

Resistencia a la compresión del concreto: Una revisión - Caso Nicaragua

Compressive strength of concrete: A review -Nicaragua case

Eddisson Francisco Hernández¹, Jennifer Manzanarez-Alvarado²

Fecha de recepción: 7 de mayo, 2024
Fecha de aprobación: 29 de julio, 2024

Hernández, E.F; Manzanarez-Alvarado, J. Resistencia a la compresión del concreto: Una revisión - Caso Nicaragua. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° 1. Enero-Marzo, 2025. Pág. 77-88.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i2.7149>

1 Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Americana. Nicaragua
 eddisson.hernandez@uam.edu.ni
 <https://orcid.org/0000-0002-9602-5805>

2 Oficina de Innovación y Emprendimiento. Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua.
 Jennifer.manzanarez@oie.uni.edu.ni

Palabras clave

Cemento; agregados; calidad; diseño de mezcla; resistencia a la compresión.

Resumen

El concreto es un material compuesto constituido de pasta de cemento y agregados, el cual, según los materiales y proporciones empleados, presentan diferentes propiedades tanto en estado fresco como endurecido. Según el estado del arte, la resistencia a la compresión es la propiedad especificada para determinar su calidad a los 28 días, la cual, está en función de algunos factores como el proceso de hidratación del cemento, tipos y tamaños de agregados, proporción de materiales y condiciones de curado. En este trabajo, a través de una revisión documental, se presenta el análisis y valoración de los factores que afectan las propiedades del concreto elaborado en Nicaragua, utilizando datos sobre las propiedades físicas de los materiales, diseño de mezclas y resistencia a la compresión, obtenidos en laboratorio y campo. Destacándose como los más relevantes: el tipo de cemento, tipo y tamaño máximo de agregado, relación cemento/agregado y agregado grueso/agregado fino.

Keywords

Cement; aggregates; quality; mix design; compressive strength.

Abstract

Concrete is a composite material conformed of cement paste and aggregates, which, depending on the materials and proportions used, has different properties both in the fresh and hardened state. According to the state of the art, compressive strength is the property specified to determine its quality at 28 days, which is in function of some factors such as the cement hydration process, types and sized of aggregates, proportion of materials and curing conditions. In this work, through a documentary review, the analysis and assessment of the factors that affect the properties of concrete elaborate in Nicaragua are presented, using data on the physical properties of the materials, mix design and compressive strength, obtained in laboratory and field. Highlighting as the most relevant: the type of cement, type and maximum size of aggregate, cement/aggregate and coarse aggregate/fine aggregate, ratios.

Introducción

El concreto es un material que, por su facilidad de conformación en elementos estructurales, en variedad y formas, es ampliamente usado en la construcción. Su consistencia plástica, le permite fluir en cualquier encofrado prefabricado [1]. Es un material compuesto económico y fácilmente de elaborar, constituido de agregados, agua y material cementante. A diferencia del acero, este no se corroe, haciendo que las estructuras con este material requieran poco mantenimiento, sean resistentes al fuego y a ciclos de carga [1, 2].

Según la literatura, el deterioro prematuro presentado en construcciones de concreto reforzado, está relacionado de manera general con el diseño estructural, la calidad de los materiales y las prácticas constructivas [3]. Este deterioro, reduce su durabilidad al estar expuestas a condiciones ambientales agresivas que afectan su desempeño [4]. Para incrementar la vida de servicio de las estructuras de concreto reforzado, se reduce la relación agua/cemento (a/c), emplean adiciones minerales, aditivos químicos e inhibidores de corrosión [5].

En estado endurecido, las principales propiedades del concreto son la resistencia mecánica, densidad, porosidad, absorción capilar, resistividad, permeabilidad, etc. De estas, la resistencia a la compresión axial es la que está relacionada con su calidad, y la resistividad con la durabilidad [2]. De manera similar, la Norma Mínima de Diseño y Construcción de concreto Estructural (CR-001) de Nicaragua [6], considera la resistencia a la compresión como el parámetro empleado para evaluar su calidad a los 28 días de edad.

En Nicaragua, debido a la alta sismicidad de su territorio y de la región centroamericana, es necesario construir viviendas sismo-resistentes [7]. En la actualidad existen diversas maneras de construir con seguridad estructural y acabados de excelente calidad. Sin embargo, atender los requerimientos constructivos y estructurales adecuados resulta costoso, y en algunos casos, no se cuenta con la mano de obra calificada [4].

Entre los sistemas constructivos utilizados en el país, la mampostería confinada es el más popular. Está constituida principalmente de una estructura de concreto armado resistente, que brinda seguridad y confort a sus habitantes [7, 8]. De acuerdo con la Nueva Cartilla de la Construcción de Nicaragua [9], la mampostería está compuesta de concreto, mortero, hierro y el mismo mampuesto (ladrillos, bloques, entre otros). En relación con el concreto, se requiere que este material cumpla con una resistencia a la compresión superior a 210 kg/cm², en vigas y columnas. Que se logra aplicando algunos principios básicos para su elaboración, tales como: tipo de cemento, agregados con granulometría adecuada, correcta relación agua/cemento, proporcionamiento de materiales que evite la segregación de los agregados, vibrado durante la colocación y tiempo suficiente de encofrado [9].

