

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZÚ
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO FINAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE
CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES
DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ.**

Autores:

Hugo René Katrip Torres

Patricia Noemi Solaeche Galeano

Tutor:

Prof. Msc. Ing. Fredy Ramírez Villanueva

CORONEL OVIEDO, MAYO DE 2024



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DERECHO DE AUTOR

Quienes suscriben, Hugo René Katrip Torres, Patricia Noemi Solaeche Galeano, autores del trabajo de investigación titulado “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ”, declaran que voluntariamente ceden a título gratuito en forma pura y simple ilimitada e irrevocablemente a favor de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA, el derecho de autor de contenido patrimonial, que le corresponde sobre el trabajo de referencia. Conforme a lo anteriormente expresado, esta sesión le otorga a la FCyT la Facultad de comunicar la obra divulgarla, publicarla y reproducirla en soportes analógicos o digitales en la oportunidad que así lo estime conveniente. La FCyT deberá indicar qué autoría o creación del trabajo corresponde a mi persona y hará referencia al autor y a las personas que hayan colaborado en la realización del presente trabajo de investigación.

En la ciudad de Coronel Oviedo a los ..., del mes de mayo del 2024

.....

Firma/s



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Civil, aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores y con la siguiente nota final:

CALIFICACIÓN FINAL: _____

ACTA N°: _____

FECHA : _____

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi hijo, cuyo bienestar es mi mayor inspiración. Que este logro sea un ejemplo de perseverancia y dedicación para ti.

También dedico este esfuerzo a mis queridos padres. A mi madre Ilda, por su amor, apoyo incondicional y sabios consejos, y a mi padre Hugo, quien ya no está conmigo, pero cuya memoria y enseñanzas siguen guiando cada uno de mis pasos. Su fe en mí ha sido mi mayor fortaleza.

Con todo mi amor y gratitud, esta dedicatoria es para ustedes.

Hugo Katrip



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DEDICATORIA

A mi familia, cuyo apoyo y aliento han sido el cimiento de cada uno de mis logros.

A mi madre, ejemplo de fortaleza y perseverancia, cuyo sacrificio y dedicación han sido mi mayor inspiración.

A mi padre, cuyo recuerdo vive en mi corazón. Te dedico este logro con la esperanza de que, dondequiera que estés, te sientas orgulloso.

A mis hermanos, que juntos hemos superado desafíos y celebrado victorias, y este es un triunfo más que compartimos.

A mi compañero de vida, por su paciencia y comprensión. Tu presencia ha sido fundamental en este viaje, dándome la fuerza y el ánimo para continuar incluso en los momentos más difíciles.

A ustedes les dedico con todo mi corazón este logro.

Patricia Solaeche



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a nuestros padres, quienes siempre estuvieron con nosotros, brindándonos su apoyo incondicional y motivándonos a ser personas íntegras y excelentes profesionales.

Extendemos nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Fredy Villanueva por su paciencia y la desinteresada entrega de conocimientos. Su guía y dedicación han sido fundamentales para la realización de este proyecto.

A la ITAIPU Binacional, y nuestro especial agradecimiento al Ing. Ricardo Rodríguez, al Ing. Fernando Ramos y al Ing. Luis Vellacich, quienes nos brindaron su apoyo y nos permitieron utilizar el laboratorio de concreto de la ITAIPU Binacional para la ejecución de este proyecto final de grado. Su colaboración ha sido invaluable y decisiva para el éxito de nuestro trabajo.

A todos ustedes, gracias.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

RESUMEN

Los pavers, o bloques de hormigón para pavimentación, se utilizan ampliamente para pavimentar zonas de mucho tráfico vehicular y peatonal. Su uso ha crecido significativamente, especialmente en áreas de alto tráfico y zonas concurridas. Esto ha llevado al surgimiento de varias empresas dedicadas a la fabricación de estos materiales, cuya calidad y propiedades físico-mecánicas a menudo no están especificadas. Paraguay, a diferencia de países como Brasil y Uruguay, no tiene requisitos normativos de calidad que regulen la producción de pavers de hormigón. Esto impide garantizar la durabilidad de estos materiales. Este trabajo busca evaluar la calidad de los pavers comercializados en las regiones de Alto Paraná y Caaguazú en comparación con los requisitos normativos existentes. Para esto, fueron tomadas muestras de 5 fabricantes (A; B, C, D y E): 2 de Alto Paraná y 3 de Caaguazú. Cada lote de muestra está constituido por 10 cuerpos de prueba tomados de manera aleatoria del mismo lote de producción. Los parámetros evaluados fueron Análisis Dimensional, Absorción de agua (%A), Resistencia a la compresión simple (RC), módulo de elasticidad dinámico (ED). De manera adicional fue determinada la Velocidad de Pulso de Ultrasonido (VPU), ensayo no destructivo, para evaluar su potencial como ensayo de control de calidad en la producción de los pavers. Los ensayos muestran que el %A varía entre 3,0%, y 6,78% entre lotes. Según la norma NBR 9781:2013, el %A máximo permitido es 6%, siendo sólo el lote C el no conforme con este requisito. Para los ensayos de RC, la NBR establece un mínimo de 35 MPa en promedio. Ninguno de los lotes ha alcanzado este valor, mostrándose en los resultados una alta variabilidad entre muestras del mismo lote, más de 100% inclusive. El análisis de los gráficos de %A, RC y ED en función de VPU indica que, para cada lote de muestras, es posible establecer tendencias claras que ayudan a identificar variabilidades y predecir comportamientos en determinadas situaciones. Este trabajo contribuirá a comprender la calidad de los pavers en Paraguay y a identificar mejoras necesarias para asegurar su durabilidad en áreas de alto tráfico.

Palabras clave: Pavers, calidad, absorción, resistencia, normativas, durabilidad.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ABSTRACT

Concrete pavers, or paving blocks, are widely used for paving high-traffic vehicular and pedestrian areas. Their use has significantly increased, especially in busy and high-traffic zones. This has led to the emergence of several companies dedicated to manufacturing these materials, whose quality and physical-mechanical properties are often unspecified. Unlike countries like Brazil and Uruguay, Paraguay lacks regulatory quality standards for the production of concrete pavers. This hinders the ability to ensure the durability of these materials. This study aims to evaluate the quality of pavers sold in the regions of Alto Paraná and Caaguazú compared to existing normative requirements. Samples were taken from five manufacturers (A, B, C, D, and E): two from Alto Paraná and three from Caaguazú. Each sample batch consisted of ten test specimens randomly taken from the same production batch. The evaluated parameters were dimensional analysis, water absorption (%A), compressive strength (CS), and dynamic modulus of elasticity (ED). Additionally, the ultrasonic pulse velocity (UPV), a non-destructive test, was determined to evaluate its potential as a quality control test in paver production. The tests showed that %A varied between 3.0% and 6.78% among batches. According to NBR 9781:2013, the maximum allowable %A is 6%, with only batch C not meeting this requirement. For the CS tests, the NBR standard requires a minimum average of 35 MPa. None of the batches reached this value, with the results showing high variability among samples from the same batch, exceeding 100%. Analysis of the %A, CS, and ED graphs as a function of UPV indicates that clear trends can be established for each sample batch, helping to identify variabilities and predict behaviors in specific situations. This work will contribute to understanding the quality of pavers in Paraguay and identifying necessary improvements to ensure their durability in high-traffic areas.

Keywords: Pavers, quality, absorption, resistance, standards, durability.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE

CAPITULO I	1
Aspectos generales	1
1.1.	14
1.2.	15
1.3.	16
1.4.	17
1.5.	19
1.6.	19
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
1.7.	20
1.7.4.	22
CAPITULO II	10
2.1	23
2.1.1.	23
2.1.2.	23
2.1.3.	24
2.1.4.	24
2.1.4.1.	24



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

2.1.4.1.1.	24
2.1.4.1.2.	25
2.1.4.1.3.	25
2.1.4.1.4.	25
2.1.4.2.	26
2.1.4.2.1.	26
2.1.4.2.2.	26
2.1.4.2.3.	27
2.1.4.2.4.	27
2.1.4.3.	28
2.1.4.3.1.	28
2.1.4.3.2.	29
2.1.4.3.3.	29
2.1.4.3.4.	30
2.1.4.4.	30
2.1.4.4.1.	31
2.1.4.4.2.	31
2.1.4.4.3.	31
2.1.4.4.4.	32



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

RESULTADOS Y ANÁLISIS	21
CAPITULO IV	36
ANEXO	1
Bibliografía	1
Cuerpos de prueba	8
Equipos y procedimiento	11
Relatorios de ensayo	16



