

Dirección de Área de Conocimiento Industria y Producción

“Caracterizar las propiedades mecánicas y térmicas de los bloques de concreto utilizados en la construcción, para evaluar su influencia en la eficiencia energética de las viviendas en la ciudad de Managua”.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Elaborado por:

Br. Jostin Josué
Chavarría Gómez
Carnet: 2019-0255U

Br. Rafh Joe
Martínez Jirón
Carnet: 2019-0349U

Tutor:

MSc. Eddy Antonio
Blandón Morales

Dedicatoria.

Jostin Josué Chavarría Gómez.

Dedico esta monografía a mi mamá y a mi abuela, por su apoyo incondicional y por apoyarme de manera absoluta, su confianza en mí a lo largo de mi vida ha sido clave para lograr mis metas tanto académicas como personales. A Dios, siempre presente en mi vida, por guiar mi camino en todos los momentos de mi vida. A mis compañeros de carrera, quienes me acompañaron durante estos años y me ofrecieron su amistad y consejo; por último, a mi compañero de tesis, quién ha sido de gran apoyo durante este proceso.

Rafh Joe Martínez Jirón.

Dedico esta monografía a mis padres, quienes han sido mis principales pilares de apoyo en esta travesía académica, gracias por su amor incondicional, por su constante confianza en mí y por ser el faro que me ha guiado en cada paso de mi formación. A los docentes que, con su dedicación y pasión, me han enseñado lo esencial para convertirme en un verdadero ingeniero; por último, a mis amigos y compañeros, gracias por compartir conmigo no solo las dudas y los desafíos, sino también las victorias, las noches largas y los momentos de aliento, es un honor tenerlos a mi lado.

Agradecimientos.

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido pilares fundamentales en la realización de esta monografía. Agradecemos especialmente a nuestros familiares, amigos, docentes y profesionales, cuya valiosa colaboración y apoyo incondicional han sido esenciales a lo largo de este proceso.

Agradecemos al personal directivo y administrativo de la Universidad Nacional de Ingeniería, con especial énfasis en los miembros del Área del Conocimiento Industria y Producción, quienes brindaron su apoyo invaluable en los aspectos económicos, académicos y profesionales a lo largo de las distintas etapas de esta investigación, al personal de los diversos laboratorios por su asesoramiento y guía en la realización de las pruebas y ensayos, así como a todos los demás colaboradores que hicieron posible llevar a cabo esta monografía.

Al ingeniero Eddy Blandón, quien nos acompañó desde el inicio de esta investigación, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento por sus conocimientos, su apoyo, su dirección y los valiosos consejos que nos brindó a lo largo de este proceso, por su paciencia y motivación de seguir adelante sin importar los obstáculos que surgieron. Este logro no habría sido posible sin su dedicación.

Finalmente, nos gustaría reconocer a nuestras familias, quienes, con su paciencia y comprensión, han sido un pilar fundamental para nuestro éxito. Su fe en nuestras capacidades y destrezas han sido claves para alcanzar nuestras metas, y completar cada etapa de este proceso hacia convertirnos en ingenieros mecánicos.

Resumen.

El presente trabajo monográfico, desarrollado en colaboración con el Área de Conocimiento de Industria y Producción, tiene como objetivo determinar las propiedades térmicas y mecánicas, de bloques de concretos fabricados en la ciudad de Managua.

Para su elaboración se realizaron ensayos de laboratorio en treinta piezas de bloques de concreto, elaborados de forma industrial y artesanal, en tres diferentes fábricas ubicadas en la ciudad de Managua. Los ensayos tienen como propósito determinar las características geométricas, resistencia a la compresión, porcentaje de absorción y conductividad térmica, para establecer una correlación entre las propiedades mecánicas y térmica.

Los resultados de la resistencia a la compresión indican que sólo los bloques de tamaño nominal 40cmx20cmx15cm procedentes de CEDESA cumplen con la resistencia mínima de 12MPa requerida para la categoría BE-1, según la norma NTON. Para el caso de los bloques de tamaño nominal 40cmx20cmx20cm fabricados por AGRENIC y CEDESA, junto con los de tamaño 40cmx20cmx15cm de HOWARD presentaron valores superiores al valor mínimo de 8MPa, para la categoría BE-2. En contraste, los bloques de tamaño nominal 40cmx20cmx15cm de AGRENIC no alcanzaron de los requisitos mínimos de los bloques estructurales BE-1 y BE-2, siendo considerados como bloques de tipo no estructural.

Respecto a la absorción de agua, los bloques presentaron valores entre 4.71% y 7.97%, evidenciando variaciones asociadas a la porosidad y al grado de compactación alcanzado durante la fabricación. Los resultados muestran que los bloques con menor absorción, como los de CEDESA de tamaño nominal 40cmx20cmx15cm, tienden a presentar mayores resistencias a la compresión, mientras que aquellos con absorciones más elevadas, como los de AGRENIC del tipo 40cmx20cmx20cm registraron menores desempeños mecánicos y térmicos.

Estos hallazgos confirman la influencia de la absorción como indicador indirecto de la calidad del bloque y su relevancia en la durabilidad y eficiencia de las edificaciones.

En la caracterización térmica, los bloques de concreto obtuvieron valores de conductividad comprendidos entre 3.43 y 5.04 W/mK, mientras que en la resistencia térmica varió de 0.035 a 0.045 m^2K/W . Confirmando la influencia de la densidad, la porosidad y el espesor del material en su comportamiento frente a la transferencia de calor, lo cual resulta determinante para evaluar eficiencia energética de las viviendas en Managua.

Índice General.

1	Introducción.....	1
2	Antecedentes.....	3
3	Justificación.....	5
4	Objetivos.....	7
4.1	Objetivo General.....	7
4.2	Objetivos Específicos.....	7
5	Marco Teórico.....	8
5.1	Energía.....	8
5.2	Energía térmica.....	9
5.3	Calor.....	9
5.4	Flujo de calor.....	10
5.5	Transferencia de calor.....	10
5.6	Conductividad térmica.....	11
5.7	Ley de Fourier.....	12
5.8	Primera ley de la termodinámica.....	13
5.9	Segunda ley de la termodinámica.....	15
5.9.1	Enunciado de Kelvin – Planck.....	15
5.9.2	Enunciado de Clausiois.....	15
5.10	Tercera ley de la termodinámica.....	16
5.11	Mampostería.....	16
5.12	Bloques de concretos.....	17
5.13	Propiedades mecánicas del concreto.....	17
5.13.1	Resistencia a la compresión.....	17
5.13.2	Resistencia a la tracción.....	18
5.13.3	Absorción.....	19
5.14	Propiedades térmicas del concreto.....	20
5.14.1	Conductividad térmica.....	20
5.14.2	Resistividad térmica.....	21
5.14.3	Capacidad térmica específica.....	21
5.14.4	Absortividad térmica.....	22

5.14.5	Reflectividad térmica	22
5.14.6	Coeficiente de dilatación térmica.....	23
5.14.7	Aislamiento térmico.....	23
5.15	Equipos de ensayo.....	24
5.15.1	Instrumentos de laboratorio	24
5.15.2	Máquina de compresión.....	25
5.15.3	Instrumentos de medición dimensional	25
5.15.4	Cámara u horno climático	26
5.15.5	Balanza de precisión	27
5.16	Análisis estadístico de los resultados.....	28
5.16.1	Población.....	28
5.16.2	Muestra	29
5.16.3	Muestreo	29
5.16.4	Estadística descriptiva.....	30
5.16.5	Media de una muestra	30
5.16.6	Gráficos estadísticos	31
5.17	Impacto ambiental de la construcción.....	32
5.17.1	Emisiones de gases de efecto invernadero.....	32
5.17.2	Consumo de energía en la construcción y operación de edificios	33
5.18	Consumo energético para climatización	34
6	Diseño Metodológico.....	36
6.1	Tipo de estudio y diseño general del estudio	36
6.2	Enfoque metodológico	37
6.2.1	Normativas.....	38
6.3	Muestreo	39
6.3.1	Selección de muestras	39
6.3.2	Clasificación de los bloques de concreto	40
6.3.3	Dimensiones de los bloques.....	42
6.4	Evaluación de las dimensiones geométricas	42
6.4.1	Evaluación de las dimensiones en sistema americano.....	44
6.4.2	Evaluación de las dimensiones en sistema internacional.....	45

6.4.3	Clasificación de las muestras según sus dimensiones reales	47
6.5	Resistencia a la Compresión	49
6.5.1	Normativa	49
6.5.2	Instrumental del ensayo	49
6.5.3	Muestras del ensayo	51
6.5.4	Posición de las muestras	51
6.5.5	Expresión para la cuantificación de la resistencia a la compresión	52
6.5.6	Resultados de los ensayos y cálculo de resistencia a la compresión	53
6.5.7	Evaluación de la resistencia a la compresión.....	56
6.6	Porcentaje de Absorción	61
6.6.1	Normativa	61
6.6.2	Instrumental del ensayo	62
6.6.3	Muestras del ensayo	63
6.6.4	Saturación de las muestras	63
6.6.5	Secado de las muestras.....	63
6.6.6	Expresión para la cuantificación del porcentaje de absorción	63
6.6.7	Resultados de los ensayos y cálculo del porcentaje de absorción.	64
6.6.8	Evaluación del porcentaje de absorción.....	65
6.7	Coeficiente térmico	69
6.7.1	Normativa	69
6.7.2	Instrumental del ensayo.	70
6.7.3	Muestras del ensayo.....	71
6.7.4	Medición de cambios de temperatura en los bloques de concreto.....	71
6.7.5	Expresión para la cuantificación de la conductividad térmica.....	72
6.7.6	Resultados de los ensayos y cálculo del coeficiente y la resistencia térmica	73
6.7.7	Evaluación del coeficiente y la resistencia térmica	82
6.8	Relación entre las propiedades mecánicas y térmicas de los bloques de concreto	86
7	Conclusiones	89
8	Recomendaciones	90
9	Bibliografía	91
10	Anexos	94

Índice de Tablas.

Tabla 1	Determinación de la muestra según tamaño del lote.....	39
Tabla 2	Dimensiones nominales y reales de los bloques	42
Tabla 3	Medición de especímenes - Sistema Internacional	45
Tabla 4	Clasificación de las muestras por dimensiones geométricas.....	47
Tabla 5	Resultados del cálculo de área neta y la resistencia a la compresión - Sistema Americano	54
Tabla 6	Resultados del cálculo de área neta y la resistencia a la compresión - Sistema Internacional	55
Tabla 7	Valores mínimos de la resistencia a la compresión en bloques de concreto	56
Tabla 8	Resistencia a la compresión promedio bloques tipo A, fábrica AGRENIC	57
Tabla 9	Resistencia a la compresión promedio bloques tipo B, fábrica AGRENIC	57
Tabla 10	Resistencia a la compresión promedio bloques tipo B, fábrica CEDESA	58
Tabla 11	Resistencia a la compresión promedio bloques tipo A, fábrica CEDESA	58
Tabla 12	Resistencia a la compresión promedio bloques tipo a, fábrica HOWARD	59
Tabla 13	Valores máximos de absorción según tipo de bloque.....	62
Tabla 14	Resultados del cálculo del porcentaje de absorción	65
Tabla 15	Porcentaje de absorción promedio bloques tipo A, fábrica AGRENIC	66
Tabla 16	Porcentaje de absorción promedio bloques tipo A, fábrica AGRENIC	66
Tabla 17	Porcentaje de absorción promedio bloques tipo B, fábrica CEDESA	67
Tabla 18	Porcentaje de absorción promedio bloques tipo A, fábrica CEDESA	67
Tabla 19	Porcentaje de absorción promedio bloques tipo A, fábrica HOWARD	68
Tabla 20	Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 4A, fábrica AGRENIC	74
Tabla 21	Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 5A, fábrica AGRENIC	75
Tabla 22	Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 6A, fábrica AGRENIC	75
Tabla 23	Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 10B, fábrica AGRENIC	76

Tabla 24 Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 11B, fábrica AGRENIC	76
Tabla 25 Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 12B, fábrica AGRENIC	77
Tabla 26 Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 16B, fábrica CEDESA	77
Tabla 27 Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 17B, fábrica CEDESA	78
Tabla 28 Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 18B, fábrica CEDESA	78
Tabla 29 Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 22A, fábrica CEDESA	79
Tabla 30 Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 23A, fábrica CEDESA	79
Tabla 31 Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 24A, fábrica CEDESA	80
Tabla 32 Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 28A, fábrica HOWARD	80
Tabla 33 Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 29A, fábrica HOWARD	81
Tabla 34 Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 30A, fábrica HOWARD	81
Tabla 35 Valores de coeficiente y resistencia térmica para los bloques ensayados	83

Índice de Ecuaciones.

Ecuación 1	Ecuación de la Ley de Fourier	12
Ecuación 2	Ecuación básica de la primera ley de la termodinámica	14
Ecuación 3	Ecuación de la primera ley en sistemas termodinámicos.....	14
Ecuación 4	Ecuación para el cálculo de la conductividad térmica de un material	20
Ecuación 5	Ecuación para calcular el calor específico de una sustancia	22
Ecuación 6	Ecuación de la media aritmética	31
Ecuación 7	Ecuación para el cálculo de la resistencia a la compresión.....	53
Ecuación 8	Ecuación para el cálculo del área neta en bloques huecos	53
Ecuación 9	Ecuación para el cálculo del porcentaje absorción	64
Ecuación 10	Ecuación para el cálculo de la conductividad térmica	73
Ecuación 11	Ecuación para el cálculo de la resistencia térmica	73
Ecuación 12	Ecuación para el cálculo del coeficiente térmico equivalente para seis áreas delimitadas	82
Ecuación 13	Ecuación para el cálculo de la resistencia térmica equivalente para seis áreas delimitadas	83

Índice de Figuras.

Figura 1 Descripción gráfica de la ley de Fourier	13
Figura 2 Dimensiones de los bloques de concreto a evaluar	43
Figura 3 Medición de especímenes - Sistema Americano	44
Figura 4 Ensayo de la resistencia a la compresión	52
Figura 5 Representación del ensayo de la resistencia a la compresión en bloques	52
Figura 6 Representación del área neta de bloques de concretos huecos.....	53
Figura 7 Resistencia a la compresión promedio por tipo de bloque y fábrica - Sistema Americano	59
Figura 8 Resistencia a la compresión promedio por tipo de bloque y fábrica - Sistema Internacional	60
Figura 9 Porcentaje de Absorción promedio por tipo de bloque y fábrica	68
Figura 10 Representación de las seis caras para la medición de temperaturas en la cámara térmica	72
Figura 11 Coeficiente Térmico promedio por tipo de bloque y fábrica.....	84
Figura 12 Resistencia Térmica promedio por tipo de bloque y fábrica.....	84
Figura 13 Relación entre el coeficiente térmico y la resistencia a la compresión	87
Figura 14 Relación entre el coeficiente térmico y el porcentaje de absorción	87
Figura 15 Medición de las características geométricas de los especímenes.....	94
Figura 16 Medición del peso inicial de los especímenes.....	94
Figura 17 Prueba de compresión en los bloques de concreto	95
Figura 18 Estado de los bloques luego de ser sometidos a las pruebas de compresión.....	95
Figura 19 Lectura de los resultados de las pruebas de compresión	96
Figura 20 Colocación de los bloques para sumergirlos en agua.....	96
Figura 21 Sumersión completa de los bloques	97
Figura 22 Lectura del peso de los bloques luego de ser sumergidos por 24 horas	97
Figura 23 Colocación de los bloques en el horno para su posterior secado	98
Figura 24 Lectura del peso de los bloques una vez secados	98
Figura 25 Colocación del bloque de concreto en la cámara térmica	99
Figura 26 Lectura de temperaturas en las caras del bloque de concreto.....	99

1 Introducción.

La eficiencia energética en las viviendas es un tema de creciente relevancia en el contexto actual, donde la sostenibilidad y la conservación de recursos son primordiales. Uno de los factores determinantes en la eficiencia energética de una vivienda es el material empleado en la construcción de su envolvente. En el caso de Nicaragua, los bloques de concreto constituyen el principal material utilizado, alcanzando el 42.4% de las edificaciones a nivel nacional, según el Informe de características de las viviendas publicado por el INIDE (2023). Este predominio se debe a su bajo costo, disponibilidad local y facilidad de fabricación, lo que ha consolidado su uso como una práctica constructiva tradicional en el país.

De acuerdo con investigaciones existentes, el desempeño térmico de los bloques de concreto depende de factores como su densidad, porosidad, humedad y geometría (Mehta y Monteiro, 2014; Pal y Kumar, 2017). Estas características determinan la velocidad con la que el calor se transfiere a través del material, lo que influye directamente en el confort térmico de los espacios habitables. Comprender esta relación es fundamental para optimizar el diseño de edificaciones y viviendas en climas cálidos.

En la presente investigación se plantea la caracterización de las propiedades mecánicas y térmicas de bloques de concreto producidos en la ciudad de Managua, con el objetivo de establecer su influencia energética en las viviendas. Este análisis evaluó factores clave como la resistencia a la compresión, el porcentaje de absorción de agua y la conductividad térmica, siendo esta última especialmente relevante para comprender su comportamiento frente al calor.

En esta investigación se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a un total de treinta bloques de concreto, elaborados tanto de forma industrial como artesanal, en tres fábricas locales ubicadas en ciudad de Managua.

El análisis busca identificar diferencias físicas y mecánicas entre bloques de distintos orígenes, así como en sus procesos de fabricación, para relacionarlas con el coeficiente de conductividad térmica y evaluar el cumplimiento con las normativas nacionales vigentes. Además, se pretende generar evidencia que contribuya al diseño estratégico de viviendas orientado a mejorar el confort térmico de las edificaciones.

2 Antecedentes.

El interés por reducir el consumo energético en las edificaciones ha permitido que en países desarrollados sea de mucha utilidad el investigar y conocer los valores de resistencia térmica de los materiales utilizado en la construcción, y cómo ellos influyen en el efecto de aislamiento térmico (Bustamante, 2009). La energía demandada para climatizar una vivienda depende principalmente de la ganancia o pérdida de calor de dicha vivienda. Edificaciones con materiales de baja conductividad térmica – es decir, con mayor resistencia térmica – permiten un mejor aislamiento, reducen la ganancia de calor y, por lo tanto, disminuyen la necesidad de recurrir a sistemas de climatización.

A pesar de que existen múltiples estudios relacionados con los bloques de concreto y otros materiales de construcción, la mayoría de ellos se centran en analizar sus propiedades estructurales, tales como la resistencia a la compresión, la durabilidad o la capacidad de carga. Estos enfoques, si bien son fundamentales para garantizar la seguridad y estabilidad de las edificaciones, dejan de lado el análisis del comportamiento térmico de los materiales, un aspecto clave para la eficiencia energética y el confort ambiental.

En el contexto nicaragüense (condiciones climáticas), garantizar confort térmico suele implicar el uso intensivo de equipos de climatización como aires acondicionados, que representan un alto porcentaje del consumo de energía. Sin embargo, en el diseño y construcciones de viviendas, persiste una tendencia a priorizar la resistencia mecánica de los materiales, relegando el análisis de sus propiedades térmicas. Esta omisión genera ineficiencias energéticas, mayores costos de operación y un impacto ambiental negativo.

Actualmente en el país existen numerosas fábricas que producen diferentes tipos de bloques de concreto, cuyos valores de conductividad térmica y su impacto en el aislamiento de las viviendas son desconocidos. Esta situación incrementa el consumo energético, genera pérdidas económicas y produce un efecto negativo en el medioambiente.