El propósito de este trabajo es hacer un análisis y valoración, a través de la revisión documental de trabajos académicos, reportes de obra y normativas técnicas, de los factores que influyen en la calidad del concreto usado en la construcción en Nicaragua.

Materiales y métodos

De acuerdo con la Cámara de Urbanizadores de Nicaragua (CADUR), en el país se necesitan 957000,00 viviendas para suplir el déficit habitacional [10]. Sin embargo, según datos extraídos de los informes de periodicidad del Banco Central de Nicaragua (BCN) sobre construcción privada del año 2002 al 2019 [11], el total de viviendas construidas en ese período fue de 76953,00 viviendas (Cuadro 1), que representa el 8% del déficit total. Este valor evidencia que se requieren mayores esfuerzos en el país para incrementar los porcentajes de construcción de vivienda y reducir el déficit habitacional.

Por otro lado, en el año 2022, la casa, representó el 99% del tipo de vivienda en el país, siendo las construcciones de paredes externas con bloque de concreto el material predominante (42,40%), seguido de paredes de madera (14,30%), ladrillo o bloque de barro (10,80%), piedra cantera (10,30%) y adobe/taquezal (8,40%) [12]. Lo anteriormente, destaca la importancia que tiene la construcción de viviendas y de manera especial, las elaboradas de concreto.

Cuadro 1. Viviendas finalizadas por año.

Año	Managua	Resto de ciudades	Total
2002	1808,00	2120,00	3928,00
2003	1617,00	1758,00	3375,00
2004	1508,00	1302,00	2810,00
2005	1227,00	1490,00	2717,00
2006	3090,00	1997,00	5087,00
2007	2011,00	1913,00	3924,00
2008	1872,00	1485,00	3357,00
2009	1278,00	1164,00	2442,00
2010	1694,00	1186,00	2880,00
2011	3122,00	1106,00	4228,00
2012	4924,00	1586,00	6510,00
2013	4728,00	1994,00	6722,00
2014	4356,00	1788,00	6144,00
2015	5972,00	1866,00	7838,00
2016	3388,00	1648,00	5036,00
2017	3230,00	1508,00	4738,00
2018	1801,00	1307,00	3108,00
2019	1321,00	788,00	2109,00
Total	48947,00	28006,00	76953,00

Fuente: [11]

Para el desarrollo de este trabajo, se recolectaron datos disponibles en el Sistema de Bibliotecas de la Universidad Nacional de Ingeniería [13], sobre la caracterización de agregados y cemento, control de calidad y valores de resistencia a la compresión del concreto de tesis realizadas por estudiantes de la Facultad de Tecnología de la Construcción (FTC); información sobre el diseño de mezclas y control de calidad del concreto del proyecto de viviendas de interés social “Bismark Martínez”, para la construcción de 500,00 viviendas en Managua [14]; y el diseño de mezcla de concreto del proyecto “mejoramiento vial mediante construcción de un puente vehicular en el Barrio Enrique Smith y Ciudadela Nicaragua” [15]. Se incluyeron, además, los datos y resultados sobre la elaboración de concreto realizado por Hernández [16]. Todos, con el propósito determinar el grado de asociación de las variables en estudio.

Se identificaron algunos factores que afectan la calidad del concreto tales como: la relación agua/cemento (a/c), relación cemento/agregado (c/a), volumen de pasta de cemento (vp) y la relación agregado grueso/agregado fino (g/f).

Resultados

En el Cuadro 2 se resumen los resultados de la caracterización de los cementos empleados en la elaboración de concreto, siendo el tipo GU (uso general) el mayormente utilizado.

Se observa que el valor del peso específico y tiempos de fraguado de estos cementos (GU) es variado. El menor valor de peso específico fue de 2,81 gr/cm³ y el mayor de 3,17 gr/cm³. Para el caso del cemento tipo HE, la gravedad específica fue de 3,09 gr/cm³ y 3,17 gr/cm³. De acuerdo con la norma ASTM C 1157 [17], todos los cementos cumplen con requerimientos físicos indicados.

Cuadro 2. Caracterización de cementos.