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Muestras identificadas en laboratorio	24
Figura 2. Gráfico de cajas - Ensayos de % Absorción de agua.	27
Figura 3. Gráfico de cajas - Ensayos de módulo de elasticidad dinámico por lote.	28
Figura 4. Gráfico de cajas - Ensayos de velocidad de pulso de ultrasonido por lote.	30
Figura 5. Gráfico de cajas - Ensayos de resistencia a compresión simple.	31
Figura 6. Gráfico de % Absorción de agua en función de la velocidad de pulso de ultrasonido	32
Figura 7. Gráfico de Resistencia a la compresión simple en función de la velocidad de pulso de ultrasonido.	34
Figura 8. Gráfico de Resistencia a la compresión simple en función al módulo de elasticidad dinámico.	35
Figura 9. Lote A Concretubos.	8
Figura 10. Lote B. Bertrand tipo A.	9
Figura 11. Lote C. Bertrand tipo B.	9
Figura 12. Lote D. Santa Ana.	10
Figura 13. Lote E. Baratote.	10
Figura 14. Paquimetro Mitutoyo	11
Figura 15. Balanza Explorer	11
Figura 16. Proceq Pundit Modelo HK-AH-120A500-DH	12
Figura 17. Calibración de equipo Proceq Pundit para ensayo de Ultrasonido	12



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Figura 18. Ensayo de Ultrasonido	13
Figura 19. Aparato Sonelastic	13
Figura 20. Ensayo de Módulo de Elasticidad	14
Figura 21. Ensayo de Módulo de Elasticidad	14
Figura 22. Muestra saturada para ensayo de absorción.	15
Figura 23. Ensayo de Compresión.	15
Figura 24. Relatorio de ensayo compresión – Laboratorio ITAIPU Binacional.	18



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factor multiplicador en función a espesor de la pieza.	19
Tabla 2. Coeficiente de Student en función al número de piezas.	20
Tabla 3. Codificación de muestras de pavers	24
Tabla 4. Resumen del análisis dimensional de cuerpos de prueba por lote.	25
Tabla 5. Resultados de los ensayos de módulo % absorción de agua por lote.	26
Tabla 6. Resultados de los ensayos de módulo de elasticidad dinámico por lote.	28
Tabla 7. Resultados de los ensayos de velocidad de pulso de ultrasonido por lote.	29
Tabla 8. Resultados de los ensayos de resistencia a compresión simple.	30
Tabla 9. Modelo de tendencia de la absorción (Ab) en función a la velocidad de pulso (VPU).	33
Tabla 10. Modelo de tendencia de la absorción (RC) en función a la velocidad de pulso (VPU).	34
Tabla 11. Dimensiones de los cuerpos de prueba del Lote Bertrand I	3
Tabla 12. Dimensiones de los cuerpos de prueba del Lote Bertrand II	3
Tabla 13. Dimensiones de los cuerpos de prueba del Lote Santa Ana	4
Tabla 14. Dimensiones de los cuerpos de prueba del Lote Baratote	4
Tabla 15. Resultados de los ensayos de absorción de agua, módulo de elasticidad, velocidad de pulso ultrasónico Resistencia a la compresión	7



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

CAPITULO I

Aspectos generales

1.1. INTRODUCCIÓN

Los adoquines son piezas de concreto simple que pasaron por un proceso de vibro compactación, las mismas brindan un tránsito confortable y seguro, además resultan más económicos y presentan un buen comportamiento ante las condiciones de lluvias. Son estéticos y resistentes al desgaste, son fáciles de instalar y mantener. Estos materiales son ampliamente utilizados en pavimentaciones y otras aplicaciones urbanísticas, por ello deben cumplir con altos estándares de calidad para garantizar su desempeño y longevidad. Sin embargo, la variabilidad en las características de estos materiales ha generado la necesidad de un estudio detallado que permita establecer su calidad y comportamiento bajo diversas condiciones.

El propósito central de este proyecto es evaluar la calidad de los bloques de hormigón fabricados y comercializados en las regiones de Alto Paraná y Caaguazú que proporcione una visión integral sobre las características físicas y el comportamiento mecánico de los pavers, permitiendo así evaluar su calidad, al compararse sus propiedades con los requisitos normativos establecidos en las normas vigentes.

En el contexto del desarrollo y progreso de una sociedad, la calidad de los materiales de construcción desempeña un papel fundamental en la durabilidad y eficiencia de las infraestructuras. En este sentido, el presente Proyecto Final de Grado titulado "**Caracterización Mecánica de los Pavers de Concreto Comercializados en las Regiones de Alto Paraná y Caaguazú**" aborda un aspecto importante en el ámbito de la ingeniería civil: la evaluación y optimización de los bloques de hormigón prefabricados (pavers) utilizados en estas regiones clave de la República del Paraguay.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la utilización de pavers de concreto va en continuo crecimiento, son empleados en el diseño de pavimentos de uso vehicular, peatonal, portuario y de almacenes, también se los utiliza en cocheras, plazas, banquetas de la casa, estacionamientos, etc.

Los pavers de concreto utilizados en vías de tráfico deben ser capaces de soportar solicitaciones de tránsito, ambientales y proveer una estructura durable que permita la circulación de los vehículos con comodidad y seguridad. Actualmente no se cuenta en el país con un método de diseño propio, y a la hora de diseñar un pavimento se utiliza información referencial de materiales de construcción usados en otros países. Con esto no se garantiza la validez bajo condiciones distintas, por lo tanto, tampoco asegura un desempeño adecuado de los pavers.

Se desconocen las características mecánicas de los pavers que existen en el mercado paraguayo, por lo que resulta difícil tener una idea de cuál es la mejor opción al momento de elegir. Cabe indicar que a nivel nacional los materiales utilizados en la construcción de las viviendas se utilizan sin considerar criterios pues independientemente del nivel socioeconómico de la población, existe un desconocimiento sobre estos conceptos y en la mayoría de los casos los materiales que se utilizan consideran únicamente el costo de inversión inicial.

Sin duda, existe gran falta de contenido informativo como artículos o trabajos de investigación sobre la caracterización de materiales de construcción en el país y no existe actualmente una normativa paraguaya que especifique los métodos de ensayos a seguir para la determinación de las propiedades y mecánicas de los pavers fabricados en el Paraguay. Esta falta de regulación y conocimiento limita la capacidad de asegurar la calidad y adecuación de los pavers utilizados en diversas aplicaciones, afectando potencialmente la durabilidad y eficiencia de las infraestructuras construidas con estos materiales



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

1.3. ANTECEDENTES

Investigaciones previas a este proyecto lo realizaron Bustamante, Martínez y Macías [1] en su trabajo de investigación titulado caracterización térmica y mecánica de bloque de concreto, en el cual se caracterizó tanto las propiedades térmicas como las mecánicas de muestras de concreto, que fueron fabricados en la región de Pichincha de Ecuador. Se determinaron varias magnitudes como por ejemplo el contenido de humedad, la resistencia a la compresión, y la conductividad térmica. Después de haber obtenido los resultados en los diferentes ensayos, llegaron a la conclusión de que los valores varían dependiendo del método de elaboración ya que se utilizan moldes elaborados por las mismas productoras y no constan de una normativa que regule el dimensionamiento de estas. Por lo que al final de su investigación recomiendan a las autoridades correspondientes, crear un ente que pueda actuar de reguladora para las productoras de bloques de concreto, ya que los moldes que se utilizan los fabricantes hacen que se produzcan variaciones en el dimensionamiento de los bloques.

Saraguro, Carrión, Torres y Guerrero [2] en el artículo llamado la resistencia a la compresión y el desgaste en adoquines de concreto, en el cual realizan varios ensayos tratando de encontrar una relación entre dos de las propiedades más significativas de los adoquines. Efectuaron el análisis de resistencia a la compresión y desgaste, buscando una relación entre ellos. En este proceso de búsqueda realizaron trabajos normalizados de campo y laboratorio de varias fábricas de la ciudad de Quito. Los resultados que obtuvieron en este trabajo de investigación lo analizaron mediante métodos estadísticos, validados a través de una prueba de hipótesis y significancia del p-valor. En primera instancia se obtuvo un valor muy bajo de relación, por lo tanto, concluyeron que no existe relación entre dichos ensayos. Por lo que buscan proponer un valor máximo de desgaste para que sea tomado en cuenta para futuros estudios.

Juan Fernando Arango Londoño [3] en el artículo denominado Adoquines de concreto: propiedades físico-mecánicas y sus correlaciones presenta los resultados de los ensayos de diferentes propiedades físico-mecánicas realizados sobre muestras de adoquines que fueron producidos en Colombia, que constituye la base experimental para actualizar la norma NTC 2017



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

(Adoquines de concreto para pavimentos) del ICONTEC. Analizó un total de 40 muestras, provenientes de 10 productores colombianos diferentes, fueron ensayadas en desarrollo del proyecto de investigación (Nuevo método para determinar la resistencia al desgaste de pisos). Se determinaron las variables físico-mecánicas de las muestras con base en diferentes normas, se discuten y recomiendan las variables a ser controladas en la norma de calidad de producto en Colombia. Se reportó el valor para la resistencia a la abrasión a ser incluido en la norma de producto, y de forma adicional, se presentó la densidad de acabado de pisos en adoquines para efecto del cálculo de cargas muertas de diseño en estructuras como puentes y edificaciones.

1.4. JUSTIFICACIÓN

En Paraguay, la utilización de pavers de concreto ha crecido significativamente, especialmente en áreas de alto tráfico y zonas concurridas. Sin embargo, aún no se han realizado estudios que analicen las características mecánicas de estos pavers en el mercado local. Este proyecto tiene como objetivo caracterizar y desarrollar una normativa específica para los pavers de concreto utilizados en las regiones de Alto Paraná y Caaguazú, considerando su uso y aplicación.