3 Justificación.

Según la base de datos de Emisiones para la Investigación Atmosférica Global de la Unión Europea en su último reporte sobre Emisiones de Gases de efecto Invernadero, Nicaragua representó el 0.04% de las emisiones globales en 2023 y está entre los seis países más vulnerables al cambio climático de Latinoamérica y el Caribe.

El diseño y la construcción de viviendas en Nicaragua suelen priorizar la resistencia mecánica de los materiales, dejando en segundo plano el análisis térmico, práctica que resulta en un aumento del consumo energético, con pérdidas económicas y un impacto negativo en el medio ambiente (Mehta y Monteiro, 2014). A nivel nacional, en la elección de materiales para la construcción de viviendas no considera los criterios de confort térmico, debido al desconocimiento generalizado sobre estos conceptos y la atención centrada únicamente en el costo inicial de inversión (INIDE, 2023). La política energética nacional busca promover la eficiencia energética, coincidiendo con la función de la Universidad Nacional de Ingeniería en investigación en Energía y Ambiente.

Este documento se propone contribuir al ahorro energético determinando el coeficiente de conductividad térmica de los bloques de concretos empleados en obras civiles. Conocer este valor es esencial para evaluar la capacidad de los materiales de construcción para transferir calor. Un coeficiente alto, indica una mayor capacidad de transferencia de calor, lo que puede resultar en un aumento de la temperatura en los edificios y, consecuentemente, un mayor consumo de energía y trabajo en los sistemas de climatización (Bustamante, 2009). Por otro lado, los materiales con baja conductividad térmica funcionan como aislantes, lo que puede reducir el consumo energético.

La conductividad térmica es crucial en áreas como la refrigeración, ya que influye en la selección de materiales aislantes con buena resistencia térmica, lo que reduce la carga térmica para los equipos de aire acondicionado.

En Nicaragua, este aspecto se pasa por alto en el diseño y construcción de viviendas, aumentando el consumo energético y disminuyendo el confort térmico, por lo cual destaca la importancia de conocer el valor de la resistencia a la transmisión de calor de los materiales utilizados en el país, especialmente del bloque de concreto.

En el país, no existe un laboratorio para estudiar y analizar las propiedades térmicas de materiales adaptados a la realidad local, ni investigaciones que contribuyan a una base de datos sobre caracterización térmica de materiales. Esta situación genera una dependencia tecnológica de referencias internacionales que no representan fielmente los materiales locales, especialmente aquellos elaborados de manera artesanal.

4 Objetivos.

4.1 Objetivo General.

- Determinar las propiedades térmicas y mecánicas, de bloques de concreto fabricados en Managua.

4.2 Objetivos Específicos.

- Determinar las magnitudes de resistencia a la compresión y el porcentaje de absorción de los bloques de concreto.
- Calcular la conductividad térmica de los bloques de concreto.
- Establecer la correlación entre las propiedades mecánicas y térmicas de los bloques de concreto y su impacto en la eficiencia energética de las viviendas en Managua.

5 Marco Teórico.

El presente marco teórico busca establecer un sólido fundamento conceptual para abordar la problemática en estudio. Se exploraron diversas teorías, modelos y enfoques conceptuales relacionados con las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales de construcción, así como su influencia en la eficiencia energética de los edificios.

Además, se examinaron investigaciones previas relevantes que hayan abordado aspectos similares en otros contextos geográficos y culturales. Al integrar este conocimiento teórico, se pretende proporcionar una base sólida para el desarrollo y la interpretación de los resultados de la presente investigación, así como para identificar posibles áreas de mejora y aplicación práctica en el diseño y construcción de viviendas en la ciudad de Managua.

5.1 Energía

La energía es la capacidad que tienen los cuerpos para realizar trabajo, donde el trabajo se define como la aplicación de una fuerza a través de una distancia. Existen diferentes formas de energía, como la energía cinética (asociada al movimiento), la energía potencial (asociada a la posición o configuración de un sistema) y la energía térmica (asociada a la temperatura), entre otras. (Serway y Jewett, 2013; Halliday, Resnick, y Walker, 2013; Tipler y Mosca, 2008).

Es una magnitud homogénea con el trabajo, por lo que se miden en las mismas unidades; y según la forma o el sistema físico en que se manifiesta, se consideran diferentes formas de energía: térmica, mecánica, eléctrica, química, electromagnética, nuclear, luminosa, etc. Es la consecuencia de la actuación mediante interacciones o intercambios de los cuatro tipos de fuerzas fundamentales de la naturaleza: gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil.

Aunque la energía puede cambiar de forma en los procesos de conversión energética, la cantidad de energía se mantiene constante conforme con el principio de conservación de la energía que establece que la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma.

5.2 Energía térmica

La energía térmica se define como la forma de energía que un cuerpo posee debido a su temperatura. En otras palabras, está relacionada con el calor contenido en un objeto o sustancia. Esta forma de energía se origina debido a la agitación de las partículas que componen la materia a nivel molecular. A medida que las partículas se mueven más rápido y chocan entre sí, la temperatura del objeto aumenta, lo que a su vez aumenta su energía térmica. (Planas, 2009)

El origen de la energía térmica reside, por una parte, en el constante movimiento de las partículas a nivel molecular, lo cual les confiere energía cinética, que es la energía asociada al movimiento. Por otra parte, las partículas poseen una propiedad llamada carga eléctrica, según la cual interactúan de acuerdo con sus posiciones relativas. Esta contribución a la energía térmica del cuerpo es la energía potencial.

Es preciso enfatizar que la energía térmica no es una forma nueva de energía, sino la manera de referirse a la suma de las energías cinética y potencial de un sistema muy grande de partículas. La medida de esta energía es la temperatura, por eso, cuanto mayor es la temperatura de algo, más energía térmica o calorífica posee. La energía térmica es aquella que establece la temperatura de un sistema o un cuerpo. También llamada energía calorífica, aumenta o se reduce mediante la transferencia de calor (Pérez, 2023).

5.3 Calor

El calor es una forma de energía que se transfiere entre dos sistemas o cuerpos debido a una diferencia de temperatura. Esta transferencia de energía térmica ocurre espontáneamente desde

el cuerpo más caliente al más frío hasta que ambos alcanzan una temperatura de equilibrio. En términos científicos, el calor se define como la cantidad de energía transferida entre dos sistemas debido a su diferencia de temperatura. Se mide en unidades de energía, como joules (J) en el Sistema Internacional de Unidades.

En termodinámica, el calor es considerado como una forma de energía que se transfiere de manera espontánea entre distintas zonas o de un cuerpo hacia otro, la cual tiene una dirección definida por la diferencia de temperatura entre los cuerpos, se dice que el calor fluye del cuerpo más caliente al más frío en busca de un equilibrio térmico. El calor es una propiedad fundamental en la física y la ingeniería, y su comprensión es crucial para el diseño de sistemas de calefacción, refrigeración y procesos industriales (García, 2018).

5.4 Flujo de calor

El flujo de calor es la transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura entre ellos. Se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2) y es fundamental en numerosos procesos industriales, diseño de sistemas de calefacción y refrigeración, así como en el estudio de la termodinámica y la física de materiales. El flujo de calor puede ocurrir por conducción, convección o radiación (Smith, 2007).

Este fenómeno ocurre como resultado de la conducción térmica, uno de los tres principales mecanismos de transferencia de calor junto con la convección y la radiación; la dirección del flujo siempre ocurre desde una región de mayor temperatura hacia una de menor, cumpliendo la segunda ley de la termodinámica.

5.5 Transferencia de calor

La transferencia de calor es la propagación de la energía térmica de un lugar a otro. Se trata de un fenómeno físico que es analizado por la termodinámica (Pérez, 2023).

La transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico o cuando dos sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto. El proceso persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos o regiones lo suficientemente próximas, la transferencia de calor no puede ser detenida, solo puede hacerse más lenta.

A la cantidad de energía transferida de un cuerpo a otro en un determinado tiempo se le llama calor transferido. Un cuerpo puede ceder calor a otro, o bien puede absorberlo, pero el calor siempre va del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura. Las unidades de calor son las mismas que las de la energía y en el sistema internacional de medidas es el joule (J). Otras unidades de calor frecuentemente utilizadas son la caloría y el BTU .

5.6 Conductividad térmica

La conductividad térmica es una propiedad de ciertos materiales capaces de transmitir el calor, es decir, permitir el paso de la energía cinética de sus moléculas a otras sustancias adyacentes a ellos. Se trata de una magnitud intensiva, inversa a la resistividad térmica (que es la resistencia de ciertos materiales a la transmisión del calor por sus moléculas), y se refiere a cuanto calor es capaz de intercambiar con otros cuerpos (Chapman, 2015).

Esta característica implica que una materia puede pasar el calor a un cuerpo que tiene menor temperatura que él. Es un tipo de intercambio de energía interna que combina también la energía cinética y la potencial. Cuando las diferentes moléculas que forman parte de un objeto son calentadas ganan la posibilidad de moverse y de chocar entre ellas para poder transmitir la energía térmica hacia otras moléculas.

Esta propiedad sirve para poder hacer descripciones y saber la capacidad que tiene determinado material para poder transferir el calor por medio de la conducción; y ayuda a

determinar qué tipos de materiales pueden ser utilizados dependiendo del fin que se quiera alcanzar. Brindan también protección ante el calor y el fuego, en el caso de los que poseen baja conductividad.

5.7 Ley de Fourier

La Ley de Fourier de la conducción de calor establece que la cantidad de calor que se transfiere a través de un material es proporcional al gradiente de temperatura y a la superficie a través de la cual se transfiere. En otras palabras, la tasa de transferencia de calor es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre dos puntos y a la conductividad térmica del material

Para Latif Jiji, en su libro sobre conducción de calor (Heat Conduction) publicado en 2009, la conducción térmica está determinada por la ley de Fourier, que establece que el flujo de transferencia de calor por conducción en un medio isótropo es proporcional y de sentido contrario al gradiente de temperatura en esa dirección.

La Ley de Fourier se puede expresar matemáticamente como:

Ecuación 1

Ecuación de la Ley de Fourier

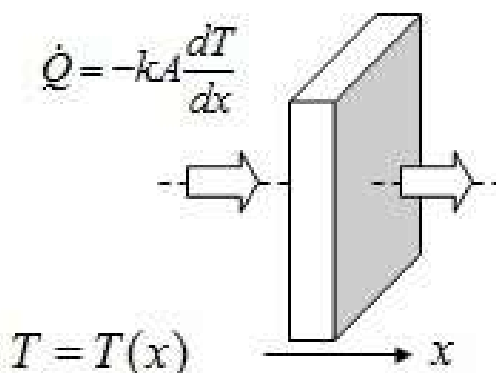
$$Q = -kA \left(\frac{dT}{dx} \right) \quad [W]$$

En donde Q representa la tasa de transferencia de calor en el material, medida en Watts (W) (la cantidad de energía térmica que fluye por unidad de tiempo debido a la conducción), k es la conductividad térmica del material, medida en $W/(m * K)$, caracterizando la capacidad de un material para conducir calor, A corresponde al área de la sección transversal, perpendicular al flujo de calor y medida en metros cuadrados (m^2), y dT/dx es el gradiente de temperatura en la

dirección del flujo de calor, expresado en K/m y representa el cambio de temperatura por unidad de distancia en el material.

Figura 1

Descripción gráfica de la ley de Fourier



Nota. Extraído de iStockphoto.

5.8 Primera ley de la termodinámica

Según Smith, Van Ness, Abbot y García en su libro de Introducción a la termodinámica en ingeniería química (2015), la generalización de la ley de conservación de la energía mecánica puede extenderse a otras formas de energías, de este postulado surge lo que hoy se conoce como la primera ley de la termodinámica, planteando lo siguiente:

“Aunque la energía tome muchas formas, la cantidad total de energía es constante, y cuando la energía desaparece en una forma, aparece simultáneamente en otras formas”.

Esta ley también es conocida como el principio de conservación de la energía, estableciendo que la energía no puede ser creada ni destruida, solo transformada o transferida; determina que la energía interna de un sistema aumenta cuando se le transfiere calor o se realiza un trabajo sobre él. Al aplicar la primera ley sobre un proceso dado, la esfera de influencia del proceso se divide en dos partes, el sistema y sus alrededores.

La parte donde se lleva a cabo el proceso es la que se considera el sistema; y todo aquello con lo que el sistema interactúa es llamado los alrededores. En su forma más básica, la primera ley puede escribirse como:

Ecuación 2

Ecuación básica de la primera ley de la termodinámica

$$\Delta_{Energía\ del\ Sistema} + \Delta_{Energía\ de\ los\ alrededores} = 0$$

Donde el operador de diferencia Δ significa cambios finitos en las cantidades de energías de las partes del proceso. Los cambios en el sistema pueden darse en su energía interna, en su energía potencial o cinética y en la energía potencial o cinética de sus partes finitas.

La primera ley de la termodinámica determina que la energía interna de un sistema aumenta cuando se le transfiere calor o se realiza un trabajo sobre él; siempre que se mantenga constante la energía interna de un sistema es posible transformar el trabajo en calor.

Ecuación 3

Ecuación de la primera ley en sistemas termodinámicos

$$\Delta U = Q \pm W \quad [J]$$

Donde ΔU representa el incremento de energía interna del sistema, cuya unidad de medida en el sistema internacional es el Joule (J), el calor intercambio por el sistema con el entorno es descrito por Q , y el trabajo intercambiado por el sistema con el entorno es expresado por W .

La naturaleza impone una dirección en los procesos según la cual es posible transformar todo el trabajo de un sistema en calor, pero es imposible transformar todo el calor que tiene en trabajo; Es por ello por lo que resulta necesaria una segunda ley que establezca esta restricción que observamos en la naturaleza.

5.9 Segunda ley de la termodinámica

La termodinámica trata las transformaciones de la energía y sus leyes describen los límites dentro de los cuales se observa que ocurren dichas transformaciones. La primera ley establece que la energía se conserva en cualquier proceso y no impone ninguna restricción con respecto a la dirección en la que ocurre éste. Sin embargo, la experiencia indica la existencia de esta restricción, cuya formulación completa los fundamentos de la termodinámica y cuya expresión concisa constituye la segunda ley (Smith, Van Ness, Abbot y García, 2015).

El calor y el trabajo son dos formas de energía que, aunque equivalentes en términos de unidades físicas (joules), difieren en su calidad y utilidad. Estas diferencias son fundamentales para comprender la segunda ley de la termodinámica y se reflejan en su comportamiento durante los procesos de conversión de energía.

En resumen, aunque el calor y el trabajo son iguales en términos de cantidad de energía, difieren significativamente en calidad. Esta diferencia se traduce en la capacidad limitada del calor para realizar trabajo eficiente, mientras que el trabajo puede ser convertido fácilmente en otras formas de energía con altos niveles de eficiencia.

Las observaciones descritas anteriormente son resultado de la restricción impuesta por la segunda ley a las direcciones en las que ocurren los procesos reales. Es posible formular muchos enunciados que describan esta restricción y que, por tanto, sirvan como enunciados de la segunda ley. Dos de los más comunes son:

5.9.1 Enunciado de Kelvin – Planck.

No es posible un proceso cuyo único resultado sea la absorción de calor procedente de un foco y la conversión de este calor en trabajo.

5.9.2 Enunciado de Clausius.

No es posible un proceso cuyo único resultado sea la transferencia de calor de un cuerpo de menor temperatura a otro de mayor temperatura.

5.10 Tercera ley de la termodinámica

El tercer principio de termodinámica, más adecuadamente postulado de Nernst, afirma que no se puede alcanzar el cero absoluto en un número finito de etapas, plantea que la entropía de un sistema que sea llevado al cero absoluto, será una constante definida. Al llegar al cero absoluto (en unidades de Kelvin), los procesos de los sistemas físicos se detienen, y la entropía posee un valor mínimo constante.

En términos simples, el tercer principio indica que la entropía de una sustancia pura y cristalina en el cero absoluto es nula. Por consiguiente, el tercer principio provee de un punto de referencia absoluto para la determinación de la entropía. La entropía relativa a este punto es la entropía absoluta (Callen, 1985).

5.11 Mampostería

La mampostería es un sistema constructivo basado en la disposición manual de mampuestos que suelen emplearse sin labrar. Los elementos se ajustan sin orden en cuanto a los tamaños o las hiladas. Según J. Pérez y A. Gardey (2019), puede decirse que la mampostería se basa en la superposición de materiales.

Se trata de una técnica en la que se superponen materiales como ladrillos, bloques de concreto, chapas o rocas al momento de levantar un muro, parámetro o división. Estos materiales se van adhiriendo unos con otros por medio de una mezcla de agua, cal o cemento hasta obtener una estructura sólida.

5.12 Bloques de concretos

Un bloque de concreto es un elemento prefabricado utilizado en la construcción que se fabrica mediante la mezcla de cementos, agregados (como arena, grava o piedra triturada) y agua. Esta mezcla se vierte en moldes específicos y se deja fraguar y endurecer, creando bloques sólidos que luego se utilizan en diversas aplicaciones de construcción, como muros, paredes, divisiones, entre otros.

Los bloques de concreto pueden variar en tamaño, forma y resistencia, dependiendo de los requisitos específicos de la construcción; Están hechos de cemento, agua, grava y arena, es decir, de concreto tradicional. A esta mezcla se le pueden agregar aditivos para modificar el tiempo de curado e incrementar la resistencia a la compresión.

La mayoría de los bloques de cemento se caracterizan por un diseño que presenta huecos de diversos tamaños, los cuales tienen como función primordial el paso de los elementos de acero que conforman una construcción y de la mezcla de mortero que sirve para pegar cada uno de los elementos; Sus distintos diseños también tienen como objetivo adecuarse a las distintas partes de una obra.

Son populares debido a su durabilidad, resistencia al fuego y a los elementos, facilidad de instalación y versatilidad en el diseño arquitectónico. Para que los bloques de concreto cumplan con su función correctamente al ser utilizados en la construcción deben ser apilados y unidos con mortero, cuidando que la mezcla de este último se aplique adecuadamente.

5.13 Propiedades mecánicas del concreto

5.13.1 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de

esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , MPa y en libras por pulgada cuadrada (psi). Este valor es crítico en la ingeniería y el diseño estructural, especialmente en materiales como concreto, acero y cerámica (American Society for Testing and Materials, 2003).

La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras; se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto, o muestras de los bloques a utilizar, en una máquina de ensayo de compresión. Se calcula a la partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga.

Está influenciada por diversos factores, entre ellos, la relación agua-cemento, una menor proporción suele aumentar la resistencia al permitir una mejor hidratación del cemento, lo que genera una estructura más densa y resistente. Además, la calidad y cantidad de los materiales empleados, como agregados de buena calidad, un cemento adecuado y aditivos específicos, juegan un papel crucial en el desempeño del material. Finalmente, un proceso de curado apropiado resulta esencial para optimizar las propiedades mecánicas del hormigón.

5.13.2 Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción (o resistencia a rotura) es un valor característico para evaluar el comportamiento de resistencia. La resistencia a la tracción se define como el esfuerzo de tracción mecánico máximo, con el que se puede someter a carga una probeta. Si se supera la resistencia a la tracción, se produce la rotura del material: La absorción de fuerzas disminuye hasta que la probeta de material, finalmente, se rompe. Se determina mediante una prueba en una máquina de ensayo universal, asegurando que los resultados sean precisos y reproducibles.

Evaluar un material en términos de resistencia a la tracción o límite elástico usando unidades de tensión (Pa o psi) en lugar de fuerza (N o lbf) mejora la consistencia de los

resultados, ya que considera las variaciones en las tolerancias de grosor y ancho de las muestras preparadas. Esto permite que el cálculo de la resistencia a la tracción de cada muestra incorpore estas mediciones, garantizando mayor precisión en la evaluación.