Tesis	Tipo de cemento	Peso específico (gr/cm ³)	Tiempo de fraguado inicial (min)	Tiempo de fraguado final (min)
<i>Aragón Gutiérrez (2017) [21]</i>	Cemex GU	3,15	115,75	256,00
	Cemex plus 5000 (HE)	3,17	130,33	195,00
<i>Barrantes Maradiaga y Mora Molina [22]</i>	Cemex GU	2,90	111,00	406,00
	Cemex GU (Fabricante)	2,85	200,00	295,00
<i>Areas Alegría y Rivera Guido [23]</i>	Cemex GU	2,92	98,00	240,00
<i>Espinosa Pérez y López Antón [24]</i>	Holcim GU	2,94	-	-
<i>Rivas Vega y Rivera Martínez [25]</i>	Cemex GU	3,14	140,00	270,00
<i>Zamora Torrez y Méndez Bonilla [18]</i>	Cemex GU	3,17	125,00	255,00
<i>CYCSA [14]</i>	Cemex GU	2,81	-	-
<i>CYM [15]</i>	Cemex Plus 500 (HE)	3,09	-	-

En el Cuadro 3 se describen las propiedades físicas del agregado fino. Se observa que el banco de préstamo predominante es el cerro Motastepe ubicado en Managua, con valores de gravedad específica entre 2,38 y 2,63, y porcentaje de absorción entre 1,70% y 6,66%. Con respecto al resto de bancos, el valor de gravedad específica varía entre 1,58 y 3,26, mientras que el porcentaje de absorción de agua entre 0,34% y 21,5%.

De acuerdo con lo indicado en la norma ASTM C 33 [17], el módulo de finura (M.F) de la arena debe comprender valores superiores a 2,30 y menores a 3,10. Se observa que en los muestreos de arena Motastepe, de Zamora Torrez y Méndez Bonilla [18], y Obando Carrasco y Romero Sandino [19], presentan un M.F dentro de los parámetros indicados en la norma. Los del resto de muestras Motastepe, son superiores al máximo indicado, por lo tanto, son considerados como arena gruesa [20]. Para el caso de los bancos Miraflores y Los Martínez ubicados en Managua, los valores del MF son de 2,75 y 2,71, respectivamente, encontrándose dentro de los parámetros indicados en la norma.

Cuadro 3. Propiedades físicas del agregado fino.

Propiedades	Aragón Gutiérrez [21]		Barrantes Maradiaga y Mora Molina [22]	Areas Alegría y Rivera Guido [23]			Lanuza Bucardo et al., [26]	Loaisiga López y Zepeda Hernández [27]		Roque Altamirano y Medrano Ruiz, [28]
	San Cristóbal	Agrenic	Motastepe	Miraflores	Los Martínez	Motastepe	Rio Macuelizo	Arena de escoria volcánica	Arena de pomez	Material cero (Estelí)
Densidad volumétrica (kg/m³)	1763,50	1790,97	1554,00	1603,49	1648,92	1408,31	1619,00	1090,00	688,00	1501,32
Gravedad específica	2,94	2,90	2,38	2,80	2,68	2,63	2,46	2,44	1,58	2,29
Absorción de agua (%)	1,39	1,20	6,66	1,82	3,69	1,70	4,13	4,44	21,50	8,74
Módulo de finura (MF)	3,10	2,94	3,40	2,75	2,71	3,18	2,45	-	-	-

Propiedades	Montalván Castillo y Lindo O'connors [29]			Salazar Sequeira y Largaespada Obando	Tórrez Bellorín y Zamora Herrera [31]			Obando Carrasco y Romero Sandino [19]	Zamora Torrez y Méndez Bonilla [18]	CYCSA [14]	CYM [15]
	Concreto rojo Xiloá	Concreto rojo Sub Urbana	Concreto rojo El Varillal	Material "0" (Agrenic)	Arroyo	Matadero	San Caralampio	Motastepe	Motastepe	Motastepe	Material "0" Proinco
Densidad volumétrica (kg/m³)	1150,47	1253,19	1191,54	1680,00	1367,54	1618,20	1435,31	1528,00	1410,00	1517,00	1841,00
Gravedad específica	2,45	2,47	2,37	3,26	2,12	2,44	2,51	2,53	2,52	2,63	2,85
Absorción de agua (%)	3,17	5,62	3,10	0,34	5,13	2,01	2,77	5,75	5,50	2,17	3,09
Módulo de finura (MF)	-	-	-	3,08	2,38	2,55	2,45	2,94	3,03	3,35	3,03

En el Cuadro 4 se muestran las propiedades físicas del agregado grueso. El banco de préstamo más usado fue el Proinco, con TMA de 12,50 mm y 19,00 mm. El menor valor de gravedad específica obtenido fue de 2,64 (1/2" Proinco) y el mayor de 2,91 (3/8" Agrenic). Con respecto al porcentaje de absorción de agua, el menor valor obtenido fue de 1,71% (3/8" Agrenic) y el mayor de 2,57% (1/2" Proinco).

Cuadro 4. Propiedades físicas del agregado grueso.