Desde un punto de vista económico, la implementación de esta normativa aportará beneficios sustanciales tanto a entidades públicas como privadas. La utilización de pavers que cumplan con estándares técnicos rigurosos mejorará la calidad de las infraestructuras, reduciendo costos asociados a reparaciones y mantenimientos frecuentes. Al evitar el uso de materiales deficientes, se asegurará un desempeño superior y una mayor durabilidad de las obras viales y urbanísticas.

Este proyecto proporcionará una base sólida para futuras investigaciones académicas centradas en mejorar las propiedades de los materiales de construcción en Paraguay. La información generada será fundamental para el desarrollo de nuevas normativas y métodos de ensayo, enriqueciendo el conocimiento científico en el campo de la ingeniería de materiales y promoviendo innovaciones y mejoras continuas en la calidad de los productos de construcción.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZÚ
Sede Coronel Oviedo
Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.
FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.
Coronel Oviedo – Paraguay



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

disponibles en el mercado paraguayo.

El desarrollo de este proyecto también impulsará una mayor conciencia sobre la importancia de utilizar materiales que no solo sean económicamente viables, sino también eficientes en términos de rendimiento y sostenibilidad. Esto permitirá una mejor calidad de vida para la población, promoviendo el uso de materiales que contribuyan a infraestructuras más seguras y duraderas.

Este proyecto resultó viable porque se dispuso de los recursos necesarios para su apropiado desarrollo, que son las fuentes de información y herramientas. Esto implicó que la investigación se pudo llevar a cabo sin ningún inconveniente.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

1.5. HIPOTESIS

Se espera que los cuerpos de prueba de los pavers de concreto comercializados en las regiones de Alto Paraná y Caaguazú cumplan o no estén alejados de los valores admisibles establecidos por la norma NBR 9781:2013 en cuanto a absorción de agua, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad dinámico. Estos datos servirán como base para crear una normativa específica en Paraguay que asegure la calidad y seguridad de los pavers de concreto utilizados en infraestructuras, contribuyendo así a la mejora continua de la calidad de los materiales de construcción en el país.

1.6. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar las características mecánicas de los pavers de concreto comercializados en las regiones de Alto Paraná y Caaguazú.

Objetivos específicos

- Determinar las características físicas de los pavers de concreto comercializados en Alto Paraná y Caaguazú.
- Describir el comportamiento de los pavers de concreto ante determinadas sollicitaciones.
- Proponer lineamientos aplicables para una normativa de construcción donde se especifiquen valores admisibles para características mecánicas de los pavers de concreto.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

1.7. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

La determinación de las características mecánicas para los pavers de concreto es de suma importancia ya que con ellas conocemos la resistencia y deformación que ofrece un cuerpo al ser sometido a determinadas solicitaciones. Con el estudio de dichas características se puede garantizar la durabilidad del material.

Una de las características mecánicas estudiadas en este trabajo de investigación es el esfuerzo a compresión. El esfuerzo de compresión ocurre cuando la fuerza normal a un cuerpo empuja a este [4].

1.7.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN

El ensayo de compresión consiste en someter a un cuerpo a la acción de dos fuerzas opuestas para que disminuya su volumen, haciendo que el material se quiebre, determinando de esta manera su resistencia [5], es el más importante para este trabajo, ya que los pavers estarán sometidos constantemente a este tipo de esfuerzo.

El libro de especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes [6], afirma que la resistencia a la compresión en adoquines de concreto es un ensayo que determina la capacidad máxima que soporta un adoquín antes de romperse bajo la acción de una carga creciente continua, la misma que posee un valor, donde se establece una resistencia a la compresión no menor a 300 kg/cm² para tráfico medio o ligero y no menor a 400 kg/cm² para vías de tráfico alto.

Comparando con la NBR 9781 [5], encontramos en la misma, una exigencia mayor, de 35 MPa en adelante para tráfico de peatones, vehículos ligeros y vehículos comerciales. Y de 50 MPa en adelante para vehículos pesados y solicitaciones capaces de producir una abrasión acentuada.

La resistencia característica del hormigón (f_{ck}), es el valor que presenta un grado de confianza del 95 %, lo que se traduce, que hay una probabilidad de 0,95 de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas de hormigón más altos que el (f_{ck}) [7]. Para calcular las dosificaciones adecuadas a la resistencia mecánica, y de acuerdo con las condiciones de servicio



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

previstas en los cálculos, en función de las propiedades de los materiales y a la disposición, forma y tamaño de encofrados, previamente se efectúan muestras de mezclas de hormigón en base a dosificaciones teóricas, ensayadas en probetas separadas con esas mezclas para verificar si la resistencia obtenida con la dosificación teórica está en coincidencia con la obtenida por cálculo.

1.7.2. ENSAYOS DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO POR EXCITACIÓN ACÚSTICA.

El módulo de elasticidad (E), también llamado módulo de Young es un parámetro característico de cada material que indica la relación existente (en la zona de comportamiento elástico de dicho material) entre los incrementos de tensión aplicados ($d\sigma$) en el ensayo de tracción y los incrementos de deformación longitudinal unitaria ($d\varepsilon$) producidos. Equivale a la tangente en cada punto de la zona elástica en la gráfica tensión-deformación ($\sigma - \varepsilon$) obtenida del ensayo de tracción. En muchos casos el módulo de elasticidad es constante durante la zona elástica del material, indicando un comportamiento lineal del mismo (Ley de Hooke) [4]. El módulo de elasticidad indica la rigidez de un material, cuanto más rígido es un material mayor es su módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad dinámico es un parámetro que mide la rigidez del material, esencial para entender su comportamiento bajo cargas y su resistencia a deformaciones debido al movimiento que ocurre sobre el material a analizar. [8]

Para este proyecto obtuvimos el módulo de elasticidad dinámico por medio de un dispositivo que emite ondas acústicas y recibe una respuesta vibracional que permite el cálculo de dicho módulo. A partir de su obtención, indirectamente también obtendremos el módulo de elasticidad estático.

1.7.3. HUMEDAD Y ABSORCION DE AGUA

La absorción de agua, expresada en porcentaje, es el incremento del volumen de la masa de un cuerpo sólido poroso, debido a la penetración del agua en sus poros, en relación con su masa en estado seco.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

La NBR 9781 [5] establece los requisitos para bloques intertrabados de hormigón usados en pavimentos. Este estándar es ampliamente reconocido y utilizado en la evaluación de la calidad y durabilidad de los pavers de concreto. Dicha norma proporciona directrices específicas para realizar ensayos que miden diversas propiedades de estos materiales, incluyendo la absorción de humedad, la cual es un indicador clave de la resistencia del material a la infiltración de agua y su susceptibilidad a daños por congelación y deshielo.

La relevancia de este ensayo para la evaluación de pavers se centra en su capacidad para proporcionar datos objetivos sobre la calidad del concreto utilizado, la densidad de la mezcla, la eficacia de los aditivos y la efectividad de los procesos de curado. Estos datos son fundamentales para los fabricantes, contratistas y diseñadores de pavimentos, ya que les permiten seleccionar los materiales más adecuados y diseñar sistemas de pavimentación que cumplan con los requisitos de resistencia y durabilidad en diferentes condiciones climáticas y de tráfico.

1.7.4. ENSAYO DE ULTRASONIDO

El ensayo de ultrasonido, es una prueba no destructiva que nos permite conocer la calidad del concreto, así también características como la homogeneidad e integridad estructural. Esto se realiza por medio de un dispositivo que propaga ondas ultrasónicas a través de la muestra. La medida de la velocidad de estas ondas emitidas ofrece información sobre la calidad del material. [9]

Este ensayo es particularmente relevante para evaluar los pavers de concreto, ya que proporciona información crucial sobre su comportamiento estructural y durabilidad. Al entender la rigidez de los pavers, se puede predecir mejor su rendimiento en condiciones reales de uso, como en pavimentos sometidos a tráfico vehicular y cambios ambientales.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

CAPITULO II

2.1 METODOLOGÍA

2.1.1. MATERIALES Y MÉTODOS

Para esta investigación se utilizaron pavers de concreto de forma rectangular, comercializados por distribuidores y fabricantes de las regiones de Alto Paraná (Hernandarias, Ciudad del Este) y Caaguazú (Coronel Oviedo). Se determinaron las características físicas y mecánicas, primeramente, se verificaron las dimensiones y pesos de los pavers, luego fueron sometidos a los ensayos de absorción de agua, ultrasonido, módulo de elasticidad dinámico y compresión.

Los pavers fueron recolectados de comerciales tanto de distribución como de fabricación de las Ciudades de Coronel Oviedo, Ciudad del Este y Hernandarias, que fueron luego transportados al laboratorio de concreto de la Itaipu Binacional para someter a los mismos a los ensayos que se explican más adelante.

2.1.2. CLASIFICACIÓN DE MATERIALES DE ACUERDO CON CIUDAD Y LOCAL COMERCIAL

Debido a que en Paraguay no se cuenta con ninguna norma de clasificación de pavers en donde se especifiquen características tales como dimensiones y formas, nos limitamos a estudiar solo los pavers de forma rectangular.