5.13.3 Absorción

La propiedad de absorción en materiales se refiere a la capacidad de un material para absorber o retener ciertas sustancias, como líquidos, gases, o energía en forma de radiación electromagnética. Esta propiedad es crucial en diversos campos de la ingeniería, como la acústica, la ingeniería de materiales, y la ingeniería medioambiental, entre otros (Wilson, 2004).

La absorción de agua en los bloques de concreto está directamente relacionada con su porosidad, la cual es una propiedad que define la cantidad de vacíos o espacios dentro del material. Estos vacíos permiten la entrada y acumulación de agua, afectando la durabilidad y el comportamiento estructural del bloque.

Una alta porosidad puede incrementar la absorción de agua, lo que puede conducir a problemas como la formación de eflorescencias, el deterioro por ciclos de congelación y deshielo, y una mayor susceptibilidad a agentes químicos agresivos. Por ello, controlar la porosidad mediante el diseño adecuado de la mezcla y el proceso de fabricación es esencial para garantizar un buen desempeño en aplicaciones constructivas (Mehta y Monteiro, 2014).

En la construcción, la absorción de agua influye en la resistencia mecánica y la estabilidad de los bloques de concreto, especialmente en ambientes con alta humedad o exposición constante al agua. Un material excesivamente poroso puede debilitar las uniones entre los bloques y los morteros, comprometiendo la integridad de las estructuras. Además, la absorción puede alterar las propiedades térmicas y acústicas del bloque, lo que afecta el confort de los edificios. Por tanto,

evaluar y limitar la porosidad de los bloques de concreto es crucial para construir edificaciones más duraderas, seguras y funcionales.

5.14 Propiedades térmicas del concreto

5.14.1 Conductividad térmica

La conductividad térmica es una propiedad de ciertos materiales capaces de transmitir el calor, es decir, permitir el paso de la energía cinética de sus moléculas a otras sustancias adyacentes. Se trata de una magnitud intensiva, inversa a la resistividad térmica (que es la resistencia de ciertos materiales a la transmisión del calor por sus moléculas) (Coluccio, 2021).

La conductividad térmica se da a través de la agitación molecular y contacto, y no es el resultado del movimiento de masa del sólido en sí mismo. El calor avanza con un gradiente de temperatura, desde un área de alta temperatura y energía molecular a un área con temperatura menor y menor energía molecular. Esta transferencia continuará hasta que se alcance el equilibrio térmico. La velocidad a la que se transfiere el calor depende de la magnitud del gradiente de temperatura, y de las características térmicas específicas del material (Williams, 2014).

La conductividad térmica se cuantifica utilizando el sistema internacional de $W/m \cdot K$, y es el recíproco de la resistencia térmica, que mide la habilidad de un objeto para resistir la transferencia de calor. La conductividad térmica se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 4

Ecuación para el cálculo de la conductividad térmica de un material

$$k = Q * \frac{L}{A\Delta T} \quad \left[\frac{W}{mK} \right]$$

La conductividad térmica k mide la capacidad del material para transferir calor, el flujo de calor Q representa la cantidad de calor que fluye a través del material, medida en vatios (W), L es la longitud o espesor del material, expresado en metros, y A es la superficie del material por la que

fluye el calor – medida en metros cuadrados, y ΔT es el gradiente que representa la diferencia de temperatura entre dos puntos del material.

Los métodos de prueba de conductividad térmica pueden clasificarse en transitorios o de estado continuo. Esta definición es una característica determinante de cómo funciona cada método.

5.14.2 Resistividad térmica

La resistividad térmica es el recíproco de la conductividad térmica. Mientras que la conductividad térmica mide qué tan bien un material conduce el calor, la resistividad térmica mide cuánta resistencia ofrece un material al flujo de calor. Es una propiedad que indica el grado en que un material inhibe la transferencia de calor a través de él. Cuanto mayor es la resistividad térmica, más aislante es el material (Bala y Gupta, 2021).

La resistencia térmica se emplea para evaluar, principalmente, la conducción del calor a través de un material, indicando la dificultad para el calor de pasar a través del material. Cuanto mayor sea la resistencia térmica de un material, más lento será el flujo de calor a través de este. Un material con una resistencia elevada actuará como buen aislante, reduciendo la transmisión de calor entre dos medios con diferentes temperaturas.

5.14.3 Capacidad térmica específica

La capacidad calorífica específica, calor específico o capacidad térmica específica es una propiedad física que indica la cantidad de calor necesaria para cambiar la temperatura de una cantidad dada de una sustancia en una unidad de temperatura. En otras palabras, es la capacidad de una sustancia para almacenar calor y se expresa en kilojulios por kilogramo multiplicado por Kelvin. Esta propiedad es característica de cada sustancia y se utiliza para identificar materiales, siendo esencial en la selección de materiales para la construcción de hornos, calefacción, y en la evaluación del comportamiento de materiales de construcción (Universidad de La Salle, 2019).

El calor específico varía de acuerdo con el estado físico de la materia, es decir, es distinto si la materia se encuentra en estado sólido, líquido o gaseoso porque su particular estructura molecular incide en la transmisión del calor dentro del sistema de partículas. El calor específico correspondiente a una temperatura dada se define como:

Ecuación 5

Ecuación para calcular el calor específico de una sustancia

$$c = \frac{1}{m} * \frac{dQ}{dT} \quad \left[\frac{J}{kgK} \right]$$

Donde c representa el calor específico de una sustancia de masa m a una temperatura T , la transferencia de energía calorífica es determinada por dQ y dT la variación de temperatura a la cual se somete.

5.14.4 Absortividad térmica

Según la Unidad de Apoyo para el Aprendizaje de la Universidad Nacional Autónoma de México (2018), la absortividad térmica puede ser definida como la propiedad física de un material para absorber una fracción de la radiación electromagnética incidente en él. Esta propiedad determina la capacidad de un material para absorber energía térmica.

La absortividad es esencial en el estudio de la transferencia de calor y la radiación térmica, ya que influye en la cantidad de energía absorbida por un material.

5.14.5 Reflectividad térmica

La reflectividad térmica es la capacidad de un material para reflejar la radiación térmica incidente, lo que influye en su capacidad para absorber o reflejar el calor. En el contexto de la transferencia de calor, la reflectividad térmica es un factor importante que determina cómo un material interactúa con la radiación térmica.

Se puede medir mediante el coeficiente de reflexión, que varía con la temperatura, la superficie del material, la longitud de onda incidente y el ángulo de incidencia. La reflectividad térmica es esencial en aplicaciones como la construcción de edificios para controlar la transferencia de calor y la eficiencia energética.

5.14.6 Coeficiente de dilatación térmica

El coeficiente de dilatación térmica es una medida que cuantifica el cambio relativo de longitud o volumen experimentado por un cuerpo sólido o un fluido contenido en un recipiente cuando se ve expuesto a un cambio de temperatura, lo que provoca su expansión térmica (Pérez, 2006).

De forma general, durante una transferencia de calor, la energía que está almacenada en los enlaces intermoleculares o entre dos átomos cambia. Cuando la energía almacenada aumenta, también lo hace la longitud de estos enlaces.

De entre los estados de agregación de la materia estudiados, el estado sólido es el que tiene las fuerzas de cohesión más fuertes, por lo que resulta más difícil observar la dilatación que en líquidos y gases. Los sólidos normalmente se expanden al calentarse y se contraen al enfriarse; este comportamiento de respuesta ante la temperatura se expresa mediante el coeficiente de dilatación térmica.

5.14.7 Aislamiento térmico

“El aislamiento térmico es una capa que se pone normalmente en lo que se conoce como la envolvente del edificio, es decir, en todas las divisiones como la fachada, la cubierta y el forjado que están en contacto con personas. Esa envolvente es multicapas y una de ellas es lo que se llama aislamiento térmico. Su función es disminuir la temperatura del cerramiento, de tal manera que hay una cara que está en contacto con el exterior y otra con el interior.

Si se observara de manera transversal esa envolvente, se vería cómo se va produciendo un descenso de temperatura o un aumento, dependiendo de lo buscado”, explica María Teresa Cuervo Vilches, investigadora del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

El aislamiento térmico es el conjunto de materiales aislantes y técnicas constructivas cuya instalación permiten reducir la transmisión de calor entre dos espacios. Comprender qué es el aislamiento térmico y los beneficios que ofrece es uno de los primeros pasos para diseñar una vivienda más cómoda, y respetuosa con el medio ambiente, al mismo tiempo que ayuda a reducir los costos de energía.

Todos los materiales oponen resistencia, en mayor o menor medida, al paso del calor a través de ellos. Algunos, muy escasa, como los metales, por lo que se dice de ellos que son buenos conductores; los materiales de construcción como los bloques de concreto tienen una resistencia media. Aquellos materiales que ofrecen una resistencia alta, se llaman aislantes térmicos específicos o, más sencillamente, aislantes térmicos.

De este modo, durante el invierno el aislamiento térmico puede, por ejemplo, reducir la pérdida de calor, mientras que, en los meses de verano, puede evitar el aumento excesivo del mismo.

5.15 Equipos de ensayo

5.15.1 Instrumentos de laboratorio

Instrumentos de laboratorio es un término general aplicable a todos los medidores, recipientes y otras herramientas que uno pueda imaginar para realizar síntesis y análisis en el ámbito de los diversos trabajos de laboratorio. Los instrumentos de laboratorio a veces están expuestos a impactos químicos y físicos extremos, y a la vez tienen que proporcionar resultados de medición precisos.

Según Biosupport International Perú (2021), los equipos de laboratorio son aquellos que se utilizan para el ensayo y análisis de sustancias químicas, biológicas o físicas. A través del uso de estos equipos es posible la realización de experimentos, controles y procesos de calidad; son manipulados por personal capacitado en diferentes ramas de la ciencia o medicina, posibilitando así, el desarrollo de la sociedad.

Un requisito fundamental para obtener unos resultados fiables en el ensayo de materiales y componentes es la combinación perfecta de todos los componentes de la máquina de ensayos de materiales. Estos pueden ser configurados a medida y necesidades de cada usuario: tamaño de la zona de ensayos, recorrido total, fuerza máxima, accesorios de ensayo, sistema de control, software de ensayo, etc.

5.15.2 Máquina de compresión

Una máquina de ensayos de compresión es una máquina de ensayos universal diseñada específicamente para determinar el comportamiento de resistencia y deformación de un material sometido a compresión (prensado). Una máquina de ensayos de compresión típica consta de una célula de carga, uno o varios travesaños, útiles de ensayo de compresión, una electrónica y un sistema de accionamiento.

Se controla mediante un software de ensayo que define los ajustes de la máquina y de seguridad, y almacena los parámetros, predefinidos por normas de ensayo como ASTM e ISO. La máquina de ensayos de compresión adecuada se elige dependiendo del material que se desee ensayar y de la norma que se deba cumplir. La medición de la fuerza hasta que se alcanza una carga o distancia determinada, o hasta que se produce la grieta o rotura de la probeta, ayuda a diseñadores y fabricantes a predecir cómo se comportará un material cuando se utilice para su fin.

5.15.3 Instrumentos de medición dimensional

Según el sitio web Instrumentos de Medición (2024), se puede definir un instrumento de medición dimensional como una herramienta utilizada para determinar las dimensiones físicas de un objeto con precisión y exactitud, ya sea en términos de longitud, altura, ancho, diámetro, grosor, profundidad, o incluso el ángulo de sus bordes; Son el medio por el que se hace esta conversión lógica. La acción que se realiza para obtener los datos es medir, y todo el proceso de comparación con los patrones definidos se conoce como medición.

La medición es el proceso que permite obtener y comparar cantidades físicas de objetos y fenómenos del mundo real. Como unidades de medidas se utilizan objetos y sucesos previamente establecidos como estándares o patrones, y de la medición resulta un número que es la relación entre el objeto de estudio y la unidad de referencia.

Estos instrumentos son esenciales en el control de calidad, el diseño y la fabricación de productos, ya que permiten garantizar que las dimensiones cumplan con las especificaciones requeridas en los planos o normas técnicas. Su uso es común en sectores como la construcción, la industria automotriz, la ingeniería mecánica y la fabricación de materiales.

Las características clave de un instrumento de medida incluyen la precisión, que es su capacidad de obtener resultados consistentes en condiciones idénticas; la exactitud, que se refiere al grado en que las mediciones se acercan al valor verdadero; la resolución, que es la mínima variación que el instrumento puede medir; la apreciación, que es la menor medida perceptible; y la sensibilidad, que indica la relación entre el desplazamiento del indicador y la medida real (Bucher, 2015).

5.15.4 Cámara u horno climático

Una cámara climática es un equipo especializado que permite reproducir y controlar condiciones ambientales específicas en un espacio cerrado para evaluar cómo los materiales,

productos o componentes reaccionan bajo diferentes climas o entornos simulados. Estas condiciones pueden incluir temperatura, humedad, presión atmosférica, luz solar, viento, lluvia, e incluso corrosión química.

Las cámaras climáticas suelen utilizarse en laboratorios, centros de investigación y universidades para llevar a cabo estudios o ensayos con los que verificar el comportamiento, la durabilidad y calidad de productos y materiales expuestos a dichas condiciones climáticas. A fin de llevar a cabo el calentamiento, la carga se expone a temperaturas definidas a presión atmosférica en el interior de una cámara climática. La energía térmica se transfiere por convección y radiación a la carga.

Las diferentes condiciones en las cámaras climáticas se generan mediante diversos sistemas instalados en el equipo, controlados por un regulador (método analógico), pantalla o PC (método digital) con un software que permite realizar las funciones de programación y control, visualización de los datos registrados, alarmas, etc.

5.15.5 Balanza de precisión

Una balanza de precisión es un dispositivo de alta sensibilidad diseñado para medir la masa o peso de un objeto con exactitud. Este instrumento es ampliamente utilizado en laboratorios, industrias y comercios donde se requieren mediciones precisas y confiables, especialmente en aplicaciones donde incluso pequeñas variaciones en el peso pueden afectar la calidad o el resultado de un proceso.

Generalmente, ese tipo de balanzas tienen un menor rango y son utilizadas para pesar masas más pequeñas, cuando comparadas con las balanzas utilizadas diariamente. Además, la división de estos equipos de pesaje es también menor, una característica que está directamente relacionada con

la precisión. Esto porque la división indica de cuantos en cuantos gramos una balanza pesa. Lo que significa que cuanto más bajo sea el valor de la división, más alto va a ser el grado de precisión.

Estas balanzas se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, como en la investigación científica, la industria farmacéutica, la joyería, la química y en la producción de alimentos; Se caracterizan por tener una capacidad de carga menor y una resolución mayor que las balanzas convencionales.

En la investigación científica, estas balanzas son esenciales para pesar muestras que serán analizadas, permitiendo a los investigadores medir con precisión diferentes muestras. Su capacidad para proporcionar resultados altamente exactos asegura la calidad y fiabilidad de los experimentos y análisis realizado.

5.16 Análisis estadístico de los resultados

Según la Dr. Kelmansky en su libro Estadísticas para todos (2009), los métodos estadísticos forman parte de cada paso de una investigación, desde el diseño del estudio, la recolección de los datos, la organización y el resumen de la información, el análisis, la elaboración de las conclusiones, las limitaciones y, por último, el diseño de un próximo estudio a fin de dar respuesta a las nuevas preguntas que pudieran surgir.

La estadística es una disciplina científica y deductiva, considerada rama de las matemáticas, que estudia la variabilidad y las leyes de la probabilidad, a través de herramientas diversas, tanto conceptuales como de muestreo. El campo de la estadística comprende los métodos y procedimientos necesarios para recolectar información de la realidad y organizarla, contextualizarla y clasificarla para poder obtener conclusiones viables, expresadas matemáticamente.

5.16.1 Población

Una población estadística es el conjunto de elementos que son de interés para un experimento, un estudio o una consideración de algún tipo. Los elementos que lo componen pueden ser por ejemplo individuos, animales, fenómenos u eventos. Se llama población a todo el grupo de unidades muestrales que interesa estudiar con el fin de responder una pregunta de investigación (Kelmansky, 2009).

Por lo tanto, la población estadística representa el universo de los elementos a considerar, o sea, su totalidad plena, y en ello se distingue de una muestra estadística.

5.16.2 Muestra

La muestra es un conjunto de elementos seleccionados de una población de acuerdo con un plan de acción previamente establecido para obtener conclusiones que pueden ser extensivas hacia toda la población (Salazar y Del Castillo, 2018).

Una muestra estadística se entiende como un subconjunto más o menos representativo de una población estadística, aislado del resto con fines de evaluación y estudio. Es decir, se trata de un fragmento de la totalidad de elementos a estudiar, compuesta por un número más manejable de ellos, seleccionados (idealmente) al azar.

5.16.3 Muestreo

Salazar y Del Castillo, en su libro de Fundamentos básicos de estadística (2018), definen muestreo como la técnica que permite seleccionar muestras adecuadas de una población de estudio. El muestreo debe conducir a la obtención de una muestra representativa de la población de donde proviene, esta condición establece que cada elemento de la población tiene la misma probabilidad de ser incluida en la muestra.

El muestreo es la técnica de selección de una muestra a partir de una población estadística; Al elegir una muestra aleatoria se espera conseguir que sus propiedades sean extrapolables a la

población. Este proceso permite ahorrar recursos, y a la vez obtener resultados parecidos a los que se alcanzarían si se realizase un estudio a toda la población. (Salant y Dillman, 1994)

5.16.4 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva o matemática es la parte de la estadística que permite analizar todo un conjunto de datos, de los cuales se extraen conclusiones valederas, únicamente para ese conjunto. Para realizar este análisis se procede a la recolección y representación de la información obtenida (Salazar y Del castillo, 2018).

La estadística descriptiva es la técnica matemática que obtiene, organiza, presenta y describe un conjunto de datos con el propósito de facilitar el uso, generalmente con el apoyo de tablas, medidas numéricas o gráficas. Estas técnicas son utilizadas en el proceso de investigación, en la etapa donde el investigador necesita procesar y analizar los datos recolectados en dicho estudio. Algunas medidas que se emplean comúnmente para describir un conjunto de datos son las medidas de tendencia central y las medidas de variabilidad o dispersión. Las medidas de tendencia central incluyen la media, la mediana y la moda (Investopedia, 2024).

5.16.5 Media de una muestra

La media aritmética es el valor que resulta al dividir la suma de todos los valores observados entre el la cantidad o número de datos observados, representada por el símbolo $\bar{x}$ (Salazar y Del Castillo, 2018).

La fórmula de la media aritmética es la siguiente:

Ecuación 6

Ecuación de la media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 \dots + x_n}{n}$$

En donde n representa el tamaño de la población o número de ensayos evaluados, $\sum_1^n x_i$ equivale a la sumatoria de todos los valores para la variable x , y $\bar{x}$ define la media aritmética o promedio para describir la muestra con un solo valor.

La media aritmética viene expresada en las mismas unidades que la variable evaluada, en su cálculo intervienen todos los valores de la muestra, representa el centro de la distribución o los datos, y todos los valores observados (Ruiz Muñoz, 2004).

5.16.6 Gráficos estadísticos

Cuando se dispone de datos de una población, y antes de abordar análisis estadísticos más complejos, un primer paso consiste en presentar esa información de forma que ésta se pueda visualizar de una manera más sistemática y resumida. Según Castellanos y Obando, en su guía práctica para estadísticas descriptivas (2021), los gráficos estadísticos son el mejor recurso visuales que permite comunicar la información, y se constituyen en un instrumento estadístico para analizar los datos de una forma eficiente, desde diferentes niveles de lectura.