Propiedades	Barrantes Maradiaga y Mora Molina [22]		Aragón Gutiérrez [21]		Espinosa Pérez y López Antón [24]	Areas Alegría y Rivera Guido [23]	Rivas Vega y Rivera Martínez [25]	Obando Carrasco y Romero Sandino [19]	CYCSA [14]	CYM [15]
	Proinco 1/2"	Proinco 3/4"	San Cristóbal 3/4"	Agrenic 3/4"	Veracruz 1/2"	Proinco 3/4"	Agrenic 3/8"	Proinco 3/4	Proinco 1/2"	Proinco 1/2"
Tamaño máximo (mm)	12,50	19,00	19,00	19,05	12,50	19,00	9,50	19,00	12,50	19,00
Densidad volumétrica (kg/m³)	1453,00	1441,00	1426,18	1486,67	1631,00	1591,00	1460,00	1542,00	1360,00	1600,00
Gravedad específica	2,79	2,81	2,88	2,90	2,85	2,72	2,91	2,69	2,64	2,78
Absorción de agua (%)	2,27	1,98	1,78	2,03	1,49	1,90	1,71	1,92	2,57	1,70

En los Cuadros 5 y 6, se presentan los diseños de mezclas de los concretos elaborados. En el Cuadro 5 se detallan las proporciones de materiales para la elaboración de 1,00 m³ de concreto ordinario con relaciones agua/cemento (a/c) entre 0,55 y 0,82. Se observa que la menor cantidad de cemento empleada fue de 233,80 kg/m³ (a/c de 0,70) y la mayor de 400,00 kg/m³ (a/c de 0,56).

El mayor valor de resistencia a la compresión obtenido fue de 366,00 kg/cm², para una relación a/c de 0,56, relación cemento/agregado (c/a) de 0,22, volumen de pasta de cemento (vp) de 0,34 m³ y relación grava/arena (g/f) de 0,82. Seguido de la mezcla de concreto con 350,70 kg/cm², para una relación a/c de 0,71, c/a de 0,25, vp de 0,41 m³ y g/f de 0,96. El tercer mayor valor fue de 309,00 kg/cm², que presentó una relación a/c de 0,56, c/a de 0,19, vp de 0,32 m³ y g/f de 0,95. El cuarto mejor valor de resistencia fue de 293,00 kg/cm², para una relación a/c de 0,71, c/a de 0,23, vp de 0,41 m³ y g/f de 1,19.

Con los resultados, se realizó una correlación lineal entre variables, obteniendo:

- Volumen de pasta versus g/f, R^2 de 0,63.
- Cemento/agregado versus g/f, R^2 de 0,75.
- Volumen de pasta versus Resistencia a la compresión, R^2 de 0,41.
- Cemento/agregado versus Resistencia a la compresión, R^2 de 0,55.
- g/f versus Resistencia a la compresión, R^2 de 0,25.

Los valores indican que existe relación entre variables que afectan las propiedades del concreto, principalmente en c/a y g/f. Se observa que para valores de g/f entre 1,00 y 0,80, y de c/a mayor a 0,19, la resistencia a la compresión es mayor que 300,00 kg/cm².

En el Cuadro 6 se presentan las proporciones de mezclas de concreto permeable, elaborados únicamente con agregado grueso. El concreto permeable es un material fabricado de manera similar al concreto ordinario, pero utiliza menor cantidad de cemento con poco o sin agregado fino, permitiéndole espacios vacíos entre sus partículas. Es utilizado en zonas de estacionamientos y carreteras de poco tráfico, debido a su capacidad de drenar el agua de lluvia rápidamente al subsuelo [32].

En estos concretos se observa que la resistencia a la compresión es baja con respecto a los concretos ordinarios, presentando valores entre 85,00 kg/cm² y 141,48 kg/cm². La relación a/c utilizada comprende entre 0,32 y 0,38, la relación de c/a entre 0,28 y 0,37, y vp entre 0,28 m³ y 0,38 m³. De manera similar al concreto ordinario, se realizaron correlaciones entre las variables, obteniendo un valor de R^2 de 0,87 para vp versus c/a. El resto de correlaciones presentaron valores de R^2 menores a 0,31.

Estos valores indican que la relación entre el contenido de cemento y agregado, juega un papel importante en el diseño y propiedades de estos concretos.

Con el propósito de ampliar el conocimiento sobre los factores que influyen en la resistencia a la compresión, se evaluaron los diseños de mezclas y resultados del trabajo realizado por Hernández [33] (Cuadro 7). Elaboró mezclas de concreto empleando cemento tipo GU de dos fabricantes (C1 y C2), dos relaciones a/c (0,45 y 0,50) y dos tamaños de agregados (1/2" y 3/4") con dos calidades (A y B). Se observa que las mezclas con los mayores valores de resistencia a la compresión fueron los concretos con a/c de 0,45, agregado de 3/4" y cemento C1. En estas mezclas, la relación c/a y g/f es la misma, mientras que el volumen de pasta es similar.

La diferencia observada en los valores de resistencia se debe principalmente por la relación a/c empleada y el tipo de cemento (fabricante).

Cuadro 5. Proporciones para la elaboración de 1 m³ de mezcla de concreto, y propiedades en estado fresco y endurecido.