Según la NBR [5] para la realización de ensayos a pavers de concreto se necesitan 4 muestras de cada lote de fabricación, para este trabajo se utilizaron 50 unidades de pavers en total, 10 unidades de fabricantes y 20 unidades de distribuidores de Coronel Oviedo, 10 unidades de



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

fabricantes de la Ciudad de Hernandarias y 10 unidades de distribuidores de Ciudad del Este. Todos los bloques tenían una edad superior a los 28 días.

2.1.3. MEDICIÓN

Se llevó a cabo la medición de los bloques con ayuda de la herramienta llamada paquímetro, de la marca Mitutoyo, es un instrumento de medición, con una longitud máxima de 300 mm y una precisión de 0.05 mm. El mismo se utilizó para medir con precisión las dimensiones de los cuerpos de prueba. Este instrumento está diseñado para realizar mediciones internas, externas y de profundidad, asegurando exactitud en las aplicaciones de ingeniería y manufactura. Su cuerpo principal incluye una escala graduada y dos juegos de mandíbulas para diferentes tipos de mediciones, así como una barra para medir profundidades, permitiendo obtener resultados detallados y fiables.

2.1.4. ENSAYOS

2.1.4.1. Ensayo de Ultrasonido

El principio del ensayo se basa en la propagación de ondas ultrasónicas a través del material. La velocidad de estas ondas varía según las propiedades del concreto, y su medición ofrece información valiosa sobre su estado y calidad.

Este ensayo es especialmente útil para evaluar pavos de concreto, ya que permite determinar su uniformidad y detectar defectos ocultos sin dañar las muestras.

2.1.4.1.1. Materiales para el ensayo

- Se seleccionaron muestras representativas de pavos de concreto de diferentes lotes para asegurar un análisis exhaustivo de su calidad.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

2.1.4.1.2. Equipos

- El equipamiento de ultrasonido que se utilizó fue el Proceq Pundit Modelo HK-AH-120A500-DH, este es un equipo avanzado para pruebas de ultrasonido en concreto, caracterizado por proporcionar un rango de frecuencias adecuado para concreto, una alta precisión en la medición de tiempos de tránsito y una facilidad de uso y capacidad para realizar mediciones consistentes.

2.1.4.1.3. Procedimiento

- Las muestras se prepararán adecuadamente, limpiándolas y midiendo sus dimensiones.
- Se configuró el equipo Proceq Pundit según las especificaciones del fabricante, calibrándolo antes de cada uso para asegurar mediciones precisas.
- Primeramente, se colocó de forma correcta del transductor en la muestra.
- Luego se procedió a la generación y captura de ondas ultrasónicas.
- Se registraron de los tiempos de tránsito de las ondas a través del concreto.
- Finalmente se anotaron los tiempos de tránsito y se calcularán las velocidades de propagación, utilizándolas para evaluar la calidad del concreto.

2.1.4.1.4. Cálculo de Velocidad de Propagación

Para el cálculo de la Velocidad de propagación se utilizó la siguiente ecuación.

$$V = d/t \quad (1)$$

Donde:

- V es la velocidad de propagación.
- d es la distancia recorrida.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

- t es el tiempo que tardó en recorrer la distancia.

2.1.4.2. Ensayo de módulo de elasticidad dinámico

El ensayo por excitación acústica es un método no destructivo que permite determinar el módulo de elasticidad dinámico. Utiliza ondas sonoras para estimular las muestras y mide su respuesta. Este enfoque es valioso por su rapidez, precisión y la capacidad de evaluar propiedades internas del material sin dañarlo.

El ensayo se basa en la generación de ondas acústicas a través de las muestras y la medición de su respuesta vibracional. La velocidad de las ondas sonoras a través del material y la frecuencia de resonancia se utilizan para calcular el módulo de elasticidad. Este valor se obtiene a partir de la relación entre la densidad del material, la velocidad del sonido y la frecuencia de resonancia, proporcionando una medida directa de la rigidez del concreto.

2.1.4.2.1. Materiales para el ensayo

- Se utilizaron muestras representativas de pavers de concreto, seleccionadas de diversos lotes para evaluar su módulo de elasticidad dinámico.

2.1.4.2.2. Equipos

- Balanza: Utilizada para determinar con precisión el peso de cada muestra de paver.
- Paquímetro: Empleado para medir las dimensiones exactas de las muestras, como longitud, anchura y altura.
- Aparato Sonelastic: Esencial para la realización del ensayo de módulo de elasticidad dinámico, el Sonelastic genera y mide las ondas acústicas en las muestras de paver.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

2.1.4.2.3. Procedimiento

- Se realizó las revisiones y mantenimientos periódicos a todos los equipos para asegurar su funcionamiento adecuado.
- La balanza y el parquímetro se calibraron antes de iniciar el ensayo para garantizar la precisión de las mediciones.
- Primeramente, se eligieron muestras representativas de pavers de concreto para asegurar la validez de los resultados del ensayo.
- Se utilizó el parquímetro para medir con precisión las dimensiones (longitud, anchura y altura) de cada muestra. Estos datos fueron esenciales para los cálculos posteriores.
- Se procedió al pesaje cada muestra utilizando la balanza analítica para obtener su masa exacta.
- Seguidamente, se procedió a configurar el aparato Sonelastic según las especificaciones del fabricante, asegurando que todos los componentes estén correctamente calibrados y funcionales.
- Luego se ubicó la muestra de paver en la posición adecuada dentro del dispositivo Sonelastic para permitir una excitación y detección óptimas de las ondas acústicas.
- Se inició el proceso de excitación acústica. El aparato genera ondas sonoras que atraviesan la muestra y registra la respuesta vibracional del material.
- Finalmente se registraron los datos, anotando los datos relevantes obtenidos, como la frecuencia de resonancia y el tiempo de tránsito de las ondas acústicas a través de la muestra.

2.1.4.2.4. Cálculo del Módulo de Elasticidad Dinámico

Para el cálculo del Módulo de Elasticidad Dinámico se utilizó la siguiente ecuación.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

$$E = \rho * (V_s)^2 \quad (2)$$

Donde:

- E es el módulo de elasticidad dinámico.
- ρ es la densidad del material, calculada como la masa dividida por el volumen de la muestra.
- V_s es la velocidad del sonido en el material, que se deriva de la frecuencia de resonancia y las dimensiones de la muestra.

2.1.4.3. Determinación de absorción de agua

El objetivo principal de este ensayo es determinar la absorción de humedad de los pavers de concreto, de acuerdo con los procedimientos especificados en la NBR 9781 [5]. La absorción de humedad es un factor crítico que influye en la durabilidad y en la resistencia a la degradación ambiental de los pavers de concreto. Medir esta propiedad permite evaluar si los pavers cumplen con los estándares de calidad necesarios para su uso en aplicaciones de pavimentación, asegurando así su eficacia y longevidad en infraestructuras viales.

El ensayo consiste en sumergir el paver en agua durante un período de tiempo especificado en la norma, para luego medir el cambio en su peso antes y después de la inmersión. La diferencia en peso indica la cantidad de agua absorbida por el paver, que se expresa como un porcentaje del peso inicial del paver.

2.1.4.3.1. Materiales para el ensayo

- Se utilizaron muestras representativas de pavers de concreto, seleccionadas de diversos lotes.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

2.1.4.3.2. Equipos

- Estufa: Utilizada para secar cada muestra de paver antes de sumergirla al agua.
- Balanza: Utilizada para determinar con precisión el peso de cada muestra de paver.
- Recipientes de inmersión: Utilizado para sumergir en agua cada muestra de paver.

2.1.4.3.3. Procedimiento

- Para comenzar, elegimos una cantidad representativa de pavers de cada lote para el ensayo, asegurándonos de que estén limpios y libres de daños o defectos visibles.
- Acondicionamos las muestras en un ambiente con una temperatura de 20-30°C y una humedad relativa del 50-80% durante al menos 24 horas antes del ensayo.
- Verificamos y calibramos los equipos para su correcto funcionamiento.
- Pesamos cada muestra en su estado seco con una balanza de precisión para obtener el peso inicial y anotamos estos valores para su uso posterior.
- Sumergimos completamente las muestras en agua a una temperatura de 20-30°C. Nos aseguramos de que las muestras estén completamente cubiertas por el agua.
- Dejamos las muestras sumergidas durante 24 horas para permitir una absorción de agua adecuada.
- Al finalizar el período de inmersión, retiramos las muestras del agua.
- Limpiamos suavemente la superficie de las muestras para eliminar el exceso de agua, teniendo cuidado de no extraer el agua absorbida por los poros del concreto.
- Pesamos cada muestra inmediatamente después de limpiarla para obtener el peso húmedo.
- Registramos los datos obtenidos para posteriormente realizar el cálculo de absorción de humedad



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

2.1.4.3.4. Cálculo de la Absorción de Humedad

Calculamos la absorción de humedad de cada muestra utilizando la siguiente ecuación.

$$A(\%) = \frac{PH - PS}{PS} * 100 \quad (3)$$

Donde:

- $A(\%)$ es la absorción de humedad.
- PH es el peso húmedo del paver.
- PS es el peso húmedo del paver.

