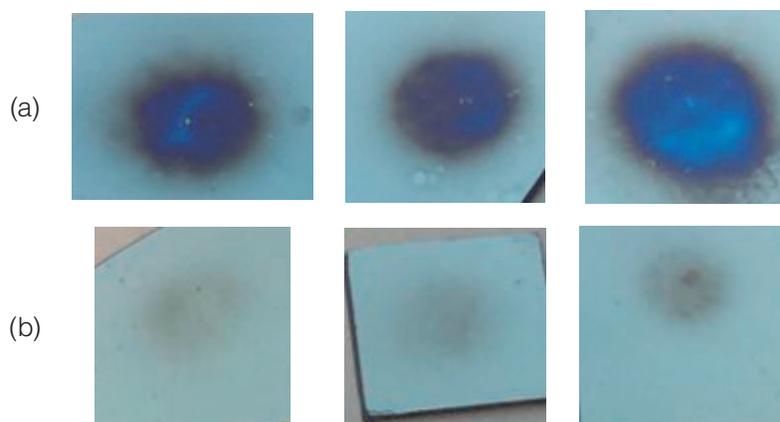


Figure 7. Pictures of films created by mist chamber A: (a) original volume, (b) reduced internal volume.

Conclusions

A device, named mist chamber, capable of decelerating the aerosol produced by a nebulizer for the creation of nanometric plasma polymerized was designed and implemented. Four mist chambers models were evaluated and compared experimentally. Draining time, efficiency, liquid accumulation, film thickness, and liquid distribution comprise the main parameters considered to select the most suitable model to achieve uniform films.

For models B and C, the main difference was obtained in terms of the film thickness, where model B achieved films 29% thinner as compared to those achieved by using model C. However, it was concluded that the addition of a second inner wall does not represent an improvement in general terms. Furthermore, the thinnest films were obtained by using model A. Nevertheless, all models allow the creation of nanometric films.

In general, the best performance was obtained for models A and D. However, model D presents an important drawback related to the liquid accumulation. Given that model A is the fastest to start draining, and a small percentage of liquid is accumulated inside the chamber, it is suggested to have the highest efficiency and generates the thinnest films. Hence, model A is considered as the most adequate mist chamber for the studied application.

Acknowledgements

S.H. received funding by the Student Mobility Program from the Costa Rica Institute of Technology.

References

- [1] C. Rivas, L. Ebdon, and S. J. Hill, "Effect of different spray chambers on the determination of organotin compounds by high-performance liquid chromatography–inductively coupled plasma mass spectrometry," *J. Anal. At. Spectrom.*, vol. 11, no. 12, pp. 1147–1150, 1996.
- [2] B. L. Sharp, "Pneumatic nebulisers and spray chambers for inductively coupled plasma spectrometry. A review. Part 2. Spray chambers," *J. Anal. At. Spectrom.*, vol. 3, no. 7, p. 939, 1988.
- [3] V. Geertsen, P. Lemaitre, M. Tabarant, and F. Chartier, "Influence of design and operating parameters of pneumatic concentric nebulizer on micro-flow aerosol characteristics and ICP-MS analytical performances," *J. Anal. At. Spectrom.*, vol. 27, no. 1, pp. 146–158, Jan. 2012.
- [4] S. Yurish, *Sensors and Biosensors, MEMS Technologies and its Applications*. Internacional Frequency Sensor Association Publishing, 2013.
- [5] P. Plociennik, A. Zawadzka, R. Frankowski, and A. Korcala, "Selected methods of thin films deposition and their applications," in *2016 18th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, 2016, pp. 1–4.
- [6] K. Seshan, *Handbook of Thin-Film Deposition Processes and Techniques*, 2nd ed., vol. 31, no. 3. California: William Andrew Publishing, 2002.
- [7] I. Endo and T. Nagamune, *Nano/Micro Biotechnology*. Springer, 2010.
- [8] J. Schafer, K. Fricke, F. Mika, Z. Pokorná, L. Zajickova, and R. Foest, "Liquid assisted plasma enhanced chemical vapour deposition with a non-thermal plasma jet at atmospheric pressure," *Thin Solid Films*, vol. 630, pp. 71–78, 2016.
- [9] F. Fanelli, A. M. Mastrangelo, and F. Fracassi, "Aerosol-Assisted Atmospheric Cold Plasma Deposition and Characterization of Superhydrophobic Organic–Inorganic Nanocomposite Thin Films," *Langmuir*, vol. 30, no. 3, pp. 857–865, Jan. 2014.
- [10] G. Da Ponte, E. Sardella, F. Fanelli, S. Paulussen, and P. Favia, "Atmospheric Pressure Plasma Deposition of Poly Lactic Acid-Like Coatings with Embedded Elastin," *Plasma Process. Polym.*, vol. 11, no. 4, pp. 345–352, Apr. 2014.
- [11] V. Gowthami, P. Perumal, R. Sivakumar, and C. Sanjeeviraja, "Structural and optical studies on nickel oxide thin film prepared by nebulizer spray technique," *Phys. B Condens. Matter*, vol. 452, pp. 1–6, 2014.

- [12] R. Suresh, V. Ponnuswamy, R. Mariappan, and N. Senthil Kumar, "Influence of substrate temperature on the properties of CeO₂ thin films by simple nebulizer spray pyrolysis technique," *Ceram. Int.*, vol. 40, no. 1 PART A, pp. 437–445, 2014.
- [13] M. Soliman Selim, M. Chandra Sekhar, and A. R. Raju, "Preparation and characterization of thin films of ZnO:Al by nebulized spray pyrolysis," *Appl. Phys. A*, vol. 78, no. 8, pp. 1215–1218, 2004.
- [14] J.-L. Todolí, S. Maestre, J. Mora, A. Canals, and V. Hernandis, "Comparison of several spray chambers operating at very low liquid flow rates in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry," *Fresenius J. Anal. Chem.*, vol. 368, no. 8, pp. 773–779, Dec. 2000.
- [15] P. Gaines, "Nebulizers, Spray Chambers and Torches," 2016. [Online]. Available: <https://www.inorganicventures.com/nebulizers-spray-chambers-and-torches>. [Accessed: 09-Mar-2019].
- [16] J. Schäfer, R. Foest, A. Quade, A. Ohl, and K.-D. Weltmann, "Local deposition of SiO_x plasma polymer films by a miniaturized atmospheric pressure plasma jet (APPJ)," *J. Phys. D. Appl. Phys.*, vol. 41, no. 19, p. 194010, Oct. 2008.
- [17] G. Schaldach, L. Berger, I. Razilov, and H. Berndt, "Characterization of a double-pass spray chamber for ICP spectrometry by computer simulation (CFD)," *At. Spectrosc.*, vol. 57, no. 10, pp. 1505–1520, 2002.
- [18] G. Schaldach, L. Berger, I. Razilov, and H. Berndt, "Characterization of a cyclone spray chamber for ICP spectrometry by computer simulation," *At. Spectrosc.*, vol. 57, no. 10, pp. 1505–1520, 2002.