Mezcla de Concreto	Aragón Gutiérrez, [21] HE (San Cristóbal) ¾"	Aragón Gutiérrez [21] GU (San Cristóbal) ¾"	Barrantes Maradiaga Mora Molina [22] (Motastepe) ¾"	Areas Alegría y Rivera Guido [23] (Motastepe) GU	Areas Alegría y Rivera Guido [23] (Miraflores) GU	Areas Alegría y Rivera Guido [23] (Los Martínez) GU	Obando Carrasco y Romero Sandino [19] (ACI) GU (Motastepe) ¾"	Obando Carrasco y Romero Sandino [19] (WALKER) GU (Motastepe) ¾"	Obando Carrasco y Romero Sandino [19] (M.F) GU (Motastepe) ¾"
<i>a/c</i>	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,72	0,71	0,71
<i>Grava (kg)</i>	932,49	992,57	781,00	922,78	986,42	1002,33	894,78	953,30	912,18
<i>Arena (kg)</i>	982,31	832,46	955,00	765,33	748,00	702,16	782,00	727,62	765,32
<i>Cemento (kg)</i>	366,07	400,00	383,00	391,30	391,30	391,30	387,09	387,09	387,09
<i>Agua (kg)</i>	205,00	223,36	213,00	216,00	248,35	260,81	278,08	276,13	276,00
<i>Revenimiento (cm)</i>	8,51	10,16	8,25	7,62	8,89	8,89	9,52	9,52	7,62
<i>Temperatura (°C)</i>	32,50	35,70	33,40	-	-	-	-	-	-
<i>Peso volumétrico (kg/cm³)</i>	2454,90	2521,24	2332,00	-	-	-	-	-	-
<i>Curado (días)</i>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	-	-	-
<i>Cemento/agregado</i>	0,19	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
<i>Volumen de pasta (m³)</i>	0,32	0,35	0,34	0,35	0,38	0,39	0,41	0,41	0,41
<i>g/f</i>	0,95	1,20	0,82	1,21	1,32	1,43	1,14	1,31	1,19
<i>Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm²)</i>	309,43	242,44	366,00	216,21	211,17	180,13	239,00	275,25	293,00

Mezcla de Concreto	Obando Carrasco y Romero Sandino [19] (FULLER) GU (Motastepe) ¾"	Rivas Vega y Rivera Martínez [25] (1:3:2) GU	Rivas Vega y Rivera Martínez [25] (1:3:2) GU	Rivas Vega y Rivera Martínez [25] (1:5:2) GU	Rivas Vega y Rivera Martínez [25] (1:5:2) GU	Rivas Vega y Rivera Martínez [25] (1:2:2) GU	CYCSA [14] GU (Motastepe) ¾"	CYCSA [14] GU (Motastepe) ¾"	CYM [15] HE
<i>a/c</i>	0,76	0,70	0,60	0,70	0,60	0,60	0,82	0,71	0,64
<i>Grava (kg)</i>	883,39	735,60	800,29	604,15	618,61	938,03	728,01	734,53	677,00
<i>Arena (kg)</i>	798,49	1121,90	1193,85	1502,09	1538,05	932,89	930,72	765,30	1352,00
<i>Cemento (kg)</i>	362,00	287,10	309,70	233,80	239,39	363,01	361,33	382,30	290,00
<i>Agua (kg)</i>	276,44	207,00	185,80	163,70	143,60	217,80	296,17	273,08	187,00
<i>Revenimiento (cm)</i>	9,52	-	-	-	-	-	16,51	13,33	15,24
<i>Temperatura (°C)</i>	-	-	-	-	-	-	32,83	35,40	-
<i>Peso volumétrico (kg/cm³)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Curado (días)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cemento/agregado</i>	0,22	0,15	0,16	0,11	0,11	0,19	0,22	0,25	0,14
<i>Volumen de pasta (m³)</i>	0,40	0,30	0,29	0,24	0,23	0,34	0,42	0,41	0,28
<i>g/f</i>	1,11	0,66	0,67	0,40	0,40	1,00	0,78	0,96	0,50
<i>Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm²)</i>	279,80	125,43	132,25	89,71	58,14	158,82	194,25	350,70	210,00

Cuadro 6. Proporciones para la elaboración de 1 m³ de mezcla de concreto, y propiedades en estado fresco y endurecido.

Mezcla de Concreto	Espinoza Pérez y López Antón [24] (0.32-18% vacíos) GU	Espinoza Pérez y López Antón [24] (0.32- 20% vacíos) GU	Espinoza Pérez y López Antón [24] (0.35-18% vacíos) GU	Espinoza Pérez y López Antón [24] (0.35-20% vacíos) GU	Espinoza Pérez y López Antón [24] (0.38-18% vacíos) GU	Espinoza Pérez y López Antón [24] (0.38-20% vacíos) GU	Espinoza Pérez y López Antón [24] (0.38-18 R% vacíos) GU
<i>a/c</i>	0,32	0,32	0,35	0,35	0,38	0,38	0,38
<i>Grava 1/2" (kg)</i>	1556,10	1499,10	1521,90	1464,90	1484,85	1427,85	1332,40
<i>Arena (kg)</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cemento (kg)</i>	430,00	430,00	430,00	430,00	430,00	430,00	510,00
<i>Agua (kg)</i>	137,60	137,60	150,50	150,50	163,40	163,40	193,80
<i>Revenimiento (cm)</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Temperatura (°C)</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peso volumétrico (kg/cm³)</i>	2106,48	2063,88	2102,27	2042,27	2068,92	2021,03	2031,37
<i>Curado (días)</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cemento/Agregado</i>	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,31	0,37
<i>Volumen de pasta (m³)</i>	0,29	0,29	0,28	0,29	0,29	0,30	0,38
<i>g/f</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm²)</i>	121,36	85,00	130,70	122,00	141,48	126,75	141,48

Cuadro 7. Proporciones para la elaboración de 1 m³ de mezcla de concreto, y propiedades en estado fresco y endurecido.