2.1.4.4. Ensayo de compresión a pavers de concreto

El ensayo a compresión de pavers de concreto es una prueba estándar utilizada para evaluar la resistencia del concreto utilizado en la fabricación de estos elementos de pavimentación frente a cargas aplicadas axialmente. Este ensayo es fundamental para garantizar que los pavers cumplan con los requisitos de resistencia y durabilidad necesarios para soportar las cargas de tráfico y resistir el desgaste durante su vida útil.

El principio del ensayo implica someter una muestra representativa del paver a una carga axial gradualmente creciente hasta que el material falle. Durante el ensayo, se mide la carga aplicada y se registra la deformación del paver. Estos datos se utilizan para calcular la resistencia a la compresión del concreto, que se expresa en unidades de fuerza por área, generalmente en megapascuales (MPa).

El procedimiento del ensayo suele seguir las pautas establecidas por normas internacionales, pero para este caso utilizamos la NBR [5].

Con las muestras, se colocan en una máquina de ensayo de compresión equipada con platillos o placas de carga planas y paralelas. La carga se aplica gradualmente a una velocidad



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

constante hasta que la muestra falle. El punto de falla se determina cuando la carga deja de aumentar o comienza a disminuir, y se registra la máxima carga aplicada.

Los resultados del ensayo a compresión proporcionan información sobre la calidad del concreto utilizado en la fabricación de los pavers. Una resistencia a la compresión alta indica un concreto de alta calidad y densidad, capaz de soportar cargas pesadas y resistir el desgaste.

2.1.4.4.1. Materiales para el ensayo

- Se utilizaron muestras representativas de pavers de concreto, seleccionadas de diversos lotes.

2.1.4.4.2. Equipos utilizados

- Placas: Dos placas de ensayo circulares, de espesor mayor 20 mm, fabricadas en acero, con una dureza superficial.
- Máquina de ensayo a compresión: Prensa hidráulica de tipo 1. La máquina de ensayo cumple con los valores máximos admisibles determinados por la norma ABNT NBR NM ISO 750-1 [5].

2.1.4.4.3. Procedimiento

- Preparamos la máquina de ensayo de compresión, calibrándola para que esté en condiciones adecuadas para realizar la prueba.
- Se procedió a colocar las placas de carga planas y paralelas en la máquina, y se ajustó la configuración de carga según las especificaciones del ensayo.
- Seguidamente, se colocó una muestra de paver previamente sumergida en agua durante 24 horas, entre las placas de la máquina de ensayo, asegurándose de que esté centrada y alineada correctamente.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

- Se aplicó una carga axial gradualmente creciente a la muestra a una velocidad constante, generalmente especificada en la NBR [5]. La carga aplicó a través de la muestra hasta que esta falló.
- Posteriormente se registraron continuamente los datos de carga aplicada y deformación de la muestra.
- Una vez completado el ensayo, se analizaron los datos registrados y se determinó por cálculos la resistencia a la compresión del concreto.

2.1.4.4.4. Cálculo de Resistencia a Compresión

La resistencia a la compresión de la pieza, expresada en megapascuales (MPa), se obtiene dividiendo la carga de rotura, expresada en newtons (N), por el área de carga, expresada en milímetros cuadrados (mm^2), multiplicando el resultado por el factor (p), función de la altura de la pieza, según la siguiente tabla.

Espesor nominal de la pieza (mm)	p
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Tabla 1. Factor multiplicador en función a espesor de la pieza.
Elaboración propia en base a Tabla A.1 – NBR. [5]

Para hallar la resistencia a compresión estimada. Se supone que las resistencias a la compresión siguen la distribución normal, con el valor característico estimado por la siguiente ecuación.

$$f_{pk,est} = f_p - t \times s \quad (4)$$



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Siendo:

$$s = \sqrt{\frac{(f_p - f_{pi})^2}{n - 1}} \quad (5)$$

Donde:

- f_p es la resistencia media de las piezas expresadas en (MPa).
- f_{pi} es la resistencia individual de las piezas expresadas en (MPa).
- $f_{pk,est}$ es la resistencia característica estimada a compresión expresadas en (MPa).
- n es el número de piezas de la muestra.
- s es la desviación estándar de la muestra, expresada en (MPa).
- t es el coeficiente de Student, dependiendo del tamaño de la muestra, proporcionado en la tabla.

n	T
6	0,920
7	0,916
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876
14	0,870
16	0,866
18	0,863
20	8,861
22	0,859
24	0,858
26	0,856
28	0,855
30	0,854



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

32	0,852
----	-------

Tabla 2. Coeficiente de Student en función al número de piezas.
Elaboración propia en base a Tabla A.2 – NBR. [5]



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

CAPITULO III

RESULTADOS Y ANÁLISIS

1. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

En este apartado se presentan y analizan los resultados del muestreo realizado y de los ensayos de caracterización realizados, a saber: Análisis dimensional, absorción de agua, velocidad de pulso de ultrasonido, módulo de elasticidad dinámico y resistencia a la compresión simple. El análisis e interpretación de datos de los ensayos de absorción de humedad, módulo dinámico, ultrasonido y resistencia a la compresión proporcionan información esencial sobre las propiedades y el comportamiento de los pavers de concreto utilizados. Estos ensayos se llevan a cabo para:

1.1. Muestreo

Fueron seleccionados cinco locales para la toma de muestra. Cada lote de muestreo contiene 10 ítems para ser ensayados. Los lotes denominados Bertrand A (B), Santa Ana (D) y Baratote (E) poseen dimensiones nominales de 200 mm x 100 mm x 60 mm, mientras que los lotes Concretubos (A) y Bertrand B (C) poseen dimensiones nominales de 200 mm x 100 mm x 40 mm y 200 mm x 140 mm x 60 mm, respectivamente.

A continuación, se describen las características de los lotes.

1.1.1. Lote A: Concretubos

Este lote, con 10 (diez) cuerpos de prueba colectados en fecha 05/08/2023, pertenece a la empresa Concretubos. Ubicada en el Departamento de Alto Paraná, Ciudad de Hernandarias. Estos pavers posen las siguientes características.

- **Acabado:** Los pavers de este lote presentan una textura lisa, con una cara rugosa.
- **Forma y Dimensiones:** Forma prismática con dimensiones nominales de 200 mm x 100 mm x 40 mm.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

- **Color:** Gris claro.

1.1.2. Lote B: Bertrand – Tipo A

Este lote, con 10 (diez) cuerpos de prueba colectados en fecha 05/08/2023, pertenece a la empresa Bertrand. Ubicada en el Departamento de Caaguazú, Ciudad de Coronel Oviedo. Estos pavers poseen las siguientes características.

- **Acabado:** Los pavers de este lote presentan una textura lisa con una cara rugosa.
- **Forma y Dimensiones:** Forma prismática con dimensiones nominales de 200 mm x 100 mm x 60 mm.
- **Color:** Gris claro.

1.1.3. Lote C: Bertrand – Tipo B

Este lote, con 10 (diez) cuerpos de prueba colectados en fecha 05/08/2023, pertenece a la empresa Bertrand. Ubicada en el Departamento de Caaguazú, Ciudad de Coronel Oviedo. Estos pavers poseen las siguientes características.

- **Acabado:** Textura rugosa. Visualmente se perciben poros de tamaño importante.
- **Forma y Dimensiones:** Forma prismática con dimensiones nominales de 200 mm x 140 mm x 60 mm.
- **Color:** Gris oscuro.

1.1.4. Lote D: Santa Ana

Este lote, con diez (10) cuerpos de prueba colectados en fecha 05/08/2023. Este lote pertenece a la empresa Santa Ana. Ubicada en el Departamento de Alto Paraná, Ciudad del Este. Estos pavers poseen las siguientes características.

- **Acabado:** textura lisa con una cara rugosa.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

- **Forma y Dimensiones:** Cada paver tiene una forma prismática con dimensiones nominales de 200 mm x 100 mm x 60 mm.
- **Color:** rojizo oscura.

1.1.5. Lote E: Baratote

Este lote, con diez cuerpos de prueba colectados en fecha 05/08/2023, pertenece a la empresa Baratote. Ubicada en el Departamento de Caaguazú, Ciudad de Coronel Oviedo. Estos pavers posen las siguientes características.

- **Acabado:** Textura lisa con una cara rugosa.
- **Forma y Dimensiones:** Cada paver tiene una forma prismática con dimensiones nominales de 200 mm x 100 mm x 60 mm.
- **Color:** Gris claro.

Los pavers fueron seleccionados uno a uno de manera aleatoria del material apilado correspondiente al mismo lote de producto según indicaciones de cada punto de venta.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.



Figura 1. Muestras identificadas en laboratorio

Una vez colectados, se procedió a la limpieza de los pavers empleado una brocha para eliminar restos de polvo y rebarbas, así como a su identificación mediante un código secuencial (Tabla 1). Según los proveedores, todos los pavers poseen más de 28 días edad al momento del muestreo.