Los gráficos estadísticos, son muy populares y utilizados a menudo en la representación de datos, convenientemente son empleados para tener de forma gráfica la totalidad de la información por medio de ilustraciones de tal modo que se pueda identificar y percibir los hechos esenciales para compararlos con otros.

Además, los gráficos estadísticos pueden adaptarse al nivel del público al que va dirigido, convirtiéndolos en una vía de gran utilidad para ofrecer información clara a cualquier persona: desde los lectores de periódicos y revistas, hasta estudiantes, docentes, divulgadores de la ciencia

o directivos de compañías que desean mostrar el avance de su negocio. No todos los gráficos son adecuados para todas las variables. A la hora de elaborar gráficos estadísticos es necesario entender los datos (su recopilación, fuentes, significado, unidad de medida, etc.), y conocer las herramientas y soportes más adecuados para su visualización.

5.17 Impacto ambiental de la construcción

5.17.1 Emisiones de gases de efecto invernadero

Según Moran, en su publicación sobre meteorología y atmósfera se considera gases de efecto invernadero a todos aquellos presentes en la atmósfera terrestre y que dan lugar al fenómeno denominado efecto invernadero. Su concentración atmosférica es baja, pero tienen una importancia fundamental en el aumento de la temperatura del aire próximo al suelo, haciéndola permanecer en un rango de valores aptos para la existencia de vida en el planeta.

Los gases de efecto invernadero son gases que retienen parte de la radiación infrarroja que emite la Tierra tras ser calentada por el Sol, es decir, gases que retienen energía en la atmósfera. Aunque no son contaminantes, la actividad humana ha incrementado en los dos últimos siglos su concentración y, por ende, ha variado el clima repercutiendo en la sostenibilidad del planeta.

La crisis climática producto de estos gases ha aumentado la temperatura media mundial y conlleva a que se registren temperaturas extremas, como las que se alcanzan en las olas de calor. La subida de las temperaturas puede aumentar la mortalidad, reducir la productividad y ocasionar daños a las infraestructuras. Los efectos del cambio climático afectan de modo particular a las infraestructuras y edificios debido a su larga vida útil y su elevado coste inicial, además de su papel fundamental para el funcionamiento de las sociedades y economías (Comisión Europea, 2024).

La refrigeración contribuye significativamente al cambio climático debido a las emisiones de hidrofluorocarbonos, dióxido de carbono y carbono negro provenientes de la energía generada a partir de combustibles fósiles que alimenta los aires acondicionados y otros electrodomésticos.

Los hidrofluorocarbonos representan alrededor del 90% de las emisiones de gases fluorados, utilizados sobre todo para absorber calor en frigoríficos, congeladores, aparatos de aire acondicionado y bombas de calor, así como en espray para el asma y aerosoles técnicos, agentes espumantes y en extintores. Y son el tipo más potente y persistente de gases de efecto invernadero emitidos por actividades del ser humano (Parlamento Europeo, 2023).

5.17.2 Consumo de energía en la construcción y operación de edificios

Según la Alianza global para edificios y construcción en su reporte de estado global sobre edificios y construcciones de 2021, la industria de la construcción es responsable del 36% del consumo final de energía a nivel mundial y el 37% de las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía.

El ciclo de vida de un edificio abarca las etapas de estrategia, inicio, planificación, ejecución, uso y desmantelamiento. Tradicionalmente, la industria de la construcción se enfocaba en aspectos estéticos, técnicos y económicos, pero con el avance del cambio climático, ha surgido una atención creciente hacia la eficiencia energética. En este contexto, la selección de materiales desempeña un papel crucial, ya que elegir aquellos que optimicen el rendimiento térmico del edificio contribuye a reducir la demanda de calefacción y refrigeración, mejorando así la sostenibilidad y el impacto ambiental de las edificaciones.

Esto se logra utilizando materiales con propiedades de aislamiento térmico mejoradas, como aislamientos de alta eficiencia, ventanas de doble o triple panel con vidrios de bajo emisividad, y materiales de construcción que ayuden a regular la temperatura interior del edificio

de manera natural. Además, se pueden emplear materiales que absorban y almacenen el calor durante el día para liberarlo lentamente por la noche, reduciendo así la carga térmica en el interior del edificio.

Los bloques de concreto desempeñan un papel clave en la eficiencia energética de los edificios al actuar como aislantes térmicos. Este aislamiento se define como la capacidad del material para resistir la transmisión de calor, lo cual es fundamental para reducir la demanda energética destinada a la climatización, ya sea para calefacción o refrigeración.

El uso de bloques de concreto con buenas propiedades de aislamiento térmico puede contribuir significativamente a la reducción de los costos energéticos en edificios. Al disminuir la transferencia de calor a través de los muros, se reduce la necesidad de calefacción en invierno y de refrigeración en verano. Esto no solo disminuye el consumo energético, sino que también reduce las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso de sistemas de climatización, alineándose con los objetivos de construcción sostenible.

5.18 Consumo energético para climatización

La demanda de energía para climatización se define como la cantidad de energía requerida para mantener las condiciones de confort interior previamente establecidas para un edificio, en función de su uso específico. Por otro lado, el consumo energético para climatización se refiere a la cantidad efectiva de energía consumida para satisfacer dicha demanda, considerando el rendimiento del sistema de climatización empleado, ya sea para calefacción o refrigeración (Bustamante, 2009).

El aire acondicionado es un sistema diseñado para regular la temperatura, humedad y calidad del aire en espacios cerrados, proporcionando un ambiente confortable. Su uso se ha vuelto común en hogares, oficinas y establecimientos comerciales. El funcionamiento de estos sistemas

se basa en ciclos de refrigeración que requieren energía eléctrica, lo que genera un consumo energético importante, que varía dependiendo del tipo de equipo, su eficiencia energética, el tamaño del espacio a climatizar y las condiciones de uso.

Los equipos de climatización son una de las principales fuentes de consumo energético en hogares y oficinas, especialmente durante los periodos de calor intenso. Los sistemas de tipo split, ampliamente utilizados por su eficiencia y diseño compacto, consumen aproximadamente 1000W de electricidad por hora.

6 Diseño Metodológico

6.1 Tipo de estudio y diseño general del estudio

Esta investigación adopta un enfoque exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo. El enfoque exploratorio permite abordar la falta de información existente sobre las propiedades mecánicas y térmicas de los bloques de concreto utilizados en la construcción en la ciudad de Managua, así como explorar las posibles variables relacionadas con la eficiencia energética en viviendas.

El diseño metodológico de este estudio se basará en la aplicación de normas internacionales y nacionales reconocidas para garantizar la precisión, confiabilidad y reproducibilidad de los ensayos. La selección de estas normas asegura que los resultados obtenidos sean comparables con estudios previos y cumplan con un estándar de calidad requeridos en la industria.

Se empleó un enfoque descriptivo para detallar las propiedades mecánicas y térmicas de los bloques de concreto, así como para describir los fenómenos relacionados con su influencia en la eficiencia energética de las viviendas. Esto incluye la caracterización de la resistencia a la compresión, conductividad térmica y otras propiedades relevantes de los bloques mediante una serie de ensayos de laboratorio llevados a cabo a lo largo de la investigación

El estudio también tiene un enfoque correlacional, ya que se buscará establecer la relación entre las propiedades mecánicas y térmicas de los bloques de concreto y la eficiencia energética de las viviendas en la ciudad de Managua. Se analizaron las posibles asociaciones entre estas variables para identificar patrones y tendencias que puedan influir en la eficiencia energética.

Además, se utiliza un enfoque explicativo para desarrollar un marco teórico que explique cómo las propiedades mecánicas y térmicas de los bloques de concreto afectan la eficiencia

energética de las viviendas, identificando los mecanismos subyacentes que relacionan estas variables y el desarrollo de un modelo conceptual que permita comprender mejor su influencia.

En resumen, esta investigación combinará diferentes enfoques metodológicos para proporcionar una comprensión integral de las propiedades mecánicas y térmicas de los bloques de concreto y su impacto en la eficiencia energética de las viviendas en la ciudad de Managua.

6.2 Enfoque metodológico

El presente estudio se basó en un diseño experimental, en el cual se manipuló intencionalmente variables independientes, como la fuerza y el voltaje, con el objetivo de analizar los efectos que estas modificaciones puedan tener sobre las variables dependientes, que incluyen propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y porcentaje de absorción) y térmicas (conductividad y resistencia térmica) de los bloques de concreto. Para garantizar la validez, confiabilidad y reproducibilidad de los resultados, se aplicaron normas internacionales y locales que regulan los procedimientos de ensayo y las condiciones de prueba de los especímenes.

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente para determinar si existen diferencias significativas entre las propiedades de los diferentes tipos de bloques, y se comparó con los límites establecidos por las diferentes normas para determinar si las muestras del lote representativo cumplen con los requisitos de calidad y desempeño establecidos, por último, se analizó la posible correlación existente entre las variables dependientes.

Este enfoque permite obtener resultados confiables y replicables, contribuyendo al avance del conocimiento en el campo de los materiales de construcción y su influencia en la eficiencia energética de las viviendas de la ciudad de Managua, recomendado estándares en base a las propiedades térmicas de los bloques; al optimizar las propiedades mecánicas y térmicas conociendo la relación existente entre ellas, se podrá construir estructuras más sostenibles,

económicas y confortables, esenciales en un contexto global donde la demanda de viviendas eficientes y responsables con el medio ambiente está en constante crecimiento

6.2.1 Normativas

El cumplimiento de normativas técnicas es fundamental para garantizar la calidad, seguridad y durabilidad de los materiales usados, así como la confiabilidad de los resultados a obtener de las diferentes pruebas; estas normativas establecen procedimientos estandarizados para realizar ensayos y evaluar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los materiales, asegurando resultados confiables.

Para la realización de las pruebas de compresión y humedad en los bloques de concreto, se emplearon las normas ASTM C140, las cuales establecen los procedimientos estandarizados para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales de construcción. La norma ASTM C140 apartado siete, fue utilizada para determinar la resistencia a la compresión, asegurando que los bloques cumplan con los parámetros de calidad exigidos.

Por otro lado, la norma ASTM C140 apartado 8, se aplicó en la medición del contenido de humedad, garantizando un análisis riguroso y manteniendo de las condiciones idóneas del material. Se utilizó el método establecido en la norma ASTM C518 para determinar el coeficiente de conductividad térmica. Este método consiste en colocar la muestra entre dos placas rectangulares, una caliente y otra fría, y medir la transferencia de calor a través de la muestra debido al gradiente de temperatura.

La Norma Técnica Nicaragüense denominada NTON 12 008-09 establece los requisitos físicos y mecánicos de los bloques de concreto que se utilizan en las construcciones civiles, así como los procedimientos para el control de calidad de estos. Estas normativas proporcionaron una base técnica confiable para la validación de los resultados obtenidos en los ensayos; su aplicación

facilita la validación de los productos nacionales frente a estándares de calidad, y permite identificar posibles deficiencias y optimizar procesos de fabricación.

6.3 Muestreo

6.3.1 Selección de muestras

Se tomaron pruebas a un total de doce bloques de quince centímetros de ancho nominal y doce bloques de veinte centímetros, provenientes de las fábricas industriales AGRENIC y CEDESA, además de seis bloques adicionales de quince centímetros fabricados en una planta artesanal con el nombre HOWARD. Se clasificaron como “tipo A”, aquellos de menor tamaño, con un ancho nominal de quince centímetros, y como “tipo B” las que presenten un ancho nominal de veinte centímetros. De tal forma, la distribución final de los bloques será de seis tipos A y seis tipos B procedentes de AGRENIC, seis tipos A y seis tipos B procedentes de CEDESA, y seis tipos A procedentes de HOWARD, para un total de treinta especímenes a ensayar.

Según la norma nicaragüense NTON 12 008-09 para la determinación de la resistencia a la compresión, absorción y peso unitario (densidad) los especímenes deben ser seleccionados de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 1

Determinación de la muestra según tamaño del lote

Tamaño del Lote	Tamaño mínimo de la muestra para...	
	Dimensiones y resistencia a la compresión	Absorción, área neta y peso unitario
0 – 2000	3	3
2001 – 10000	6	3
> 10000 < 100000	12	6
> 100000	6 unidades por cada 50000 unidades o fracción del lote	6

Fuente: Norma NTON 12 008-09

Todos los bloques deberán estar en buen estado, libres de fisuras, quebraduras y otros defectos que pudieran interferir en la correcta colocación de la unidad o bien que influyan en la resistencia y durabilidad de las unidades.

Para los propósitos de la prueba, el representante autorizado deberá seleccionar unidades completas, no dañadas, y las muestras deberán tener la misma configuración, forma y dimensiones; los especímenes deberán representar al lote de donde se obtuvieron. Se debe remover el material que quede suelto de las muestras, marcar cada una de manera que pueda ser identificado en cualquier momento, se deberá registrar el lugar y la fecha de medición en el momento en que se realicen.

6.3.2 Clasificación de los bloques de concreto

La norma NTON 12 008-09 define a los bloques de concreto como un cuerpo prismático sólido o con huecos, utilizado para conformar la mampostería, fabricados de cemento portland o modificado, agua y agregados minerales con o sin la inclusión de otros materiales; y se consideran huecos cuando presentan en su sección más desfavorable un área neta por lo menos del cincuenta por ciento del área bruta y el espesor de sus paredes sea cuando menos igual a veinticinco milímetros; Clasificados en cuatro categorías según sus características.

2.6.3.1 Bloque Estructural 1 (BE – 1)

Bloque hueco o sólido con características tales que permiten su uso para los sistemas constructivos de mampostería confinada y reforzada, con una resistencia de compresión mínima de 12.19 MPa (1765 psi) con respecto al área neta y a utilizarse en la zona sísmica C del Reglamento Nacional de Construcción de Nicaragua.

Para los bloques tipo L y T que se utilicen en el sistema de mampostería reforzada, el procedimiento para la determinación de la resistencia a la compresión será de la siguiente manera, los especímenes deben ser cortados para quitar cualquier proyección de las paredes externas. El espécimen resultante debe ser una celda o celdas que contengan cuatro lados que aseguren un cien por ciento de la superficie de aplicación de carga. Cuando el corte con sierra no de como resultado una unidad cerrada por cuatro paredes, el espécimen debe ser una fracción cortada de la pared externa de cada unidad.

En el caso de los bloques abiertos, tales como los tipo U, bloques para pilastras o de otro tipo en el que el bloque no tenga sus paredes unidas de tal manera que la prueba de resistencia a la compresión no represente su capacidad real para resistir cargas, la resistencia a la compresión se realizará utilizando una sección obtenida de una de las paredes externas del bloque con una relación espesor, altura y largo de 1:2:4, la aplicación de la carga debe ser en la dirección de la altura del espécimen, la cual debe coincidir con la misma dirección de la dimensión de la altura de la unida completa.

2.6.3.2 Bloque Estructural 2 (BE – 2)

Bloque hueco o solido con características tales que permiten su uso para los sistemas constructivos de mampostería confinada y reforzada, con una resistencia de compresión mínima de 7.51 MPa (1 090 psi) con respecto al área neta y a utilizarse en las zonas sísmicas A y B del Reglamento Nacional de Construcción de Nicaragua.

2.6.3.3 Bloque No Estructural (BNE)

Bloque hueco o solido que se utiliza en la construcción de elementos no estructurales, con una resistencia de compresión mínima de 5.04MPa (732 psi) respecto al área neta.

2.6.3.4 Bloque Especial

Bloque sólido o hueco estructural que se utiliza para condiciones especiales y que debe de cumplir con requerimientos de dimensiones, resistencia y absorción aprobados por el Ministerio de Transporte e Infraestructura.

6.3.3 Dimensiones de los bloques.

Tabla 2

Dimensiones nominales y reales de los bloques

Tipo de Bloque	Largo	Largo	Ancho	Ancho	Alto	Alto	Pared	Pared
	Nom	Real	Nom	Real	Nom	Real	Ext	Int
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[mm]	[mm]
BE-1 de 10cm	40	39	10	10	20	19	25	25
BE-1 de 15cm	40	39	15	15	20	19	25	25
BE-1 de 20cm	40	39	20	20	20	19	30	25
BE-1 de 25cm	40	39	25	25	20	19	35	30
BE-1 de 30cm	40	39	30	30	20	19	40	30
BE-2 de 10cm	40	39	10	10	20	19	25	25
BE-2 de 15cm	40	39	15	15	20	19	25	25
BE-2 de 20cm	40	39	20	20	20	19	30	25
BE-2 de 25cm	40	39	25	25	20	19	35	30
BE-2 de 30cm	40	39	30	30	20	19	40	30
BNE de 10cm	40	39	10	10	20	19	25	25
BNE de 15cm	40	39	15	15	20	19	25	25

Fuente: NTON 12 008-09

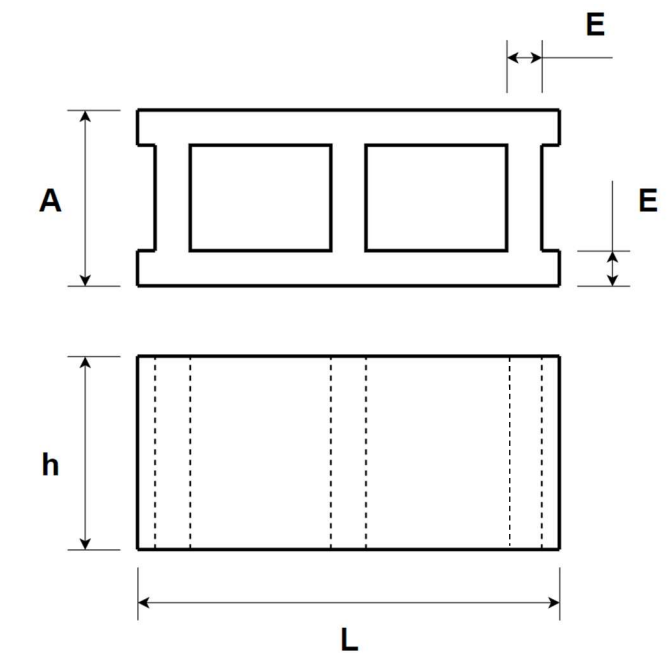
6.4 Evaluación de las dimensiones geométricas

Los especímenes se deben de medir en todas sus dimensiones (ancho, largo, alto) en por lo menos dos ubicaciones en lados opuestos. Los especímenes utilizados para la medición pueden ser

ocupados en otras pruebas. La medición de los especímenes se realizó utilizando una cinta métrica de uso industrial o de construcción, obteniéndose así las dimensiones de las treinta muestras evaluadas.

Figura 2

Dimensiones de los bloques de concreto a evaluar



Fuente: Elaboración propia

Siendo A la representación del ancho, medida en pulgadas o centímetros, h representa el alto de la muestra evaluada, E los espesores a lo largo de las paredes y, por último, L define el largo nominal del bloque de concreto.