Mezcla de Concreto	C1-1/2A	C1-1/2B	C2-1/2A	C2- 1/2B	C1-3/4A	C1-3/4B	C2-3/4A	C2-3/4B
<i>a/c</i>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45	0,45	0,45
<i>Grava (kg)</i>	867,00	867,00	867,00	867,00	886,00	886,00	886,00	886,00
<i>Arena (kg)</i>	715,00	715,00	715,00	715,00	734,00	734,00	734,00	734,00
<i>Cemento (kg)</i>	517,00	517,00	517,00	517,00	535,00	535,00	535,00	535,00
<i>Agua (kg)</i>	263,00	263,00	263,00	263,00	242,00	242,00	242,00	242,00
<i>Revenimiento (cm)</i>	20,90	19,90	17,00	22,10	11,00	8,00	17,20	13,60
<i>Temperatura (°C)</i>	34,00	34,00	34,50	34,00	36,00	34,00	34,00	34,50
<i>Peso volumétrico (kg/cm³)</i>	2317,00	2300,00	2325,00	2279,00	2324,00	2295,00	2334,00	2303,00
<i>Cemento/agregado</i>	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
<i>Volumen de pasta (m³)</i>	0,44	0,44	0,44	0,44	0,43	0,43	0,43	0,43
<i>Grava/arena (g/f)</i>	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
<i>Resistencia a la compresión a 180 días (kg/cm²)</i>	419,64	402,81	411,40	326,07	442,70	503,78	400,74	401,71

Fuente: [16]

Discusión

De los principales resultados de resistencia a la compresión del concreto ordinario (Cuadro 5), se determinó que el tipo de cemento más empleado es el GU y el banco de arena, el Mostastepe. Las propiedades físicas evaluadas de este árido, indican que es una arena gruesa y absorbente. Con respecto al agregado grueso, los mejores resultados de resistencia se obtuvieron con grava de tamaño máximo de 3/4" (19.0 mm), similar a lo observado en los concretos de Hernández [16].

Con respecto a la relación a/c, los dos valores más altos de resistencia a la compresión se obtuvieron de mezclas con relaciones de 0,56 (366,00 kg/cm²) y 0,71 (350,70 kg/cm²). Para el caso de los concretos con la menor relación a/c (0,55), la resistencia a la compresión fue baja (180,13 kg/cm²) en comparación con el valor más alto obtenido; esto, a pesar de que la diferencia entre relaciones a/c es de 0,01. Al respecto, Mehta y Monteiro [1], indican que, aunque la relación a/c es importante para determinar la porosidad de la matriz cementante y zona de transición interfacial, y así lograr la resistencia a la compresión deseada, hay otros factores de importancia que la afectan, tales como: condiciones de curado, tipo de agregado y granulometría, tipo de aditivos, geometría, condiciones de humedad, tipos de esfuerzos, etc.

Los factores más importantes identificados que influyen en la resistencia del concreto fueron: la relación agua/cemento (a/c), cemento/agregado (c/a) y agregado grueso/agregado fino (g/f). Es decir, que, para garantizar una resistencia a la compresión superior a 210,00 kg/cm², para usarse en losas, zapatas, columnas y vigas, según La nueva cartilla de la construcción de Nicaragua [9], se debería emplear una relación c/a mayor a 0,20, una relación a/c que garantice un volumen de pasta mayor a 0,32 m³ y una relación g/f entre 0,80 y 1,20.

Conclusiones

De la revisión documental se derivaron aspectos importantes a considerar en la elaboración de concreto, especialmente para la construcción de viviendas que cumplan con los requerimientos de calidad indicados en las normativas vigentes. Entre ellos: la procedencia de los agregados y sus propiedades, tipo de cemento, el proporcionamiento de los materiales y el curado.

Los dos tipos de cementos (GU y HE) usados, cumplen con los requerimientos físicos indicados en la normativa vigente. Siendo el fraguado final del cemento tipo HE, menor que el tipo GU. Para el caso de los concretos con igual proporción de mezcla, y elaborados con cementos tipo GU de dos fabricantes (C1 y C2), fue notable la mayor resistencia a la compresión alcanzada por los concretos con cemento C1 en comparación con los C2. Denotando así, la importancia de conocer las propiedades físicas y composición química del cemento, al momento de realizar el diseño de mezcla.