Lote de cuerpos de prueba	Lote de muestra de cuerpos de prueba	Nº de muestras	Codificación de muestras de cuerpo de prueba
A	Concretubos	10	C-01; C-02; C-03; C-04; C-05; C-06; C-07; C-08; C-09 y C-10
B	Bertrand – Tipo A	10	BT-01; BT-02; BT-03; BT-04; BT-05; BT-06; BT-07; BT-08; BT-09 y BT-10
C	Bertrand – Tipo B	10	BT-11; BT-12; BT-13; BT-14; B-15; BT-16; BT-17; BT-18; BT-19 y B-20
D	Santa Ana	10	S-01; S-02; S-03; S-04; B-05; S-06; S-07; S-08; S-09 y S-10
E	Baratote	10	B-01; B-02; B-03; B-04; B-05; B-06; B-07; B-08; B-09 y B-10

Tabla 3. Codificación de muestras de pavers



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

1.2. Análisis dimensional

Las mediciones de largo, ancho y alto se realizaron para cada una de las muestras de cada lote, siendo cada valor el promedio de tres mediciones.

En la **Tabla 2** se muestra un resumen de las dimensiones por muestra. En el apéndice I de detallan los resultados del análisis dimensional y de otros ensayos por lote y cuerpo de prueba.

Dimensión		Unidad de medida	Cuerpos de prueba				
			Lote A	Lote B	Lote C	Lote D	Lote E
Longitud	P	mm	198,75	199,30	211,74	198,40	198,39
	Ds	mm	0,30	0,81	0,85	0,49	0,70
	V _{máx}	mm	199,00	200,00	213,60	199,00	199,60
	V _{mín}	mm	198,30	197,20	211,00	197,70	197,40
Ancho	P	mm	98,91	98,45	131,20	98,42	97,73
	Ds	mm	0,41	0,63	0,39	0,23	0,40
	V _{máx}	mm	99,60	99,00	131,90	98,70	98,50
	V _{mín}	mm	98,00	97,20	130,60	98,00	97,20
Alto	P	mm	39,88	62,65	66,66	57,39	59,92
	Ds	mm	1,03	1,37	1,23	0,82	1,86
	V _{máx}	mm	41,50	65,50	68,80	58,90	62,00
	V _{mín}	mm	37,90	60,90	64,70	56,00	57,00

Siendo: P = Promedio; Ds = Desvío estándar; V_{máx} = Valor máximo; V_{mín} = Valor mínimo

Tabla 4. Resumen del análisis dimensional de cuerpos de prueba por lote.

Fuente: Elaboración propia

Mediante el análisis dimensional es posible evaluar la uniformidad de los pavers de un lote fabricado. La uniformidad dimensional es necesaria para asegurar la precisión en la instalación y el desempeño previsible de los pavers en sus aplicaciones, cumpliendo con los estándares requeridos para su uso en diversas infraestructuras. [10]

El lote C presentó la mayor variabilidad, con un desvío estándar (Ds) de 1,37 mm en el ancho. El lote D presentó la menor variabilidad, con un desvío estándar (Ds) de 0,23 mm en la longitud. Los lotes A, B y E se encuentran entre los que presentan variabilidades moderadas en las



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

diferentes dimensiones. Las dimensiones obtenidas por lote son consistentes, sin presentar grandes variaciones dentro de cada lote.

Comparados los valores de análisis dimensional con los de norma NBR 9781:2013, [5] existen valores mínimos y máximos fuera del rango. El lote C es el que presenta dimensiones más alejadas de las dimensiones nominales.

1.3. Ensayos de absorción de agua

Los resultados de los ensayos de absorción de agua para cada lote se muestran en la **Tabla 3** y, mediante un gráfico de cajas (**Figura 2**), es posible comprar los resultados entre muestras.

Absorción de agua (%)	Lote A	Lote B	Lote C	Lote D	Lote E
Absorción de agua (%)	Concretubos Hernandarias	Bertrand I Cnel Oviedo	Bertrand II Cnel Oviedo	Santa Ana Ciudad del este	Baratote - Coronel Oviedo
Promedio (%)	3,00 ± 0,30	3,70 ± 0,18	6,78 ± 0,73	4,03 ± 0,49	5,07 ± 0,58
Desvío estándar (%)	0,67	0,40	1,67	1,12	1,33
Valor Máximo (%)	3,94	4,27	9,07	5,92	6,50
Valor Mínimo (%)	1,84	3,19	3,19	2,71	2,92
Cuartil superior (%)	3,44	4,01	7,63	4,79	6,09
Cuartil Inferior (%)	2,43	3,37	6,24	3,10	4,40

Tabla 5. Resultados de los ensayos de módulo % absorción de agua por lote.

Fuente: Elaboración propia

La porosidad de los pavers es un aspecto crucial para evaluar su durabilidad y resistencia. La absorción de agua es un indicador de la cantidad de humedad que un paver puede retener; cuanto más humedad absorba, más poroso es el material. Esta porosidad afecta significativamente el comportamiento de los pavers bajo condiciones climáticas adversas y su resistencia al desgaste. Por lo tanto, medir la absorción de agua es esencial para determinar la calidad física de los pavers. [11]

En los análisis realizados, se observó que el lote C presentó la mayor variabilidad, con un desvío estándar (Ds) de 1.67%, y valores de absorción que oscilan entre un mínimo de 3.19% y un



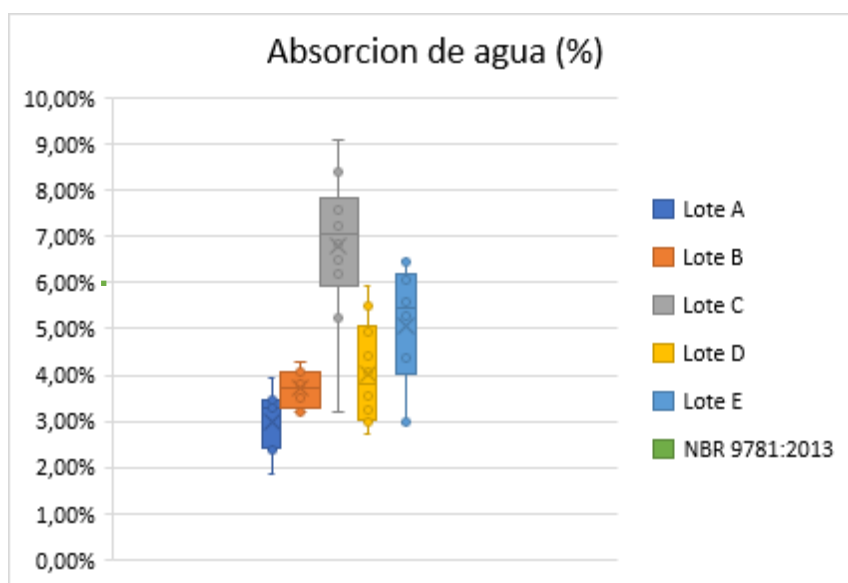
MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

máximo de 9.07%. Esto sugiere una baja homogeneidad en el material utilizado para la fabricación de los pavers de este lote. Comparado con los estándares de la norma NBR 9781:2013, que establece un valor máximo de absorción de humedad del 6%, el lote A mostró el mejor comportamiento con un promedio de 3.00% de absorción, mientras que el lote C superó este valor con un promedio de 6.78%, indicando problemas potenciales en la calidad del material utilizado.

El comportamiento de los pavers bajo diferentes sollicitaciones se puede analizar a través de la variabilidad en la absorción de agua y las pruebas de resistencia a la compresión. La absorción de agua y la resistencia a la compresión son pruebas fundamentales para entender cómo los pavers se desempeñan bajo condiciones de carga y estrés.

En la **Figura 2** se observa la variabilidad existente en los lotes C y E, con valores de absorción de agua máximos y mínimos muy distantes entre sí. Esta variabilidad en la absorción de agua puede afectar negativamente la durabilidad y resistencia de los pavers, especialmente en condiciones climáticas adversas. Los resultados indican que los pavers del lote A, con una absorción de agua promedio de 3.00%, son más homogéneos y posiblemente más resistentes en comparación con los pavers del lote C, que tienen una mayor variabilidad y una absorción promedio superior al límite permitido por la norma NBR 9781:2013.





MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Figura 2. Gráfico de cajas - Ensayos de % Absorción de agua.

Fuente: Elaboración propia

1.4. Módulo de elasticidad dinámico

E_{cd} (GPa)	Lote A	Lote B	Lote C	Lote D	Lote E
Promedio	27,53 ± 1,00	28,43 ± 1,41	23,40 ± 2,21	25,03 ± 1,40	18,57 ± 2,01
Desvío Estándar	2,29	3,22	5,04	3,20	4,58
Valor Máximo	30,62	32,06	35,21	30,06	28,65
Valor Mínimo	23,38	22,17	17,49	19,48	14,79
Cuartil superior	20,83	22,25	18,65	18,58	11,93
Cuartil Inferior	18,50	14,62	14,62	15,18	9,08

Tabla 6. Resultados de los ensayos de módulo de elasticidad dinámico por lote.