Los resultados de estas mediciones se detallan a continuación:

6.4.1 Evaluación de las dimensiones en sistema americano

Figura 3*Medición de especímenes - Sistema Americano*

Muestra	Fabrica	Espesor [in]	Largo [in]	Ancho [in]	Alto [in]
1A	AGRENIC	1.20	15.25	6.00	7.50
2A	AGRENIC	1.00	15.25	5.90	7.50
3A	AGRENIC	1.00	15.20	5.90	7.40
4A	AGRENIC	1.00	15.25	5.90	7.50
5A	AGRENIC	1.00	15.25	5.90	7.50
6A	AGRENIC	1.00	15.25	5.90	7.20
7B	AGRENIC	1.25	15.25	7.90	7.50
8B	AGRENIC	1.25	15.25	7.90	7.50
9B	AGRENIC	1.25	15.25	7.80	7.50
10B	AGRENIC	1.50	15.25	7.90	7.50
11B	AGRENIC	1.25	15.25	7.90	7.50
12B	AGRENIC	1.25	15.25	7.90	7.50
13B	CEDESA	1.50	15.25	7.90	7.40
14B	CEDESA	1.50	15.25	7.90	7.40
15B	CEDESA	1.50	15.25	7.90	7.40
16B	CEDESA	1.80	15.30	7.90	7.40
17B	CEDESA	1.40	15.25	7.90	7.50
18B	CEDESA	1.75	15.25	8.00	7.50
19A	CEDESA	1.50	15.25	5.50	7.50
20A	CEDESA	1.50	15.25	5.50	7.50
21A	CEDESA	1.50	15.25	5.50	7.50

22A	CEDESA	1.00	15.30	5.50	7.50
23A	CEDESA	1.50	15.25	5.50	7.50
24A	CEDESA	1.50	15.25	5.50	7.50
25A	HOWARD	1.00	15.25	5.90	7.50
26A	HOWARD	1.00	15.25	5.80	7.30
27A	HOWARD	1.00	15.25	5.90	7.50
28A	HOWARD	1.00	15.25	5.80	7.50
29A	HOWARD	1.00	15.25	6.00	7.50
30A	HOWARD	1.00	15.25	6.00	7.50

Fuente: Mediciones propias

6.4.2 Evaluación de las dimensiones en sistema internacional

Tabla 3

Medición de especímenes - Sistema Internacional

Muestra	Fabrica	Espesor [cm]	Largo [cm]	Ancho [cm]	Alto [cm]
1A	AGRENIC	3.05	38.74	15.24	19.05
2A	AGRENIC	2.54	38.74	14.99	19.05
3A	AGRENIC	2.54	38.61	14.99	18.80
4A	AGRENIC	2.54	38.74	14.99	19.05
5A	AGRENIC	2.54	38.74	14.99	19.05
6A	AGRENIC	2.54	38.74	14.99	18.29
7B	AGRENIC	3.18	38.74	20.07	19.05
8B	AGRENIC	3.18	38.74	20.07	19.05
9B	AGRENIC	3.18	38.74	19.81	19.05
10B	AGRENIC	3.81	38.74	20.07	19.05

11B	AGRENIC	3.18	38.74	20.07	19.05
12B	AGRENIC	3.18	38.74	20.07	19.05
13B	CEDESA	3.81	38.74	20.07	18.80
14B	CEDESA	3.81	38.74	20.07	18.80
15B	CEDESA	3.81	38.74	20.07	18.80
16B	CEDESA	4.57	38.86	20.07	18.80
17B	CEDESA	3.56	38.74	20.07	19.05
18B	CEDESA	4.45	38.74	20.32	19.05
19A	CEDESA	3.81	38.74	13.97	19.05
20A	CEDESA	3.81	38.74	13.97	19.05
21A	CEDESA	3.81	38.74	13.97	19.05
22A	CEDESA	2.54	38.86	13.97	19.05
23A	CEDESA	3.81	38.74	13.97	19.05
24A	CEDESA	3.81	38.74	13.97	19.05
25A	HOWARD	2.54	38.74	14.99	19.05
26A	HOWARD	2.54	38.74	14.73	18.54
27A	HOWARD	2.54	38.74	14.99	19.05
28A	HOWARD	2.54	38.74	14.73	19.05
29A	HOWARD	2.54	38.74	15.24	19.05
30A	HOWARD	2.54	38.74	15.24	19.05

Fuente: Mediciones propias

6.4.3 Clasificación de las muestras según sus dimensiones reales

Tabla 4

Clasificación de las muestras por dimensiones geométricas

Muestra	Fabrica	Clasificación NTON 12 008-09
1A	AGRENIC	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
2A	AGRENIC	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
3A	AGRENIC	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
4A	AGRENIC	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
5A	AGRENIC	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
6A	AGRENIC	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
7B	AGRENIC	BE – 1 de 20cm o BE – 2 de 20cm
8B	AGRENIC	BE – 1 de 20cm o BE – 2 de 20cm
9B	AGRENIC	BE – 1 de 20cm o BE – 2 de 20cm
10B	AGRENIC	BE – 1 de 20cm o BE – 2 de 20cm
11B	AGRENIC	BE – 1 de 20cm o BE – 2 de 20cm
12B	AGRENIC	BE – 1 de 20cm o BE – 2 de 20cm
13B	CEDESA	BE – 1 de 20cm o BE – 2 de 20cm
14B	CEDESA	BE – 1 de 20cm o BE – 2 de 20cm
15B	CEDESA	BE – 1 de 20cm o BE – 2 de 20cm
16B	CEDESA	BE – 1 de 20cm o BE – 2 de 20cm
17B	CEDESA	BE – 1 de 20cm o BE – 2 de 20cm
18B	CEDESA	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
19A	CEDESA	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
20A	CEDESA	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
21A	CEDESA	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm

22A	CEDESA	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
23A	CEDESA	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
24A	CEDESA	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
25A	HOWARD	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
26A	HOWARD	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
27A	HOWARD	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
28A	HOWARD	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
29A	HOWARD	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm
30A	HOWARD	BE – 1 de 15cm o BE – 2 de 15cm

Clasificación propia en base al criterio de la NTON 12 008-09

En cumplimiento con la normativa, se realizó la medición y clasificación de las treinta muestras de bloques de concreto tomando en cuenta solo las dimensiones geométricas. Estas pruebas tuvieron como objetivo evaluar la calidad de los bloques y determinar si cumplen con los requisitos mínimos para ser considerados aptos para la construcción, y en regla con su respectiva clasificación según la norma de referencia NTON 12 008-09.

De las treinta muestras analizadas, el ciento por ciento cumplen con los criterios establecidos para ser evaluadas en las pruebas de resistencia, absorción y cálculo de su coeficiente térmico. En cuanto a la clasificación, doce especímenes (equivalentes al cuarenta por ciento del total) fueron categorizados como “BE-1 de 20cm” o “BE-2 de 20cm”, mientras que el sesenta por ciento restantes (dieciocho) correspondió a la categoría “BE-1 de 15cm” o “BE-2 de 15cm”. Para obtener una clasificación más precisa se determinó la resistencia a la compresión de los bloques de concreto.

En términos generales, los resultados de la medición reflejan un desempeño totalmente satisfactorio, con una tendencia positiva hacia el cumplimiento de los estándares de calidad pese a que el origen de los especímenes procedía de tres lugares diferentes.

6.5 Resistencia a la Compresión

6.5.1 Normativa

La norma ASTM C140 establece los métodos de ensayo estándar para muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto y unidades relacionadas, y provee de varios procedimientos de ensayo comúnmente utilizados para evaluar características de unidades de albañilería, métodos para muestreo, medición de dimensiones, fuerza de compresión, absorción, peso unitario (densidad), contenido de humedad, carga de flexión y peso de balasto. Sin embargo, no todos los métodos son aplicables a todos los tipos de unidad.

La norma C140 es una de las normas ampliamente utilizada en la industria de la construcción, específicamente para el muestreo y ensayo de unidades de mampostería de concreto como bloques, ladrillos, y otros elementos similares, permite verificar si los bloques de concreto cumplen los requisitos de resistencia especificados en los diseños estructurales. Indica qué especímenes presentan mayor durabilidad y capacidad de soportar más cargas, y es esencial para cumplir con las normativas de construcción y seguridad.

6.5.2 Instrumental del ensayo

La máquina de ensayo deberá tener una precisión de $\pm 1,0\%$ sobre el rango de carga anticipado. La plancha superior debe ser un bloque de metal endurecido y sentado esféricamente fijado al centro de la cabeza superior de la máquina.

El centro de la esfera deberá descansar en el centro de la superficie sujeta en su asiento esférico, pero deberá tener la libertad de girar en cualquier dirección, y su perímetro deberá tener

al menos de 6,3mm de espacio libre desde la cabeza para acomodar las muestras cuyas superficies de soporte no sean paralelas. El diámetro de la plancha superior deberá ser al menos de 6" (150mm). Una placa de apoyo de metal endurecido puede ser utilizada bajo la muestra para minimizar el desgaste de la plancha inferior de la máquina.

Cuando el área de apoyo de la plancha superior o inferior no es suficiente para cubrir el área de la muestra, se deberá colocar una placa de acero individual de un grosor equivalente al menos a la distancia del borde de la plancha a la esquina más distante de la muestra entre la plancha y la muestra tapada. Las superficies de la plancha o placa destinadas al contacto con la muestra deberán tener una dureza no menor a 60 HRC.

El doblamiento de la placa resulta en distribuciones de tensión no uniformes que pueden influir en los mecanismos de falla de las muestras ensayadas. La magnitud de este efecto es controlada mediante la rigidez de la placa, el tamaño de la muestra ensayada y la fuerza de la muestra.

Para este ensayo se utilizó una Accu-Tek 250, máquina de ensayo de compresión hidráulica diseñada para la evaluación de la resistencia mecánica de materiales de construcción, especialmente concreto, mortero, bloques y vigas. Su estructura está fabricada en acero sólido, lo que le confiere una elevada rigidez y estabilidad durante la aplicación de cargas, asegurando condiciones de ensayo reproducibles y seguras. Este equipo posee una capacidad máxima de 1,112 kN (250,000 lbf) y una precisión de ± 0.5 % de lectura, permitiendo obtener resultados confiables y dentro de los márgenes de tolerancia exigidos por las normas internacionales.

6.5.3 Muestras del ensayo

Después de entregadas al laboratorio, las muestras de compresión (no apiladas y separadas por no menos de 0,5" (13mm)) se almacenaron continuamente en el aire a una temperatura de 24 ± 8 °C y una humedad relativa no menor al 80% por no menos de cuarenta y ocho horas.

6.5.4 Posición de las muestras

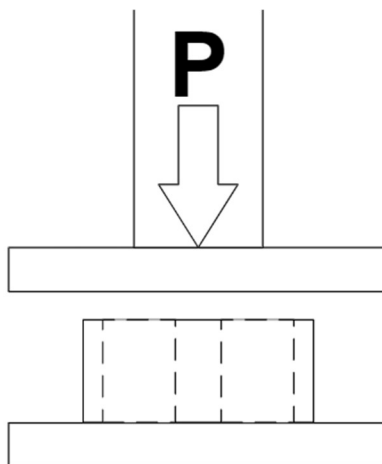
Se sometieron a ensayo a las muestras que tengan el centroide de sus superficies de apoyo alineado verticalmente con el centro de empuje del bloque de apoyo de acero sentado esféricamente de la máquina de ensayo. Se ensayaron todas las unidades de albañilería de concreto huecas con sus centros dispuestos verticalmente.

Se sometieron a ensayo las unidades de albañilería que sean cien por ciento sólidas y las unidades huecas especiales que estén destinadas a ser utilizadas con sus centros huecos dispuestos horizontalmente en la misma dirección que tienen cuando están en servicio.

Al momento de someter las muestras a ensayo, estaban libres de humedad visible, se aplicó la carga hasta la mitad de la carga máxima esperada, después de lo cual se ajustaron los controles de la máquina según lo requerido para brindar un índice uniforme de recorrido de la cabeza movable, de tal manera que la carga restante se aplicó a no menos de un minuto ni a más de dos. Se registró la carga de compresión máxima en libras, como P_{max} .

Figura 4*Ensayo de la resistencia a la compresión*

Nota. Ensayos realizados en laboratorios UNI. Fuente: Elaboración propia

Figura 5*Representación del ensayo de la resistencia a la compresión en bloques*

Fuente: Elaboración propia

6.5.5 Expresión para la cuantificación de la resistencia a la compresión

Según la norma ASTM C140, la fuerza de compresión del área neta de los especímenes se deberá calcular de la siguiente forma:

Ecuación 7

Ecuación para el cálculo de la resistencia a la compresión

$$F_{compresión} = \frac{P_{max}}{A_{neta}} \quad [PSI] [MPa]$$

En donde la carga máxima de compresión (P_{max}) se define como la máxima fuerza aplicada al espécimen, medida en libras o newtons. El promedio del área neta A_{neta} corresponde al valor las áreas netas calculadas para cada una de las muestras de compresión, expresado en pulgadas o centímetros cuadrados. Al ser bloques de concretos huecos, el área neta estará dada por:

Ecuación 8

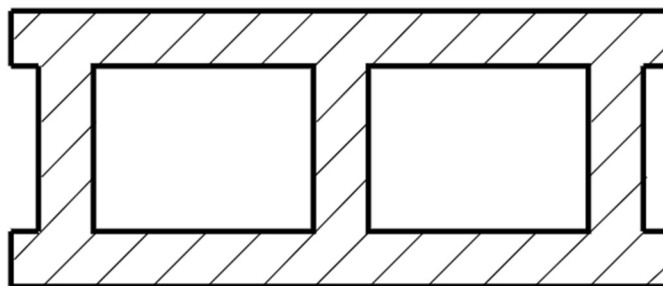
Ecuación para el cálculo del área neta en bloques huecos

$$A_{neta} = (L * A) - [(L - 3 * E) * (A - 2 * E)] \quad [in^2] [cm^2]$$

Siendo L el largo de cada bloque, medido en pulgadas o en centímetros, A expresa la dimensión del ancho, y E el espesor de las paredes del espécimen; siendo estas dimensiones representadas en la Ilustración 2, y el área neta a continuación:

Figura 6

Representación del área neta de bloques de concretos huecos



Fuente: Elaboración propia

6.5.6 Resultados de los ensayos y cálculo de resistencia a la compresión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión para quince bloques de la muestra, tres de cada tipo (A y B) para las tres fábricas analizadas, dando un total de seis grupos de bloques de concretos sometidos a evaluación; se detalla el cálculo del área neta de cada bloque, así como su resistencia a la compresión por cada muestra-tipo ensayada y la carga máxima registrada por la máquina de ensayo:

Tabla 5

Resultados del cálculo de área neta y la resistencia a la compresión - Sistema Americano

Muestra	Fabrica	Área Neta [in²]	Pmax [lbf]	F compresión [PSI]
1A	AGRENIC	49.56	39370.00	794.39
2A	AGRENIC	42.20	52950.00	1254.74
3A	AGRENIC	42.10	48150.00	1143.71
7B	AGRENIC	58.38	91540.00	1568.14
8B	AGRENIC	58.38	96180.00	1647.62
9B	AGRENIC	58.00	92940.00	1602.41
13B	CEDESA	67.80	113600.00	1675.52
14B	CEDESA	67.80	125900.00	1856.93
15B	CEDESA	67.80	136400.00	2011.80
19A	CEDESA	57.00	154600.00	2712.28
20A	CEDESA	57.00	112200.00	1968.42
21A	CEDESA	57.00	106900.00	1875.44
25A	HOWARD	42.20	87710.00	2078.44
26A	HOWARD	41.90	61930.00	1478.04
27A	HOWARD	42.20	82700.00	1959.72

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6*Resultados del cálculo de área neta y la resistencia a la compresión - Sistema Internacional*

Muestra	Fabrica	Área Neta [cm²]	Pmax [N]	F compresión [MPa]
1A	AGRENIC	319.74	175126.42	5.48
2A	AGRENIC	272.26	235533.25	8.65
3A	AGRENIC	271.61	214181.79	7.89
7B	AGRENIC	376.61	407190.06	10.81
8B	AGRENIC	376.61	427829.80	11.36
9B	AGRENIC	374.19	413417.57	11.05
13B	CEDESA	437.42	505317.79	11.55
14B	CEDESA	437.42	560030.90	12.80
15B	CEDESA	437.42	606737.21	13.87
19A	CEDESA	367.74	687694.81	18.70
20A	CEDESA	367.74	499090.28	13.57
21A	CEDESA	367.74	475514.72	12.93
25A	HOWARD	272.26	390153.38	14.33
26A	HOWARD	270.32	275478.26	10.19
27A	HOWARD	272.26	367867.79	13.51

Fuente: Elaboración propia

6.5.7 Evaluación de la resistencia a la compresión

Según lo establecido en la norma técnica obligatoria nicaragüense, NTON 12 008-09, en su apartado sobre la fabricación de bloques de concreto, para los especímenes de la categoría Bloque BE-1, el valor mínimo de resistencia a la compresión promedio por cada tres muestras sometidas a ensayos no deberá ser menor a 13.65MPa o 1980psi , mientras que aquellos en la categoría Bloque BE-2 podrán tener una resistencia aún más baja, de tan solo 8.41MPa o 1220psi a como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7

Valores mínimos de la resistencia a la compresión en bloques de concreto

Tipo	Promedio mínimo de tres unidades	Resistencia mínima a la compresión para una pieza individual
Bloque BE – 1	13.62 MPa o 1980 psi	12.19 MPa o 1765 psi
Bloque BE – 2	8.41 MPa o 1220 psi	7.51 MPa o 1090 psi
Bloque BNE	5.65 MPa o 820 psi	5.04 MPa o 732 psi

Fuente: NTON 12 008-09

Tomando en cuenta que las muestras estaban divididas entre dos tamaños diferentes (tipo A y B), y tres fábricas distintas, una vez agrupadas se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 8*Resistencia a la compresión promedio bloques tipo A, fábrica AGRENIC*

Origen	AGRENIC		
Clasificación de la Muestra	Tipo A		
Ensayo	Resistencia a la compresión		
#	Muestra	Sistema Americano	Sistema Internacional
1	1A	794.39 psi	5.48 MPa
2	2A	1254.74 psi	8.65 MPa
3	3A	1143.71 psi	7.89 MPa
Promedio		1064.28 psi	7.34 MPa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9*Resistencia a la compresión promedio bloques tipo B, fábrica AGRENIC*

Origen	AGRENIC		
Clasificación de la Muestra	Tipo B		
Ensayo	Resistencia a la compresión		
#	Muestra	Sistema Americano	Sistema Internacional
1	7B	1568.14 psi	10.81 MPa
2	8B	1647.62 psi	11.36 MPa
3	9B	1602.41 psi	11.05 MPa
Promedio		1606.06 psi	11.07 MPa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10*Resistencia a la compresión promedio bloques tipo B, fábrica CEDESA*

Origen	CEDESA		
Clasificación de la Muestra	Tipo B		
Ensayo	Resistencia a la compresión		
#	Muestra	Sistema Americano	Sistema Internacional
1	13B	1675.52 psi	11.55 MPa
2	14B	1856.93 psi	12.8 MPa
3	15B	2011.8 psi	13.87 MPa
Promedio		1848.08 psi	12.74 MPa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11*Resistencia a la compresión promedio bloques tipo A, fábrica CEDESA*

Origen	CEDESA		
Clasificación de la Muestra	Tipo A		
Ensayo	Resistencia a la compresión		
#	Muestra	Sistema Americano	Sistema Internacional
1	19A	2712.28 psi	18.7 MPa
2	20A	1968.42 psi	13.57 MPa
3	21A	1875.44 psi	12.93 MPa
Promedio		2185.38 psi	15.07 MPa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