Para el caso de la arena, la más usada fue un tipo de arena gruesa y absorbente. Las mezclas con agregado grueso con el mayor tamaño máximo (3/4"), presentaron los mejores resultados de resistencia a la compresión. Con respecto a los ensayos de control de calidad del concreto, los más usados son: revenimiento, temperatura y resistencia a la compresión a los 28 días.

De manera general, para obtener una resistencia a la compresión deseada, se deben atender los valores indicados en los resultados para las relaciones cemento/agregado, volumen de pasta y relación agregado grueso/agregado fino.

Referencias

- [1] K. P. Mehta and P. J. Monteiro, *Concrete - Microstructure, properties and materials*, 3rd ed. McGraw-Hill, 2006. doi: DOI: 10.1036/0071462899.
- [2] L. León Consuegra and C. Rodríguez García, "Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón . Estado del arte," *Rev. Arquit. e Ing.*, vol. 16, no. 3, p. 12, 2022, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo oa?id=19397295003%0APDF>
- [3] P. Kumar Mehta, "Durability - critical issues for the future," *Concr. Int.*, vol. 19, no. 7, pp. 27–33, 1997.
- [4] E. F. Hernández, "Construcción durable - Una visión de futuro para Nicaragua," *Rev. Arquit. +*, vol. 2, no. 4, pp. 8–12, 2017, doi: 10.5377/arquitectura.v2i4.9139.
- [5] E. F. Hernández, P. F. de J. Cano-Barrita, and A. A. Torres-Acosta, "Influence of cactus mucilage and marine brown algae extract on the compressive strength and durability of concrete," *Mater. Constr.*, vol. 66, no. 321, 2016, doi: 10.3989/mc.2016.07514.
- [6] MTI, "Norma Mínima de Diseño y Construcción de Concreto Estructural (CR-001)," Managua, 2017. [Online]. Available: https://biblioteca.mti.gob.ni:8080/docushare/dsweb/Get/DocumentosTecnicos-509/Norma_Minima_de_Diseño_y_Construcción_de_Concreto_Estructural.pdf
- [7] E. Arce Ruiz, Y. J. Arrechavala Molina, and C. U. Mendoza Membreño, "Fabricación de bloques usando como agregado la piedra pómez," pp. 1–188, 2009, [Online]. Available: <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/9616>
- [8] MTI, "Norma Mínima de Diseño y Construcción de Mampostería (MP-001)," 2017. [Online]. Available: https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/norma-minima-mamposteria_mti-mp-001.pdf
- [9] MTI, "Nueva cartilla de la construcción," 2014, [Online]. Available: https://biblioteca.mti.gob.ni:8080/docushare/dsweb/Get/DocumentosTecnicos-61/Nueva_Cartilla_de_la_Construcción_Cap_I.pdf
- [10] A. H. Williams Centeno and J. A. Wilson Maybit, "Manifestaciones psicosociales asociados al hacinamiento en pobladores mayores de 15 años en el barrio Fundeci, León durante el período de febrero a junio 2020," Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, 2021. [Online]. Available: <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/9215/1/247390.pdf>
- [11] BCN, "Informe de construcción privada." [Online]. Available: https://bcn.gob.ni/publicaciones/construcción_privada
- [12] INIDE, "Informe de vivienda Encuesta continua de hogares 2021-2022," Managua, 2023. [Online]. Available: https://www.inide.gob.ni/docs/Ech/ech_vivienda21_22/INFORME_DE_CARACTERISTICAS_DE LAS_VIVIENDAS_2021_2022.pdf
- [13] SIBIUNI, "Sistema de bibliotecas de la Universidad Nacional de Ingeniería." [Online]. Available: <https://ribuni.uni.edu.ni/>
- [14] CYCSA, "Diseño de mezcla de concreto," 2021.
- [15] CYM, "Diseño de mezcla," 2022.
- [16] E. F. Hernández, "Efecto del agregado grueso triturado en las propiedades del concreto," *Nexo Revista Científica*, vol. 34, no. 05. pp. 56–63, 2021. doi: 10.5377/nexo.v34i05.13109.
- [17] ASTM, "Annual Bo-of ASTM Standards, Section Four, Construction, Volume 04.2 Construction, Concrete and Aggregates." 2015.
- [18] M. M. Zamora Torrez and R. A. Méndez Bonilla, "Estudio comparativo entre las propiedades del mortero de cemento convencional y el mortero de cemento con aditivo RMIX111 de resistencia a compresión minima de 2000 psi al emplearlo en paneles de Covintec," Universidad Nacional de Ingeniería, 2015. [Online]. Available: <https://ribuni.uni.edu.ni/1964/>
- [19] F. R. Obando Carrasco and Y. M. Romero Sandino, "Análisis comparativo de mezclas de concreto haciendo uso de los métodos A.C.I 211, Método de Walker, Método de Fuller, y Método del Módulo de Finura de los agregados, 2019," Universidad Nacional de Ingeniería, 2020. [Online]. Available: <http://ribuni.uni.edu.ni/3521/1/94775.pdf>
- [20] S. Guerra San Martín, "Determinación de la Influencia del Módulo de Finura de la Arena sobre la Demanda de Agua, la Absorción de agua y la Resistencia a Compresión del Hormigón," Universidad de Valparaíso, 2015. [Online]. Available: https://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc1/2788/Guerra_San_Martín_Sihomara_Determinación_de_la_influencia_del_módulo_de_finura_de_la_arena_sobre_la_demanda_de_agua_la_absorción_de_agua_y_la_resistencia_a_compresión_del_hormigón.pdf?seq=1