Fuente: Elaboración propia

Al igual que en los anteriores ensayos, con los ensayos de módulo de elasticidad dinámico podemos analizar la variabilidad y homogeneidad de los bloques ensayados. Además, el módulo de elasticidad dinámico en pavers se utiliza para evaluar la rigidez y la capacidad de los pavers para resistir deformaciones bajo cargas dinámicas, como el tráfico vehicular. [3]

Como podemos ver en la **Tabla 4**, el Lote C presenta mayor desviación estándar, mayor variabilidad y por consiguiente menor homogeneidad en el material utilizado para el lote. En la figura 3 observamos que la mayor variabilidad se da en los Lotes C y D.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

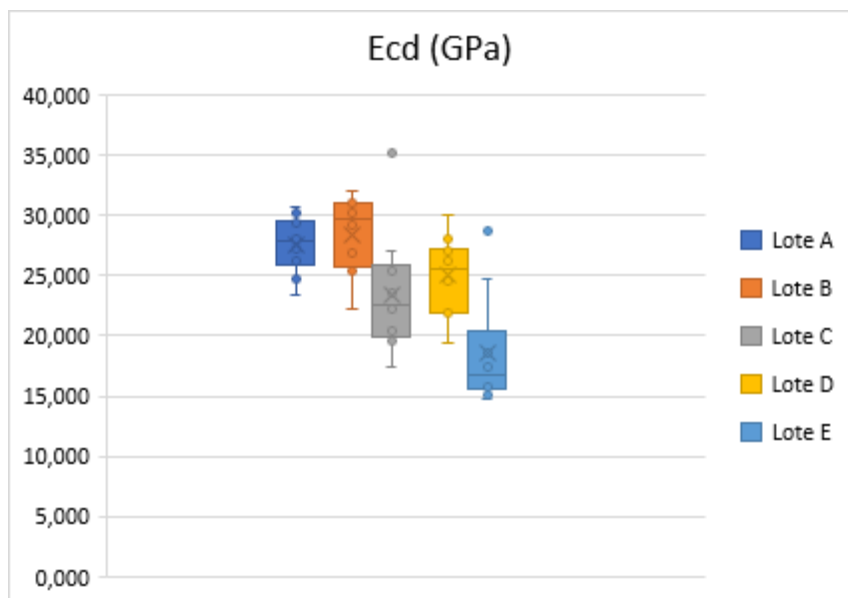


Figura 3. Gráfico de cajas - Ensayos de módulo de elasticidad dinámica por lote.
Fuente: Elaboración propia

1.5. Ensayos De Velocidad de pulso de Ultrasonido

Los ensayos de ultrasonido son una técnica no destructiva utilizada para evaluar las propiedades internas de los materiales, en este caso, los pavers de concreto. Este método consiste en enviar ondas ultrasónicas a través del material y medir la velocidad de estas ondas. La velocidad de la onda ultrasónica proporciona información crucial sobre la densidad, homogeneidad y presencia de posibles defectos internos en los pavers. [4]

Velocidad de pulso (m/s)	Lote A	Lote B	Lote C	Lote D	Lote E
Promedio	3.808,40 ± 35,09	4.130,30 ± 87,81	3.701,00 ± 89,97	3.658,10 ± 78,74	3.334,40 ± 148,47
Desvío estándar	80,23	200,79	205,73	180,03	339,47
Valor Máximo	3.916,00	4.384,00	4.046,00	3.983,00	3.907,00
Valor Mínimo	3.624,00	3.769,00	3.348,00	3.409,00	2.972,00
Cuartil superior	3.841,00	4.300,50	3.817,75	3.798,75	3.512,50
Cuartil Inferior	3.783,00	4.009,25	3.574,75	3.546,00	3.044,00

Tabla 7. Resultados de los ensayos de velocidad de pulso de ultrasonido por lote.
Fuente: Elaboración propia



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Teniendo nuestra velocidad de pulso de ultrasonido, observamos en la **Tabla 5** que el desvío estándar mayor se encuentra en los Lotes C y D, que coincide con los ensayos anteriores.

En la **Figura 4**, observamos que el lote con menor variabilidad en la velocidad de pulso de ultrasonido es el Lote A.

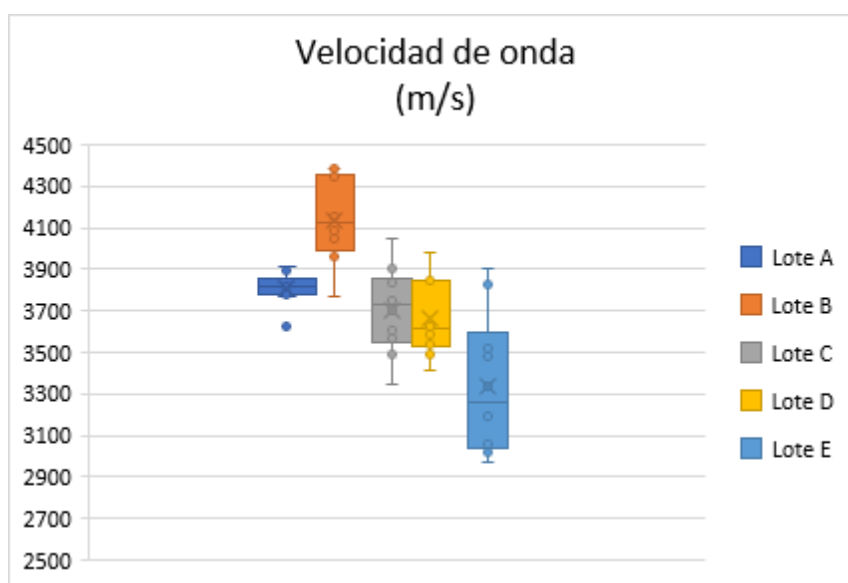


Figura 4. Gráfico de cajas - Ensayos de velocidad de pulso de ultrasonido por lote.
Fuente: Elaboración propia

1.6. Ensayos De Resistencia a la Compresión Simple

Los ensayos de resistencia a la compresión son cruciales para evaluar la capacidad de los pavers de concreto para soportar cargas sin fallar. Este ensayo mide la máxima carga que un paver puede soportar antes de fracturarse, proporcionando información esencial sobre su durabilidad y adecuación para diversas aplicaciones de pavimentación. La resistencia a la compresión es un indicador clave de la calidad y el rendimiento estructural de los pavers, asegurando que cumplan con los estándares necesarios para su uso en infraestructuras duraderas y seguras. [2]



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Resistencia a la compresión (MPa)	Lote A	Lote B	Lote C	Lote D	Lote E
Promedio	34,11 ± 1,12	33,00 ± 2,52	26,27 ± 2,92	29,93 ± 1,51	14,28 ± 3,29
Desvío estándar	2,57	5,77	6,68	3,45	7,53
Valor Máximo	38,30	42,20	41,20	35,40	30,10
Valor Mínimo	30,50	24,80	41,20	24,40	8,20
Cuartil superior	35,15	36,30	28,03	32,28	14,73
Cuartil Inferior	32,03	30,95	22,08	27,88	8,75

Tabla 8. Resultados de los ensayos de resistencia a compresión simple.

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 6** se encuentran los valores promedio, desvío estándar y valores máximos y mínimos de resistencia a la compresión de cada lote. El Lote C y el Lote D presentan una variabilidad elevada y una resistencia media menor a los demás lotes. Los lotes A y B son los lotes con mayor valor promedio de resistencia. Sin embargo, comparados con los valores admitidos en la Norma NBR 9781:2013 [5], donde se menciona que el mínimo admitido es de 35 MPa, ninguno de los lotes cumple con lo requerido para considerarlo aceptado para su utilización.

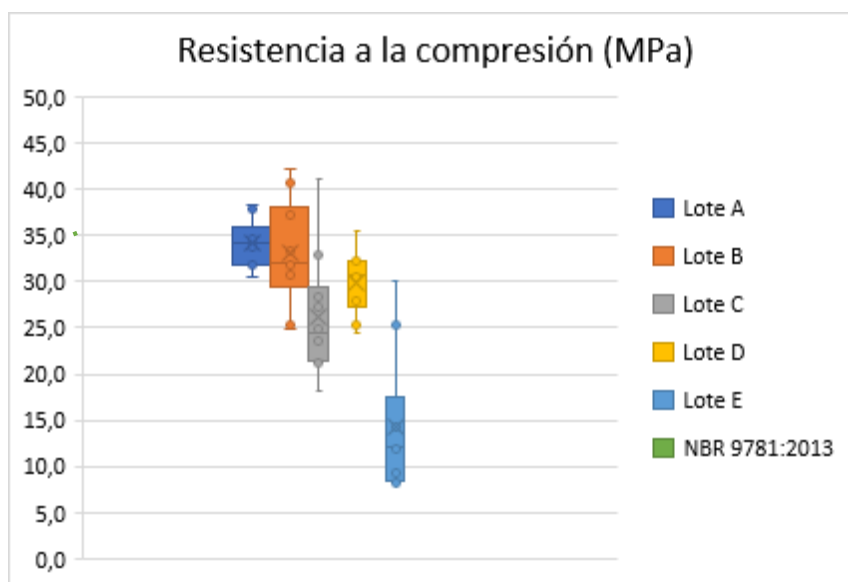


Figura 5. Gráfico de cajas - Ensayos de resistencia a compresión simple.