Resistencia a la compresión promedio bloques tipo a, fábrica HOWARD

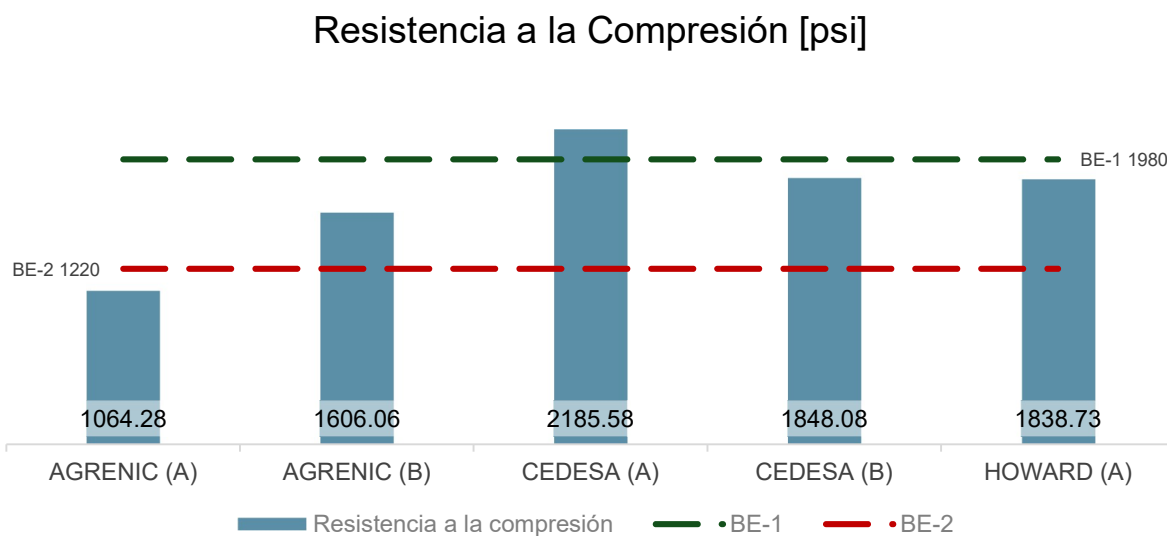
Origen	HOWARD		
Clasificación de la Muestra	Tipo A		
Ensayo	Resistencia a la compresión		
#	Muestra	Sistema Americano	Sistema Internacional
1	25A	2078.44 psi	14.33 MPa
2	26A	1478.04 psi	10.19 MPa
3	27A	1959.72 psi	13.51MPa
Promedio		1838.73 psi	12.68 MPa

Fuente: Elaboración propia

Una vez recopilados los promedios se obtuvo la siguiente distribución:

Figura 7

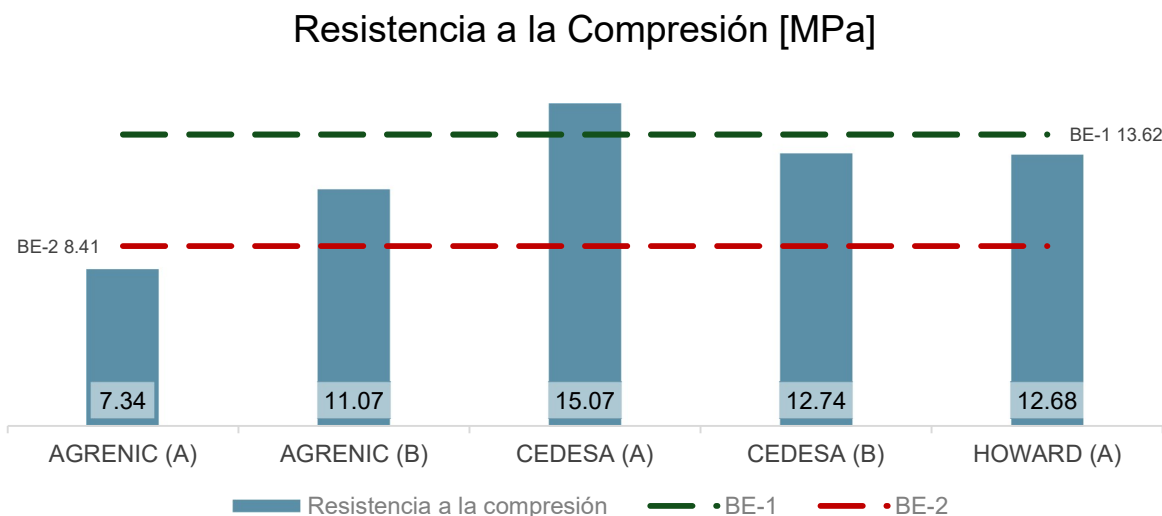
Resistencia a la compresión promedio por tipo de bloque y fábrica - Sistema Americano



Fuente: Elaboración propia

Figura 8

Resistencia a la compresión promedio por tipo de bloque y fábrica - Sistema Internacional



Fuente: Elaboración propia

Los resultados finales indican que únicamente los bloques tipo A fabricados por CEDESA cumplen con el valor mínimo de resistencia a la compresión promedio necesario para clasificar en la categoría BE-1, según los estándares establecidos por la norma NTON. En contraste, los bloques tipo B procedentes de AGRENIC y CEDESA, junto con los tipos A de HOWARD, no alcanzan los 12 MPa o 1980 psi requeridos, sin embargo, logran entrar en la categoría BE-2, al superar el límite mínimo de 8 MPa o 1220 psi establecidos. Por otro lado, los bloques tipo A de AGRENIC no cumplen los requisitos mínimos de resistencia para ninguna de las clasificaciones, quedando por debajo del rango exigido y, por ende, deberán ser considerados no aptos para su uso en construcción.

En el caso específico del bloque tipo A de AGRENIC, una vez observadas las fracturas a causa del fallo por compresión, se notaron zonas húmedas en el interior del bloque, por lo que es posible que alguno de estos factores haya tenido un impacto negativo en el desempeño en los

ensayos, afectando los resultados obtenidos y dejando el producto fuera de las categorías de la norma.

6.6 Porcentaje de Absorción

6.6.1 Normativa

La norma ASTM C140, en su apartado número ocho, brinda una serie de ensayos a unidades fabricadas de concreto, como lo son los bloques de mampostería; entre los ensayos que se especifican en esta norma se encuentra el porcentaje de absorción de los especímenes de concreto. Este ensayo permite la determinación del porcentaje de absorción de bloques, ladrillos y adoquines; el valor de absorción brinda una idea de la cantidad de agua que absorbe la unidad, el cual es necesario para garantizar el cumplimiento de este según la NTON 12 008 y evaluar la calidad y durabilidad de los bloques de concreto, por lo tanto, se recomienda su realización conjunta con el ensayo de resistencia a la compresión.

El objetivo de este ensayo es determinar la cantidad de agua que un bloque de concreto es capaz de absorber cuando se sumerge en agua durante un periodo de tiempo en específico, indica la porosidad del material, ayuda a evaluar la durabilidad y la resistencia en condiciones climáticas adversas, y permite verificar el cumplimiento de especificaciones técnicas y normativas internacionales y locales.

Este ensayo permite identificar características cruciales a considerar en la selección de bloques de concreto, evalúa la durabilidad de los mismo, pues un alto porcentaje de absorción indicará una mayor porosidad, y un bloque con baja absorción no podrá adherirse adecuadamente a los morteros o recubrimiento; sin embargo, se debe ser cuidado al realizar el secado inicial de las muestras para que toda la humedad residual de su fabricación sea eliminada, y en dependencia de

las condiciones y materiales de fabricación, es posible que un periodo de veinticuatro horas no sea suficiente para especímenes con mezclas muy densas o de baja porosidad.

Según la norma NTON 12 008-09, los bloques de concreto deberán cumplir con los siguientes valores de absorción máxima según la siguiente categorización:

Tabla 13

Valores máximos de absorción según tipo de bloque

Tipo de bloque	Valor máximo en un bloque (%)
Bloque BE – 1	10
Bloque BE – 2	12
Bloque BNE	15

Fuente: NTON 12 008-09

6.6.2 Instrumental del ensayo

La balanza utilizada tiene una sensibilidad dentro del 0.5% del peso de la menor muestra sometida a ensayo. Se utilizó una balanza digital para pesar los bloques antes y después de la inmersión; también fue necesario un tanque o recipiente de inmersión suficientemente grande para sumergir completamente el bloque, fabricado con materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable o plástico.

Un horno térmico utilizado para secar completamente los bloques de concreto después de la inmersión en agua; Este horno fue capaz de alcanzar y mantener una temperatura constante de $105 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que garantizó la eliminación de toda la humedad interna de los bloques sin dañarlos. El tamaño del horno fue suficiente para alojar los bloques de concreto sin restricciones, permitiendo un secado uniforme y eficiente.

Finalmente, se requirieron toallas absorbentes para eliminar el exceso de agua superficial después de la inmersión y antes del pesaje, así como guantes resistentes al calor o pinzas para manipular los bloques calientes. Este instrumental garantizó la precisión y la repetibilidad del ensayo de absorción de agua en bloques de concreto.

6.6.3 Muestras del ensayo

Se sometieron a ensayos de absorción tres muestras aleatorias de un lote representativo para cada tipo de espécimen, los ensayos se realizaron en unidades de tamaño normal o cortes con sierras de muestras de unidades de tamaño normal; los valores calculados para la absorción y densidad de unidades de tamaño reducido deberán ser considerados como representativas de toda la unidad.

6.6.4 Saturación de las muestras

Se sumergieron los especímenes de prueba en agua a una temperatura de entre 60 y 80 °F (o su equivalencia entre 15.6 a 26.7 °C) por veinticuatro horas. Se dejaron drenar por aproximadamente un minuto las muestras ubicándolas en una malla metálica, se secaron los rastros visibles de agua con un paño húmedo y toalla previamente humedecida, se pesó y registraron los pesos saturados como W_s .

6.6.5 Secado de las muestras

Posteriormente a la saturación, se secaron todas las muestras en un horno ventilado a una temperatura de entre 212 y 239 °F (o su equivalencia entre 100 o 115 °C) por no menos de veinticuatro horas, o hasta que dos pesos sucesivos a intervalos de dos horas muestren un incremento de pérdida no superior a 0.2% el último peso previamente determinado de la muestra; se registraron los pesos de las muestras secadas como peso secado en horno W_d .

6.6.6 Expresión para la cuantificación del porcentaje de absorción

Según la norma ASTM C140, el porcentaje de absorción de los especímenes se deberá calcular de la siguiente forma:

Ecuación 9

Ecuación para el cálculo del porcentaje absorción

$$\%_{Absorción} = \frac{W_s - W_d}{W_d} * 100 \quad [\%]$$

Esta ecuación representa el porcentaje de absorción de un bloque de concreto, parámetro esencial para evaluar su calidad y durabilidad, en donde W_d representa el peso del bloque cuando está completamente saturado de agua después de las veinticuatro horas de inmersión, mientras que W_s corresponde al peso del bloque en estado seco, después de haber sido sometido a secado en horno; la diferencia entre estos dos pesos indica la cantidad de agua absorbida, la cual se relaciona con el peso seco del bloque para obtener una proporción que representa el porcentaje de absorción resultante. Un porcentaje elevado de este parámetro refleja una alta porosidad, lo que comprometería la resistencia del concreto y su capacidad para resistir agentes externos como la humedad, productos químicos o el desgaste ambiental.

6.6.7 Resultados de los ensayos y cálculo del porcentaje de absorción.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo del porcentaje de absorción para quince bloques de la muestra, tres de cada tipo (A y B) para las tres fábricas analizadas, dando un total de seis grupos de bloques de concretos sometidos a evaluación; se detalla el peso en estado seco y saturado de cada bloque, así como su porcentaje de absorción por cada muestra-tipo ensayada:

Tabla 14*Resultados del cálculo del porcentaje de absorción*

Muestra	Fabrica	Peso Húmedo [kg]	Peso Seco [kg]	% Absorción
4A	AGRENIC	19.25	17.87	7.70%
5A	AGRENIC	19.00	18.08	5.07%
6A	AGRENIC	19.01	17.81	6.71%
10B	AGRENIC	14.67	13.55	8.24%
11B	AGRENIC	14.18	13.16	7.71%
12B	AGRENIC	13.64	12.63	7.96%
16B	CEDESA	21.51	20.60	4.39%
17B	CEDESA	20.85	19.51	6.87%
18B	CEDESA	21.16	19.89	6.37%
22A	CEDESA	14.94	14.25	4.84%
23A	CEDESA	15.81	15.22	3.87%
24A	CEDESA	15.21	14.43	5.41%
28A	HOWARD	14.87	13.77	8.02%
29A	HOWARD	14.69	13.85	6.04%
30A	HOWARD	14.80	13.86	6.76%

Fuente: Elaboración propia

6.6.8 Evaluación del porcentaje de absorción

Según lo establecido en la norma técnica obligatoria nicaragüense, NTON 12 008-09, en su apartado sobre la fabricación de bloques de concreto, para los especímenes de la categoría Bloque BE-1, el valor máximo de porcentaje de absorción promedio por cada tres muestras sometidas a ensayos no deberá ser mayor a 10%, mientras que aquellos en la categoría Bloque BE-

2 podrán tener un valor de porcentaje más alto, no mayor al 12%. Tomando en cuenta que la distribución de las muestras se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 15

Porcentaje de absorción promedio bloques tipo A, fábrica AGRENIC

Origen		AGRENIC
Clasificación de la Muestra		Tipo A
Ensayo		Porcentaje de Absorción
#	Muestra	%
1	4A	7.70%
2	5A	5.07%
3	6A	6.71%
Promedio		6.49%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16

Porcentaje de absorción promedio bloques tipo A, fábrica AGRENIC

Origen		AGRENIC
Clasificación de la Muestra		Tipo B
Ensayo		Porcentaje de Absorción
#	Muestra	%
1	10B	8.24%
2	11B	7.71%
3	12B	7.96%
Promedio		7.97%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17*Porcentaje de absorción promedio bloques tipo B, fábrica CEDESA*

Origen		CEDESA
Clasificación de la Muestra		Tipo B
Ensayo		Porcentaje de Absorción
#	Muestra	%
1	16B	4.39%
2	17B	6.87%
3	18B	6.37%
Promedio		5.88%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18*Porcentaje de absorción promedio bloques tipo A, fábrica CEDESA*

Origen		CEDESA
Clasificación de la Muestra		Tipo A
Ensayo		Porcentaje de Absorción
#	Muestra	%
1	22A	4.84%
2	23A	3.87%
3	24A	5.41%
Promedio		4.71%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

Porcentaje de absorción promedio bloques tipo A, fábrica HOWARD

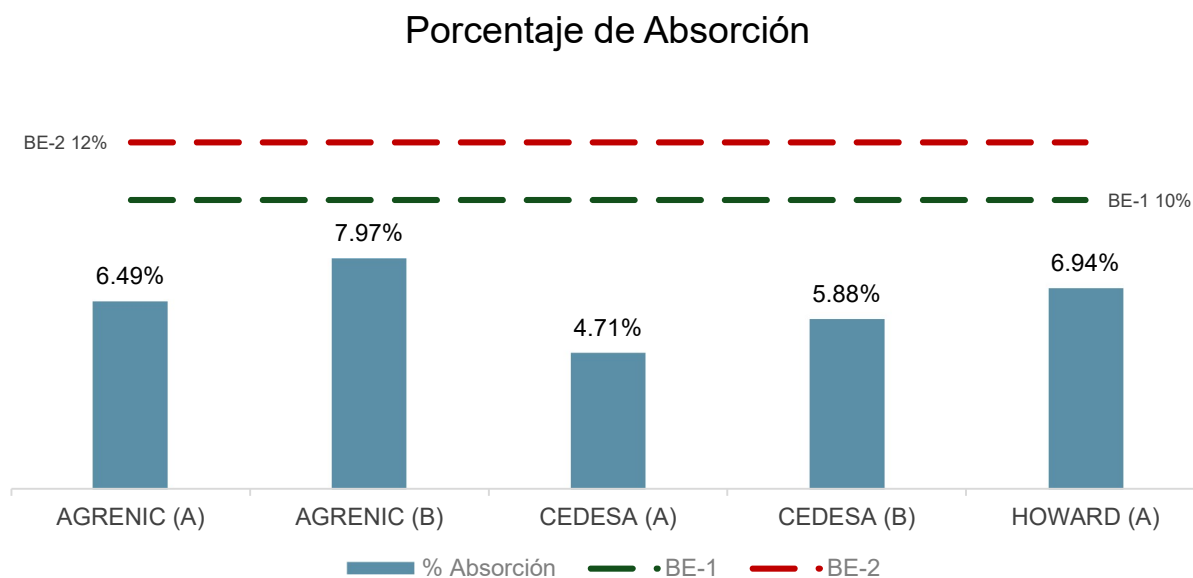
Origen	HOWARD	
Clasificación de la Muestra	Tipo A	
Ensayo	Porcentaje de Absorción	
#	Muestra	%
1	28A	8.02%
2	29A	6.04%
3	30A	6.76%
Promedio		6.94%

Fuente: Elaboración propia

Una vez recopilados los promedios para cada grupo se obtuvo la siguiente distribución:

Figura 9

Porcentaje de Absorción promedio por tipo de bloque y fábrica



Fuente: Elaboración propia

Todos los tipos de bloques evaluados cumplen con los requisitos tanto para la categoría BE-1 (10%) como para la BE-2 (12%), según lo establecido por la norma NTON 12 008-09, ya que ninguno supera el 10% de porcentaje de absorción máximo, indicando que las muestras son adecuadas para su uso en construcción según estándares locales, los bloques tipo A procedentes de CEDESA presentaron el menor porcentaje de absorción, con una media de tan solo 4.71%, y los únicos por debajo de 5% (la mitad del menor valor máximo de absorción aceptable) lo que sugiere una menor porosidad, mayor durabilidad y resistencia a condiciones climáticas cambiantes, a diferencia de los bloques tipo B elaborados por AGRENIC, los cuales obtuvieron un porcentaje de absorción promedio de 7.97%, aunque siguen estando dentro de los límites permitidos; para el resto de bloques se obtuvieron valores intermedios de entre 5.88%, 6.49% y 6.94% en sus promedios (CEDESA tipo B, HOWARD y AGRENIC tipo A respectivamente) los que los sitúa en un rango aceptable y competitivo en términos de calidad.

6.7 Coeficiente térmico

6.7.1 Normativa

Para la realización de pruebas de coeficientes térmicos en bloques de concreto existen diversas normas ampliamente reconocidas y utilizadas en la industria para garantizar que los materiales de construcción, como los bloques de concreto, cumplan los requisitos de eficiencia térmica y seguridad, entre ellas se encuentran la norma ASTM C177, enfocada en la medición y determinación del flujo de calor y la conductividad térmica de materiales aislantes utilizando el método de la placa caliente protegida, y la norma ASTM C518 que describe el método de la placa caliente con flujo de calor para medir la resistencia y la conductividad térmica de materiales, siendo esta la más precisa y rápida, y cuál se tomará como referencia para realizar los ensayos de coeficiente térmico.

La norma ASTM C518, Método de prueba estándar para las propiedades de transmisión térmica en estado estacionario mediante el uso de un aparato de medición de flujo de calor, tiene como objetivo principal proporcionar un método preciso y repetible para medir las propiedades de resistencia y conductividad térmica en estado estacionario de materiales homogéneos o compuestos, como bloques de concretos. La prueba se realiza bajo condiciones en donde el flujo de calor a través del material es constante y no varía con el tiempo; mediante un equipo especializado que consta de dos placas, una caliente y una fría, entre las cuales se coloca la muestra a evaluar, se mide el flujo de calor que pasa a través del espécimen y la diferencia de temperaturas entre las dos placas.

Su principal ventaja es que es más rápida que otros métodos de evaluación, como el de la placa protegida, proporciona resultados altamente confiables y repetibles, y puede ser utilizada para una amplia gama de materiales; sin embargo, solo es aplicable bajo condiciones de estado estacionario, lo que significa que no es adecuada para evaluar propiedades térmicas en condiciones dinámicas o transitorias, y funciona mejor con materiales homogéneos.

La norma ASTM C518 es especialmente útil para evaluar la eficiente térmica de bloques de concreto, sus resultados pueden ayudar a determinar la capacidad de aislamiento térmico del material, comprar diferentes especímenes, cumplir con las normas de construcción relacionadas con la eficiente térmica y diseñar viviendas energéticamente eficientes.