- [21] B. V. Aragón Gutiérrez, "Estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas de mezclas de concreto de 3000 psi con aditivo RMIX S30 y mezclas de concreto de 3000 psi sin uso de aditivos," Universidad Nacional de Ingeniería, 2017. [Online]. Available: <http://ribuni.uni.edu.ni/4543/>
- [22] M. Barrantes Maradiaga and K. Mora Molina, "Análisis Comparativo Del Comportamiento Físico-Mecánico De Un Concreto Hidráulico Fabricado Con Agregados Reciclados Y Un Concreto Hidráulico Convencional," Universidad Nacional de Ingeniería, 2018. [Online]. Available: <http://ribuni.uni.edu.ni/2474/>
- [23] M. J. Áreas Alegría and M. A. Rivera Guido, "Estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino de los bancos de Motastepe, Miraflores y Los Martínez para ser utilizados en proyectos de construcción en la ciudad de Managua," Universidad Nacional de Ingeniería, 2021. [Online]. Available: <http://ribuni.uni.edu.ni/4375/>
- [24] O. R. Espinoza Pérez and E. R. López Antón, "Diseño de mezcla de concreto permeable con agregados del banco de préstamo Veracruz, cemento portland tipo GU (ASTM- C1157) y fibras de polipropileno para pavimentos rígidos," Universidad Nacional de Ingeniería, 2018. [Online]. Available: <http://ribuni.uni.edu.ni/2623/>
- [25] J. L. Rivas Vega and K. L. Rivera Martínez, "Estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de unidades de bloques de concreto con unidades de bloques de mortero," Universidad Nacional de Ingeniería, 2019. [Online]. Available: <http://ribuni.uni.edu.ni/3429/1/93757.pdf>
- [26] R. M. Lanuza Bucardo, M. B. Betanco Gadea, and C. J. Parrilla Torres, "Estudio y fabricación de ladrillo reciclado," Universidad Nacional de Ingeniería, 2021. [Online]. Available: <http://ribuni.uni.edu.ni/4032/1/95462.pdf>
- [27] G. A. Loaisiga López and J. M. Zepeda Hernández, "Análisis comparativo técnico-económico de unidades de bloques empleando mezcla de agregados de arena pómex y arena de escoria volcánica color roja, con unidades de bloque de agregados de peso normal," Universidad Naciona de Ingeniería, 2013. [Online]. Available: <http://ribuni.uni.edu.ni/1373/1/39716.pdf>
- [28] H. M. Roque Altamirano and J. M. Medrano Ruiz, "Estudio de viabilidad técnica y económica del bioconcreto a base de cascarilla de café en la fabricación de bloques," Universidad Nacional de Ingeniería, 2015. [Online]. Available: <http://ribuni.uni.edu.ni/3483/1/90004.pdf>
- [29] A. C. Montalván Castillo and S. I. Lindo O'connors, "Estudio Técnico – Económico Comparativo de la Elaboración de Bloques de Peso Normal con Bloques Fabricados a Base de Hormigón Rojo," Universidad Nacional de Ingeniería, 2013. [Online]. Available: <https://ribuni.uni.edu.ni/3485/>
- [30] J. C. Salazar Sequeira and M. S. Largaespada Obando, "Estudio y revisión de control de calidad de bloques de concreto elaborados en 5 fabricas semi-industriales en la ciudad de Managua," Universidad Nacional de Ingeniería, 2021. [Online]. Available: <http://ribuni.uni.edu.ni/4163/1/96062.PDF>
- [31] C. M. Tórrez Bellorín and C. J. Zamora Herrera, "Análisis comparativo de las propiedades físico y mecánico, de los agregados finos de bancos de materiales ubicados en el municipio de Nandaime utilizando como arena patrón el banco de materiales de Motastepe," Universidad Nacional del Ingeniería, 2020. [Online]. Available: <http://ribuni.uni.edu.ni/3891/1/95272.pdf>
- [32] O. Patiño, "El concreto permeable: uso y estándares," *Mente Mater.*, vol. 4, pp. 22–23, 2013, [Online]. Available: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/mente-y-materia/article/view/339/pdf>
- [33] E. F. Hernández, "Efecto del agregado grueso triturado en las propiedades del concreto," *Nexo Rev. Científica*, vol. 34, no. 05, pp. 56–63, 2021, doi: 10.5377/nexo.v34i05.13109.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.