6.7.2 Instrumental del ensayo.

Para el desarrollo experimental de la medición del coeficiente térmico se utilizó una cámara aislante térmica especialmente construida para minimizar pérdidas de calor en el ambiente. En su interior se colocaron las muestras de los bloques de concreto , confinada entre dos placas: una caliente, provista de una resistencia eléctrica que inducirá el flujo de calor, y una placa fría, que

actúa como disipador. Entre ambas se genera un gradiente térmico necesario para la medición; la cámara cuenta además con un sistema de aislamiento perimetral, cuyo propósito garantizó condiciones semi adiabáticas y reducir al mínimo la dispersión de energía.

El dispositivo incorporó sensores de temperatura, ubicados estratégicamente en las caras del bloque, permitiendo registrar los cambios de temperatura en ambos lados de la muestra, la visualización de la medición se realizó de manera continua mediante un sistema programado en Arduino, el cuál capturó lecturas en intervalos definidos.

6.7.3 Muestras del ensayo.

Para el ensayo se seleccionaron quince bloques de concreto de los tipos BE-1 y BE-2, de acuerdo con la norma NTON 12 008-09; cada muestra fue inspeccionada previamente para asegurar que estuvieran libre de fisuras o humedad excesiva que alteraran la medición. Los bloques fueron colocados en la cámara de ensayo, garantizando el contacto plano con las placas metálicas, en paralelo se instalaron termocuplas en ambas caras con el propósito de registrar los gradientes de temperaturas a lo largo del bloque.

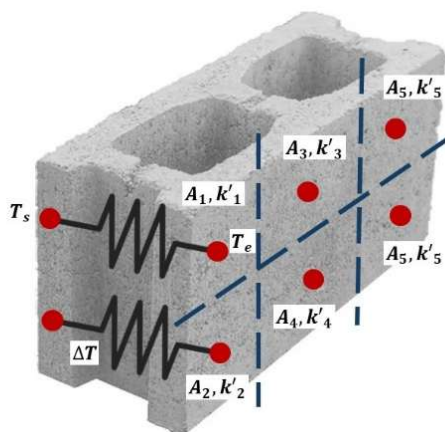
6.7.4 Medición de cambios de temperatura en los bloques de concreto.

Se alimentó la placa caliente con un voltaje constante de 25 voltios y una corriente equivalente a 1.4 amperios, valores monitoreados durante todo el ensayo para el cálculo de la potencia eléctrica suministrada, dando como resultado una potencia aplicada de 35 watts; una vez iniciado el flujo de calor se tomó lectura de las temperaturas iniciales, y se mantuvo el proceso de inducción de calor durante intervalos de dos a tres horas en dependencia del tipo de bloque. Al finalizar cada ensayo, se registraron las temperaturas finales en ambos lados del bloque para las seis zonas delimitadas, y nombradas como A_i , los datos fueron sistematizados en hojas de cálculo, y se organizaron para su posterior análisis.

El procesamiento de la información se realizó aplicando las expresiones definidas en la ASTM C518, en las que la conductividad térmica se calcula a partir de la potencia eléctrica suministrada, el espesor de la muestra, el área de contacto y la diferencia de temperatura entre las placas. A partir de estos parámetros también se obtendrá la resistencia térmica (R), propiedad que complementa el análisis del desempeño energético de los bloques.

Figura 10

Representación de las seis caras para la medición de temperaturas en la cámara térmica



Nota. Los puntos rojos representan la ubicación de las termocupas ocupadas las medición de temperaturas. Fuente: Elaboración propia

6.7.5 Expresión para la cuantificación de la conductividad térmica

La cuantificación de la conductividad térmica se regirá por la expresión establecida en la norma ASTM C518; Esta expresión relaciona el flujo de calor entre las dos placas con la razón de flujo por conducción, considerando el efecto Joule, los resultados obtenidos serán reportados en vatios.

Ecuación 10

Ecuación para el cálculo de la conductividad térmica

$$k = \frac{Q\Delta x}{A\Delta T} \quad \left[\frac{W}{mK} \right]$$

En donde Q representa el flujo de calor o potencia suministrada a la placa caliente, medida en vatios (W), Δx expresa el espesor de la muestra sometida a ensayo, A el área transversal paralela al flujo de calor del bloque y ΔT la diferencia de temperaturas existente entre ambas placas al momento de realizar la medición, expresada en grados Kelvin.

A partir de estos parámetros también es posible obtener la ecuación para el cálculo de la resistencia térmica, descrita mediante la variable R y cuyas unidades de medidas son metros cuadrados por grados Kelvin entre vatios (m^2K/W), otra propiedad térmica que juega un papel importante en el análisis energético de los bloques de concreto, obteniendo así:

Ecuación 11

Ecuación para el cálculo de la resistencia térmica

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad \left[\frac{m^2K}{W} \right]$$

Siendo R la representación de la resistencia térmica, k el coeficiente de conductividad térmica calculado anteriormente, y Δx el área y espesor de la muestra sometida a ensayo.

6.7.6 Resultados de los ensayos y cálculo del coeficiente y la resistencia térmica

Para la determinación de la conductividad térmica efectiva en régimen estacionario se decidió no rellenar los orificios de los bloques de concreto, ya que la incorporación de material en los vacíos internos incrementaría artificialmente la capacidad de conducción de calor, alterando las propiedades reales del espécimen.

Una vez seleccionadas, las muestras fueron colocadas en la cámara aislante térmica, donde se llevó a cabo el procedimiento de medición de la variación de temperaturas tras ser sometidas al flujo de calor durante un intervalo de dos a tres horas, tiempo considerado suficiente para alcanzar el estado estacionario de temperatura.

Este procedimiento se aplicó a quince muestras, correspondientes a dos tipos de bloques (A y B), procedentes de las tres fábricas evaluadas. Con los registros de temperatura obtenidos, se procedió al cálculo del coeficiente de conductividad térmica de cada bloque; considerando las mediciones de temperaturas en las caras del espécimen, el espesor de cada muestra, así como su área transversal efectiva; en cada ensayo se realizaron seis secciones de medición, en las cuales se tomaron las temperaturas, y la potencia o flujo neto de calor se distribuyó entre estas seis zonas con el fin de encontrar los coeficientes térmicos correspondientes a cada una.

Tabla 20

Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 4A, fábrica AGRENIC

Origen		AGRENIC				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		4A				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	58.0 °C	35.0 °C	3.09
2	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	56.0 °C	34.0 °C	3.23
3	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	55.0 °C	33.0 °C	3.23
4	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	56.0 °C	33.6 °C	3.17
5	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	60.0 °C	35.2 °C	2.86
6	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	59.0 °C	35.0 °C	2.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 5A, fábrica AGRENIC*

Origen		AGRENIC				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		5A				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	54.0 °C	31.6 °C	3.17
2	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	54.0 °C	30.8 °C	3.06
3	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	57.0 °C	31.6 °C	2.80
4	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	54.0 °C	30.6 °C	3.04
5	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	56.0 °C	31.0 °C	2.84
6	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	54.5 °C	31.9 °C	3.14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 6A, fábrica AGRENIC*

Origen		AGRENIC				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		6A				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.15 m	0.0118 m ²	5.83 W	51.0 °C	35 °C	4.63
2	0.15 m	0.018 m ²	5.83 W	52.0 °C	34.2 °C	4.16
3	0.15 m	0.0118 m ²	5.83 W	52.0 °C	34.2 °C	4.16
4	0.15 m	0.0118 m ²	5.83 W	53.0 °C	35.0 °C	4.11
5	0.15 m	0.0118 m ²	5.83 W	53.0 °C	35.0 °C	4.11
6	0.15 m	0.0118 m ²	5.83 W	53.0 °C	35.0 °C	4.11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 10B, fábrica AGRENIC*

Origen		AGRENIC				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		10B				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	49.6 °C	34.6 °C	6.34
2	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	50.0 °C	34.4 °C	6.10
3	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	49.8 °C	35.0 °C	6.43
4	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	48.9 °C	33.8 °C	6.30
5	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	50.0 °C	34.5 °C	6.14
6	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	49.8 °C	34.6 °C	6.26

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 11B, fábrica AGRENIC*

Origen		AGRENIC				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		11B				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	30.0 °C	4.32
2	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	30.0 °C	4.14
3	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	55.0 °C	31.0 °C	3.96
4	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	55.0 °C	31.0 °C	3.96
5	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	30.3 °C	4.19
6	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	55.0 °C	30.9 °C	3.95

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 12B, fábrica AGRENIC*

Origen		AGRENIC				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		12B				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	51.0 °C	32.5 °C	5.14
2	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	31.8 °C	4.71
3	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	32.2 °C	4.57
4	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	54.0 °C	31.8 °C	4.28
5	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	32.8 °C	4.95
6	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	51.0 °C	31.6 °C	4.90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 16B, fábrica CEDESA*

Origen		CEDESA				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		16B				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	51.0 °C	32.5 °C	5.00
2	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	31.8 °C	4.78
3	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	32.2 °C	4.80
4	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	54.0 °C	31.8 °C	4.55
5	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	32.8 °C	5.06
6	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	51.0 °C	31.6 °C	5.06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 17B, fábrica CEDESA*

Origen		CEDESA				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		17B				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	51.0 °C	31.0 °C	4.76
2	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	38.6 °C	4.66
3	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	32.0 °C	4.76
4	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	31.6 °C	4.45
5	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	32.0 °C	4.53
6	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	31.8 °C	4.49

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 18B, fábrica CEDESA*

Origen		CEDESA				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		18B				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	51.0 °C	32.0 °C	5.07
2	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	51.0 °C	31.8 °C	5.02
3	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	31.5 °C	4.70
4	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	51.8 °C	32.6 °C	5.02
5	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	31.8 °C	4.77
6	0.20 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	31.0 °C	4.59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 22A, fábrica CEDESA*

Origen		CEDESA				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		22A				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.14 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	33.8 °C	3.63
2	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	33.8 °C	3.63
3	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	34.0 °C	3.67
4	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.6 °C	34.5 °C	3.46
5	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.6 °C	33.6 °C	3.47
6	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.8 °C	33.8 °C	3.47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 23A, fábrica CEDESA*

Origen		CEDESA				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		23A				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.14 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	34.0 °C	3.68
2	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.5 °C	34.5 °C	3.68
3	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	35.0 °C	3.68
4	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	35.0 °C	3.68
5	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.8 °C	34.5 °C	3.62
6	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	34.0 °C	3.68

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 24A, fábrica CEDESA*

Origen		CEDESA				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		24A				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.14 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	32.8 °C	3.45
2	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.6 °C	32.7 °C	3.33
3	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	33.4 °C	3.38
4	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.9 °C	33.0 °C	3.33
5	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	33.8 °C	3.45
6	0. 14 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.2 °C	33.0 °C	3.28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 28A, fábrica HOWARD*

Origen		HOWARD				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		28A				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	35.7 °C	4.04
2	0. 15 m	0.0123 m ²	5.83 W	50.0 °C	36.0 °C	4.99
3	0. 15 m	0.0123 m ²	5.83 W	51.0 °C	35.7 °C	4.56
4	0. 15 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	36.0 °C	4.36
5	0. 15 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	36.5 °C	4.51
6	0. 15 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	35.3 °C	4.18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 29A, fábrica HOWARD*

Origen		HOWARD				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		29A				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/mK]$
1	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	54.0 °C	35.7 °C	3.95
2	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	55.0 °C	35.0 °C	3.61
3	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	35.5 °C	4.38
4	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	35.5 °C	4.13
5	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.8 °C	35.8 °C	4.25
6	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	35.0 °C	4.25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34*Medición de temperaturas y coeficiente térmico para la muestra 30A, fábrica HOWARD*

Origen		HOWARD				
Ensayo		Variación de temperatura y coeficiente térmico.				
Muestra		30A				
Cara	Ancho $[\Delta x]$	Área $[A]$	Potencia $[Q]$	T_{entrada}	T_{salida}	k' $[W/^{\circ}K]$
1	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	50.0 °C	34.0 °C	4.52
2	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	51.0 °C	34.6 °C	4.41
3	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	52.0 °C	34.8 °C	4.20
4	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	51.0 °C	33.9 °C	4.22
5	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	35.0 °C	4.01
6	0.15 m	0.0123 m ²	5.83 W	53.0 °C	35.0 °C	4.01

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados permiten comparar el comportamiento térmico de la muestra bajo condiciones controladas, observando cómo la diferencia de temperaturas influye directamente en el coeficiente obtenido. La consistencia en los datos evidencia la fiabilidad para evaluar la eficiencia del material en aplicaciones constructivas expuestas a variaciones térmicas significativas.

6.7.7 Evaluación del coeficiente y la resistencia térmica

Para la evaluación del coeficiente de conductividad térmica equivalente de los bloques de concreto se consideró que cada espécimen podía dividirse en seis zonas de medición independiente, y que cada zona actúa como una ruta de transferencia de calor en paralelo, compartiendo el mismo espesor y estando sometidas a la misma diferencia de temperatura global. En este caso, el coeficiente de conductividad del bloque (k_{eq}) se determina mediante un promedio ponderado por el área de cada sección:

Ecuación 12

Ecuación para el cálculo del coeficiente térmico equivalente para seis áreas delimitadas

$$k_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^6 k_i}{\sum_{i=1}^6 i} \quad \left[\frac{W}{mK} \right]$$

Dado que todas las zonas evaluadas presentan el mismo espesor (L) y el mismo valor del área transversal (A) ya que forman parte del mismo bloque, la expresión anterior se simplifica a un promedio aritmético de los valores individuales de conductividad térmica. Este procedimiento se aplicó de manera sistemática a un total de quince muestras, distribuidas en dos tipos de bloques y provenientes de las tres fábricas de producción estudiadas. Para cada bloque se calcularon los valores k_{eq} , y a partir de ellos la resistencia equivalente (R_{eq}) empleando la relación:

Ecuación 13

Ecuación para el cálculo de la resistencia térmica equivalente para seis áreas delimitadas

$$R_{eq} = \frac{L}{k_{eq}} \quad \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

Los resultados obtenidos se organizaron en tablas, permitiendo analizar el comportamiento térmico promedio de cada tipo de bloque y establecer diferencias entre las fábricas evaluadas; a continuación, se presentan los valores para cada una de las muestras.

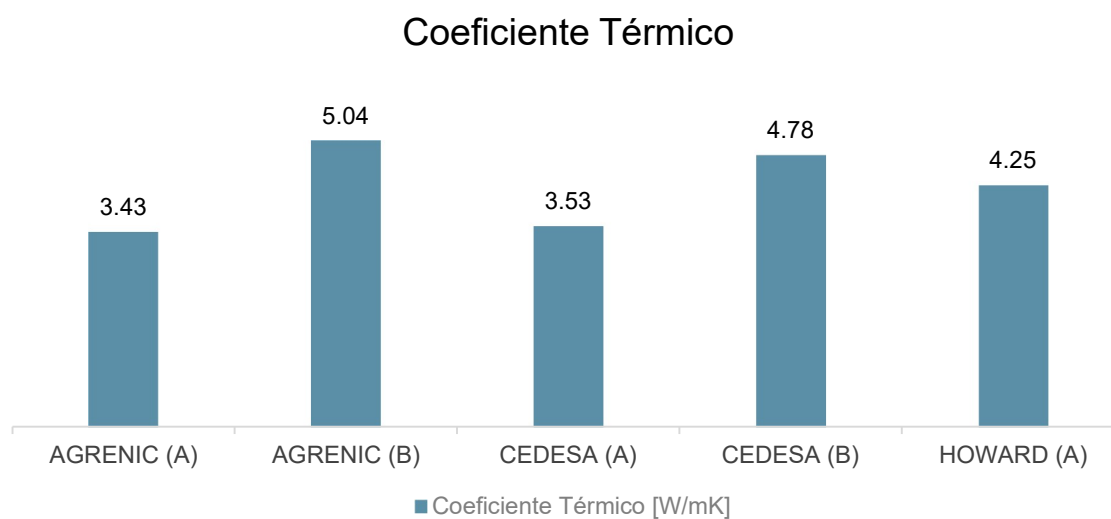
Tabla 35

Valores de coeficiente y resistencia térmica para los bloques ensayados

Fábrica	Muestra	K_{equivalente}	K_{promedio}	R_{equivalente}	R_{promedio}
AGRENIC	4A	3.09 W/mK		0.048 m ² K/W	
AGRENIC	5A	3.01 W/mK	3.43 W/mK	0.050 m ² K/W	0.045 m ² K/W
AGRENIC	6A	4.21 W/mK		0.036 m ² K/W	
AGRENIC	10B	6.26 W/mK		0.032 m ² K/W	
AGRENIC	11B	4.09 W/mK	5.04 W/mK	0.049 m ² K/W	0.041 m ² K/W
AGRENIC	12B	4.76 W/mK		0.042 m ² K/W	
CEDESA	16B	4.88 W/mK		0.041 m ² K/W	
CEDESA	17B	4.61 W/mK	4.78 W/mK	0.044 m ² K/W	0.042 m ² K/W
CEDESA	18B	4.86 W/mK		0.042 m ² K/W	
CEDESA	22A	3.55 W/mK		0.039 m ² K/W	
CEDESA	23A	3.67 W/mK	3.53 W/mK	0.038 m ² K/W	0.040 m ² K/W
CEDESA	24A	3.37 W/mK		0.041 m ² K/W	
HOWARD	28A	4.44 W/mK		0.033 m ² K/W	
HOWARD	29A	4.09 W/mK	4.25 W/mK	0.037 m ² K/W	0.035 m ² K/W
HOWARD	30A	4.23 W/mK		0.036 m ² K/W	

Figura 11

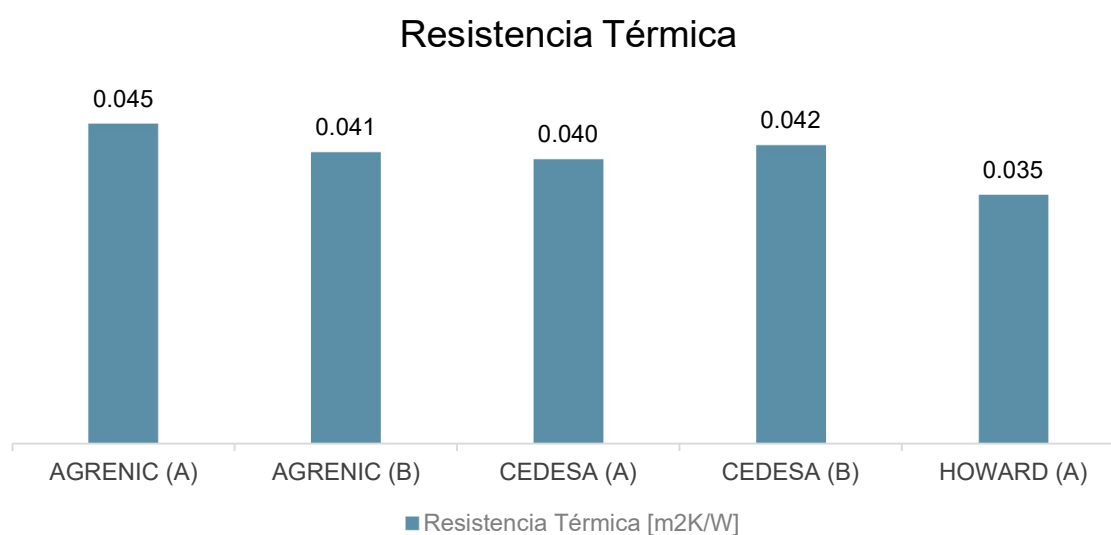
Coeficiente Térmico promedio por tipo de bloque y fábrica



Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Resistencia Térmica promedio por tipo de bloque y fábrica



Fuente: Elaboración propia

El análisis de los resultados experimentales pone en evidencia diferencias estadísticas relevantes en el desempeño térmico de los bloques de concreto provenientes de las tres fábricas evaluadas, confirmando que la naturaleza de los materiales constitutivos y los procesos de fabricación influyen directamente en la repuesta del material frente a la transferencia de calor.

En términos comparativos, los bloques de AGRENIC tipo A alcanzaron la conductividad más baja (3.43 W/mK), en consecuencia, la resistencia térmica más alta ($0.025 \text{ m}^2\text{K/W}$), lo cual los sitúa como la alternativa con mayor capacidad de aislamiento en el conjunto analizado. Por el contrario, los bloques de HOWARD tipo A y AGRENIC tipo B exhibieron valores de conductividad más elevados (4.25 y 5.04 W/mK , respectivamente), asociados a resistencias más reducidas, reflejando un comportamiento menos favorable en términos de eficiencia energética. En el caso de CEDESA, se identificó una diferencia interna entre sus dos tipologías, producto de la variación en el dimensionamiento, los tipos A presentaron un coeficiente térmico relativamente alto de 4.78 W/mK , mientras que los tipos B mostraron valores cercanos a los de AGRENIC tipo A, lo que evidencia variabilidad incluso dentro de una misma planta productora.

Los resultados obtenidos corroboran la existencia de una relación inversa entre conductividad y resistencia térmicas, en concordancia con los principios teóricos de la transferencia de calor. Este hallazgo refuerza la necesidad de considerar de manera integral las propiedades térmicas en la selección de materiales para la construcción de viviendas, dado que optar por bloques con menor conductividad y mayor resistencia térmica se traducen en un desempeño más eficiente de la envolvente edilicia, contribuyendo tanto al confort térmico interior como a la reducción de la demanda energética por climatización artificial.

6.8 Relación entre las propiedades mecánicas y térmicas de los bloques de concreto

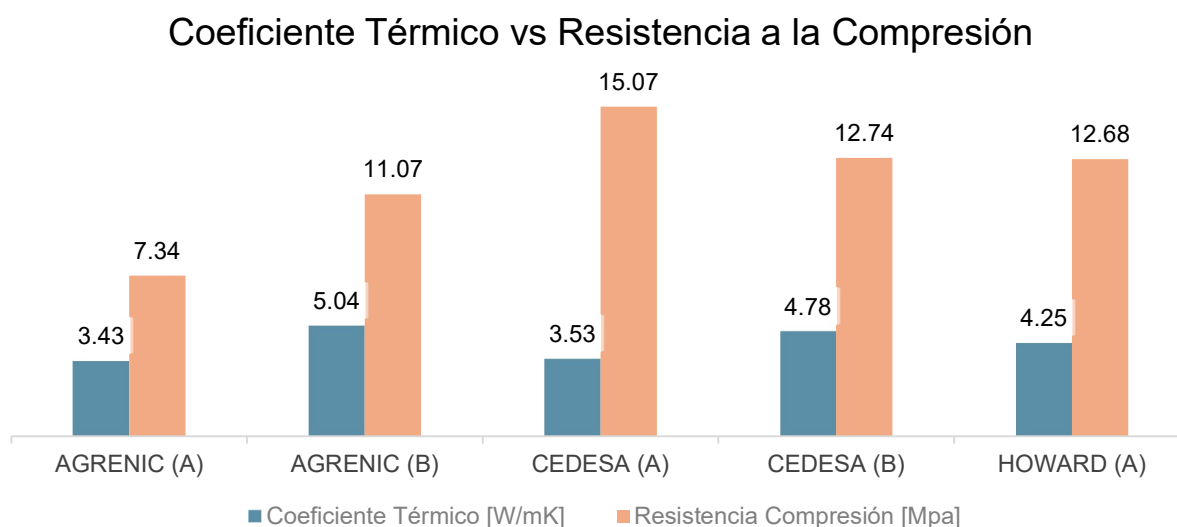
La caracterización realizada a los bloques de concreto fabricados en Managua permitió establecer vínculos entre las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y absorción de agua) y las propiedades térmicas (resistencia a la transmisión de calor); este análisis integral responde directamente al objetivo general de la investigación, pues no solo se determinaron de manera independiente los parámetros mecánicos y térmico, sino que también se evidenció la forma en que interactúan estas propiedades entre sí y su influencia en la eficiencia energética de las viviendas construidas con dichos materiales.

En términos mecánicos, los resultados muestran un rango de resistencia a la compresión entre 7.34 MPa y 15.07 MPa ; los bloques de 20cm (tipo B) tendieron a exhibir resistencias intermedias, como en el caso de AGRENIC (tipo B) con 11.07 MPa , y CEDESA (tipo B) con 12.74 MPa , mientras que HOWARD alcanzó 12.68 MPa pese a tener solo bloques de 15cm de ancho. Este comportamiento evidencia que la resistencia no depende exclusivamente de las dimensiones, sino también del grado de compactación y de la porosidad del material, aspectos reflejados en los valores de absorción de agua.

En lo referente a las propiedades térmicas, se identificó un rango de resistencia entre $0.035 \text{ m}^2\text{K/W}$ y $0.045 \text{ m}^2\text{K/W}$; los bloques con mayor ancho (20cm) mostraron, en general, mayores resistencias térmicas respecto a los de 15cm o tipo B, dado que un espesor superior implica un camino de conducción más largo. Este patrón se cumplió en los bloques de CEDESA, donde los tipos B alcanzaron $0.42 \text{ m}^2\text{K/W}$ frente a los $0.040 \text{ m}^2\text{K/W}$ del tipo A. Sin embargo, en el caso de AGRENIC, la tendencia se invirtió: los bloques tipo A (15cm) presentaron una resistencia térmica mayor que los tipos B (0.045 contra $0.041 \text{ m}^2\text{K/W}$).

Figura 13

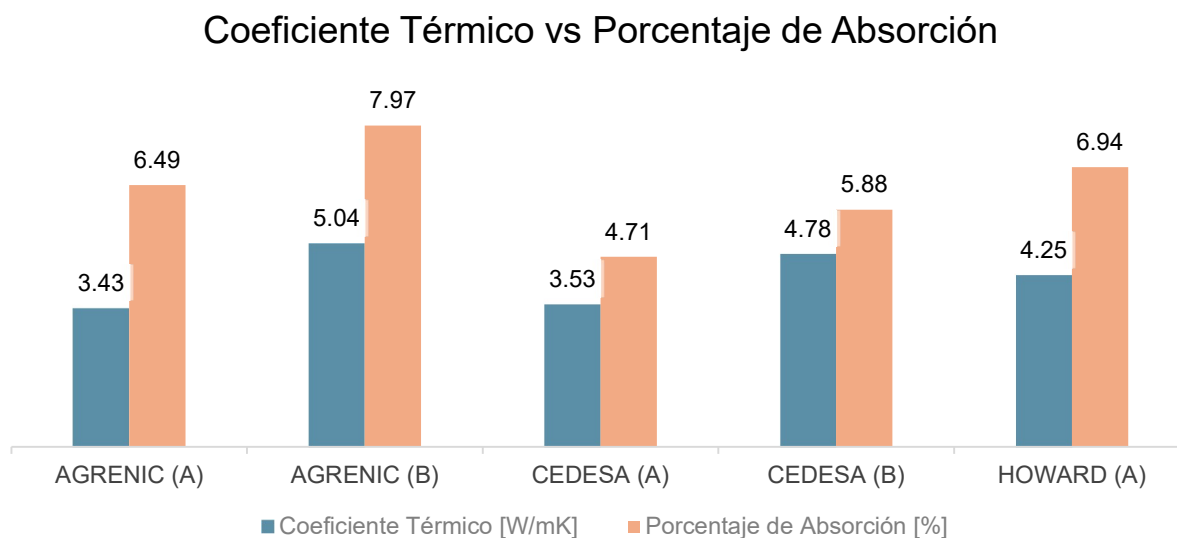
Relación entre el coeficiente térmico y la resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Relación entre el coeficiente térmico y el porcentaje de absorción



Fuente: Elaboración propia

Este comportamiento anómalo puede explicarse por elevada absorción (7.97%), la cual incrementa la porosidad y, en consecuencia, favorece la transmisión de calor, reduciendo el desempeño térmico a pesar de contar con mayor espesor en sus dimensiones.

En conjunto, los hallazgos confirman la existencia de una relación inversa entre las propiedades mecánicas y las térmicas, los bloques de mayor densidad y resistencia a la compresión – como CEDESA tipo A con 15.07 *MPa* y absorción reducida de 4.71% – muestran una menor resistencia térmica de 0.040 m^2K/W , lo que implica una mayor conductividad de calor. Por el contrario, los bloques con menor resistencia mecánica, como AGRENIC del tipo A – con una resistencia de 7.34 *MPa* – alcanzan la mayor resistencia térmica, de 0.045 m^2K/W , lo cual refleja una capacidad superior de aislamiento, aunque con un desempeño estructural más limitado.

Desde la perspectiva de la eficiencia energética, estas evidencias subrayan la necesidad de considerar de manera conjunta el comportamiento mecánico y térmico en la selección de materiales. Mientras que la resistencia a la compresión asegura el cumplimiento normativo y la seguridad estructural, la resistencia térmica condiciona el confort térmico interior y la reducción de la demanda energética por climatización. En consecuencia, la elección del bloque adecuado debe buscar un equilibrio entre estabilidad estructural y desempeño térmico, tomando en cuenta tanto el espesor como la calidad del material y capacidad absorción de agua.

7 Conclusiones

El presente estudio permitió caracterizar las propiedades mecánicas y térmicas de bloques de concretos fabricados en Managua, cumpliendo con los objetivos planteados; los ensayos realizados evidenciaron una marcada variabilidad entre fábricas y tipología de los bloques, reflejada tanto en la resistencia a la compresión como en el porcentaje de absorción de agua de cada bloque y sus resistencias térmicas.

Se obtuvieron los valores de resistencia a la compresión, oscilando entre 7.34 MPa y 15.07 MP , confirmando que la porosidad y la calidad del proceso de fabricación influyen directamente en la capacidad portante de los bloques, de igual forma, los resultados de absorción (4.71 - 7.97%) ratifican que una mayor densidad y compactación del material reducen la absorción y mejoran su desempeño estructural.

En el ámbito térmico, las resistencias oscilaron entre 0.035 y $0.045 \text{ m}^2\text{K/W}$, se observó que los bloques con mayor resistencia mecánica y menor absorción presentaron menor resistencia térmica, lo que confirma una relación inversa entre desempeño estructural y capacidad aislante. Esta correlación resalta que los bloques más densos y resistentes, si bien cumplen con las exigencias de carga, permiten una mayor transmisión de calor, mientras que los bloques más porosos ofrecen mayor aislamiento, aunque con limitaciones mecánicas.

Finalmente, el estudio aporta evidencia local sobre el impacto de las propiedades de los bloques en la eficiencia energética de las viviendas en Managua, mostrando que la selección de materiales debe equilibrar simultáneamente seguridad estructural y confort térmico, en función de las condiciones climáticas y de las normativas vigentes.

8 Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda que al momento de la selección de bloques de concreto en las edificaciones de Managua se consideren tanto las exigencias estructurales como las necesidades de aislamiento térmico. Los bloques de mayor resistencia mecánica deberían emplearse en elementos estructurales que soporten cargas significativas, mientras que aquellos con mejor desempeño térmico conviene destinarlos a muros de cerramiento donde el confort térmico y la eficiencia energética adquieren mayor relevancia.

En el ámbito industrial, es necesario fortalecer los procesos de compactación y curado de los bloques con el fin de reducir la variabilidad entre fabricantes y asegurar una calidad uniforme. Asimismo, se sugiere que las plantas productoras implementen sistemas de control que permiten mantener un equilibrio adecuado entre propiedades mecánicas y térmicas, de modo que el material cumpla simultáneamente con criterios de seguridad y eficiencia energética.

En el campo académico y de investigación, se recomienda ampliar los estudios hacia otras propiedad térmicas, como la capacidad calorífica y la difusividad, para lograr una caracterización más integral del desempeño energético de los bloques; también explorar soluciones híbridas que combinen concreto con materiales aislantes, a fin de optimizar tanto la resistencia estructural como la capacidad de aislamiento térmico.

Finalmente, desde una perspectiva normativa y social, se recomienda impulsar la normalización de parámetros mínimos de desempeño térmico, en concordancia con estándares internacionales, con el fin de promover el uso de bloques más eficientes, de modo que se reduzca la demanda energética por climatización y se contribuya a la construcción de viviendas más sostenibles y adaptadas al clima de Managua, y otras zonas del pacífico nicaragüense.

9 Bibliografía

American Society for Testing and Materials. (2003). Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. ASTM C39, C39M-03).

American Society for Testing and Materials. ASTM C31, C39, C617, C1077, C1231, Annual Book of ASTM Standards (Vol. 04.02). ASTM. Recuperado de www.astm.org.

Asamblea Nacional de Nicaragua. (2009). Norma técnica obligatoria nicaragüense: Fabricación de bloques de concreto (NTON 12 008-09). La Gaceta, No. 243, 2010.

Bala, A., & Gupta, S. (2021). Construction and Building Materials.

Biosupport Perú. (2021). Equipos de laboratorio: Qué son, tipos y funcionamiento. Recuperado de <https://www.biosoporteperu.com/equipos-laboratorio-biosupport/>

Bucher, J. L. (2015). The Metrology Handbook (2.^a ed.). ASQ Quality Press.

Callen, Herbert B. (1985). Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics. John Wiley & Sons.

Castellanos Sánchez, M. T., Obando Bastidas, J. A. (2021). Gráficos estadísticos: guía práctica para estadística descriptiva. Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia.

Chapman, A. J. (2015). Transmisión del calor (3^a ed.). BELLISCO.

Coluccio Leskow, E. (n.d.). Conductividad térmica. Recuperado de <https://concepto.de/conductividad-termica/>.

Comisión Europea. (2024). Consecuencias del cambio climático. Recuperado de https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_es#consecuencias-naturales.

Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf, E., Monforti-Ferrario, F., Becker, W., Quadrelli, R., Risquez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Köykkä, J., Grassi, G., Rossi, S., Melo, J., Oom, D. (2024). GHG emissions of all world countries.

Cuerdo Vilches, M. T. (n.d.). Ahorro de energía y reducción de emisiones en edificios. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc - CSIC).

García, A. M. (2010). Understanding heat: Concepts and applications in engineering. Journal of Heat Transfer.

García, R., & Rodríguez, G. (2018). Effect of composition and manufacturing process on the thermal conductivity of concrete blocks. Materials Today: Proceedings.

Global Alliance for Buildings and Construction. (2021). 2021 Global Status Report for Buildings and Construction. United Nations Environment Programme.

- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of Physics*. John Wiley & Sons.
- INSTITUTO NACIONAL DE INFORMACIÓN DE DESARROLLO (INIDE). *Informe de características de las viviendas 2021–2022*. Managua: INIDE, 2023.
- Instrumentos de Medición. (2024). *Instrumentos de medición: ¿Qué y cuáles son? Tipos y lista*. Recuperado de <https://instrumentosdemedicion.org/>
- Investopedia. (2024). *Descriptive statistics*. Recuperado de https://www.investopedia.com/terms/d/descriptive_statistics.asp#axzz2DxCoTnMM
- Jiji, Latif M. (2009). *Heat Conduction*. Springer.
- Kelmansky, D. M. (2009). *Estadística para todos (1ª ed.)*. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Educación de la Nación.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, properties, and materials (4th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Moran, J. M., & Moran, M. D. (1994). *Meteorology: The atmosphere and the science of weather*. Macmillan College Publishing Co.
- Pal, S., & Kumar, R. (2017). *Thermal conductivity of concrete: A review*. *Construction and Building Materials*, 133.
- Parlamento Europeo. (2023). *Cambio climático: gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global*.
- Pérez Porto, J. (2023). *Transferencia de calor: Qué es, definición y concepto*. Definición.de. Recuperado de <https://definicion.de/transferencia-de-calor/>
- Pérez Porto, J., & Gardey, A. (2019). *Mampostería - Qué es, definición y concepto*. Recuperado de <https://definicion.de/mamposteria/>.
- Pérez, M. H. (2006). *Física general (3ª ed.)*. Publicaciones Cultural.
- Planas, O. (2009). *Energía Térmica*. Recuperado de: <https://energia-nuclear.net/energia/energia-termica>.
- Real Academia Española. (n.d.). *Definición de "teoría" en el Diccionario de la lengua española (23ª ed.)*.
- Ruiz Muñoz, D. (2004). *Manual de estadística*. España: Eumed Net.
- Salant, P., Dillman, I., & Don, A. (1994). *How to conduct your own survey*. John Wiley and Sons Inc.
- Salazar, C., Del Castillo, S. (2018). *Fundamentos básicos de estadística (1ª ed.)*.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2013). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics. Cengage Learning.

Smith, J. K. (2007). Fundamentals of heat transfer: Applications in engineering. Heat Transfer Engineering.

Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., & García, C. R. (2007). Introducción a la termodinámica en ingeniería química (pp. 446-449). McGraw-Hill.

Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). Physics for Scientists and Engineers. W. H. Freeman.

Universidad de La Salle. (2019). Predicción matemática de la conductividad térmica y la capacidad calorífica en aceites vegetales.

Waldo Bustamante. (2009). Guía de Diseño para la Eficiencia energética en la Vivienda. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.

Williams, M. "What is heat conduction?" (¿Qué es la conducción de calor?). Phys.Org. (2014). Disponible en <http://phys.org/news/2014-12-what-is-heat-conduction.html>

Wilson, N. J. (2004). Engineering applications of absorption spectroscopy. Applied Spectroscopy Reviews.

10 Anexos

Figura 15

Medición de las características geométricas de los especímenes

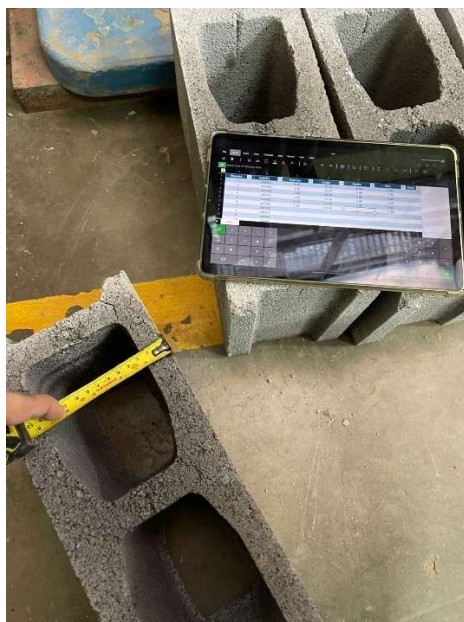


Figura 16

Medición del peso inicial de los especímenes



Figura 17

Prueba de compresión en los bloques de concreto



Figura 18

Estado de los bloques luego de ser sometidos a las pruebas de compresión



Figura 19

Lectura de los resultados de las pruebas de compresión

**Figura 20**

Colocación de los bloques para sumergirlos en agua



Figura 21

Sumersión completa de los bloques



Figura 22

Lectura del peso de los bloques luego de ser sumergidos por 24 horas



Figura 23

Colocación de los bloques en el horno para su posterior secado

**Figura 24**

Lectura del peso de los bloques una vez secados



Figura 25

Colocación del bloque de concreto en la cámara térmica

**Figura 26**

Lectura de temperaturas en las caras del bloque de concreto