Fuente: Elaboración propia



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

1.7. Comparaciones

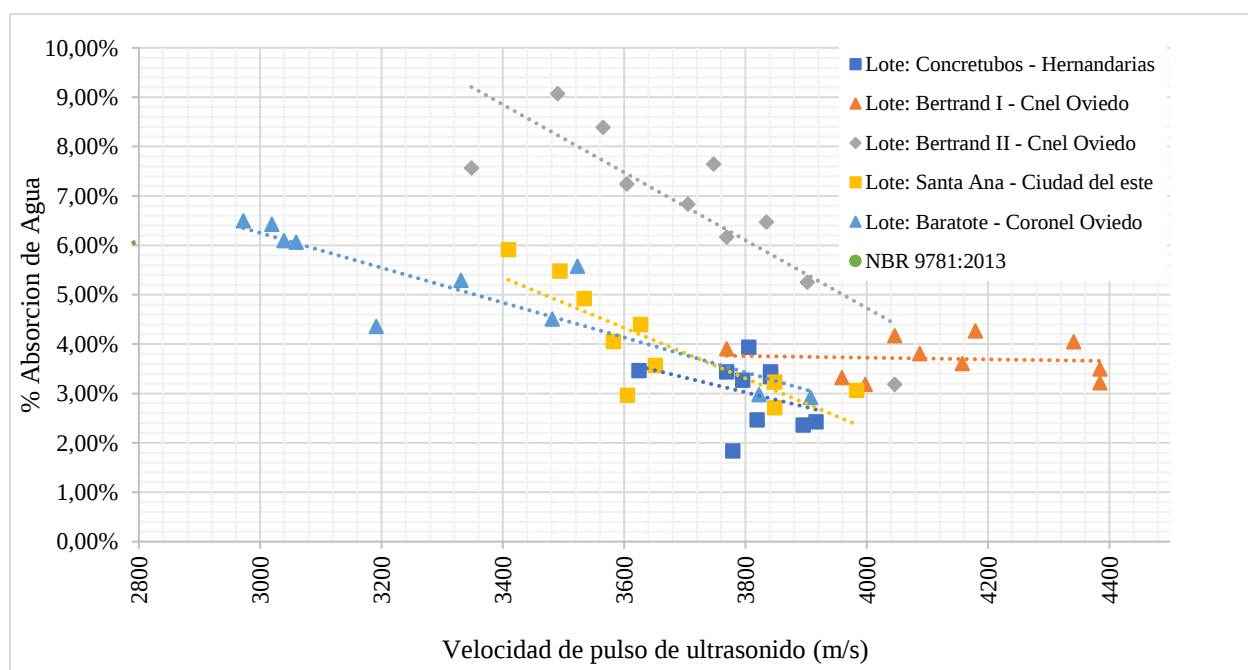


Figura 6. Gráfico de % Absorción de agua en función de la velocidad de pulso de ultrasonido
Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 6** de absorción de agua en función de la velocidad de pulso de ultrasonido, se observa una tendencia inversa en cada lote, a medida que aumenta la absorción de agua (%), la velocidad del pulso de ultrasonido disminuye. Esto sugiere que los pavos con mayor absorción de agua



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

tienen una estructura más porosa y, por tanto, una menor velocidad de transmisión de las ondas ultrasónicas. Los puntos en el gráfico muestran claramente esta relación, destacando que los pavers con baja absorción de agua y alta velocidad de pulso tienen una mayor densidad y mejor integridad estructural.

La **Tabla 7** presenta modelos de regresión lineal que relacionan la absorción de agua (%A) con la velocidad de pulso ultrasónico (VPU) para los diferentes lotes de pavers de concreto obtenidos mediante el software Excel ®. Cada fila corresponde a un lote diferente (A, B, C, D, E) y muestra la ecuación del modelo de regresión y el valor del coeficiente de determinación (R^2), el cual mide la proporción de variabilidad en la variable dependiente (%A) y su valor oscila entre 1 y 0. Cuanto más cercano a 1 sea su valor, la variabilidad se ajusta más al modelo, y cuanto más cercano a 0 el valor, la variabilidad se ajusta menos al modelo.

Absorción de agua (%A) en función a la velocidad de pulso de ultrasonido (VPU)		
Lote	Modelo	R²
A	$(\%A) = -3E-05(VPU) + 0,1441$	0,1286
B	$(\%A) = -2E-06(VPU) + 0,044$	0,0073
C	$(\%A) = -7E-05(VPU) + 0,322$	0,7141
D	$(\%A) = -5E-05(VPU) + 0,227$	0,6752
E	$(\%A) = -4E-05(VPU) + 0,1683$	0,8048

Tabla 9. Modelo de tendencia de la absorción (Ab) en función a la velocidad de pulso (VPU).
Fuente: Elaboración propia

En los casos de los Lotes C, D y E, los modelos de regresión lineal se ajustan mejor a los datos observados. Los bajos ajustes para los lotes A y B se deben a que los valores de R^2 son pequeños, indicando una baja correlación entre las variables y una pobre capacidad del modelo para explicar la variabilidad en los datos observados. Esto puede ocurrir en un lote de pavers del mismo proveedor debido a varias razones, como variaciones en la calidad del material, diferencias en el proceso de fabricación, inconsistencias en el tamaño y forma de los pavers, o incluso variaciones en las condiciones de almacenamiento y transporte. Estas variaciones pueden



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

introducir ruido en los datos y afectar la relación esperada entre las variables, resultando en un ajuste menos preciso del modelo de regresión lineal.

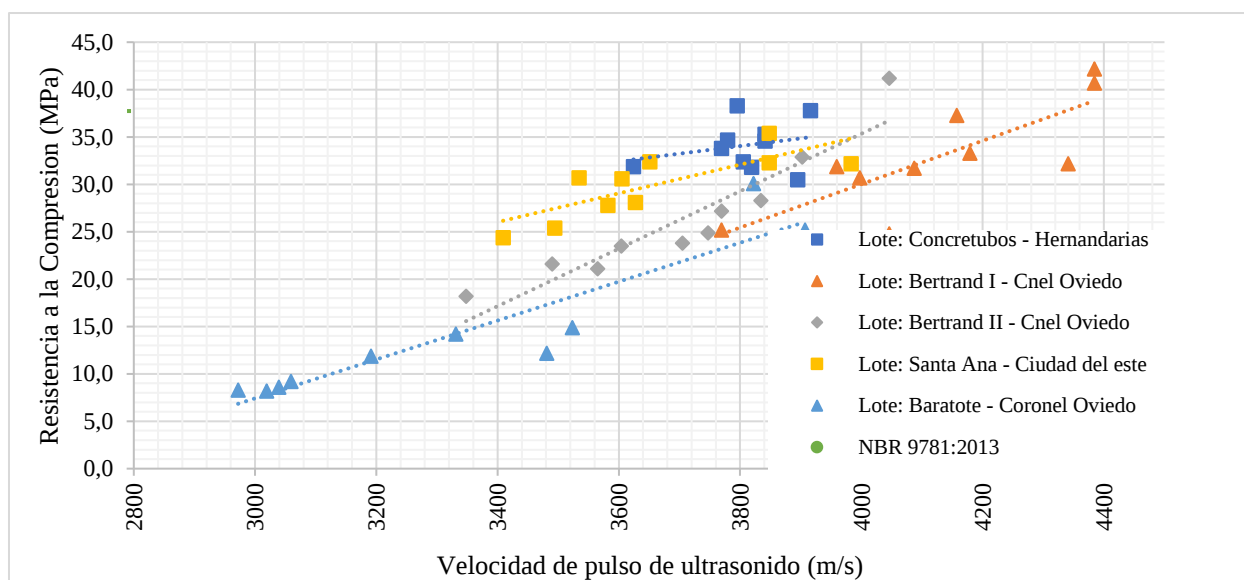


Figura 7. Gráfico de Resistencia a la compresión simple en función de la velocidad de pulso de ultrasonido.

Fuente: Elaboración propia.

Absorción de agua en función a la velocidad de pulso		
Lote	Modelo	R ²
A	$(RC) = 0,0081(VPU) + 3,4226$	0,0635
B	$(RC) = 0,0229(VPU) - 61,585$	0,6355
C	$(RC) = 0,0303(VPU) - 85,95$	0,6263
D	$(RC) = 0,0151(VPU) - 25,47$	0,8730
E	$(RC) = 0,0205(VPU) - 54,139$	0,8551

Tabla 10. Modelo de tendencia de la absorción (RC) en función a la velocidad de pulso (VPU).

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 8 presenta también modelos de regresión lineal, pero que relacionan la absorción de agua (RC) con la velocidad de pulso ultrasónico (VPU) para diferentes lotes de pavers de concreto.

En los casos de los Lotes D y E, los modelos de regresión lineal se ajustan bastante bien a los datos



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

observados, esto también se puede apreciar en la **Figura 7**, de resistencia a la compresión simple en función de la velocidad de pulso de ultrasonido. En la misma se aprecia una tendencia ascendente bastante marcada, cuanto más aumenta la velocidad del pulso de ultrasonido, también lo hace la resistencia a la compresión de los pavers. Este patrón indica que los pavers con velocidades de pulso más altas, que reflejan una estructura interna más compacta y homogénea, presentan una mayor resistencia a las fuerzas de compresión. Esto sugiere que la velocidad de pulso de ultrasonido es un buen indicador de la robustez y calidad del material.

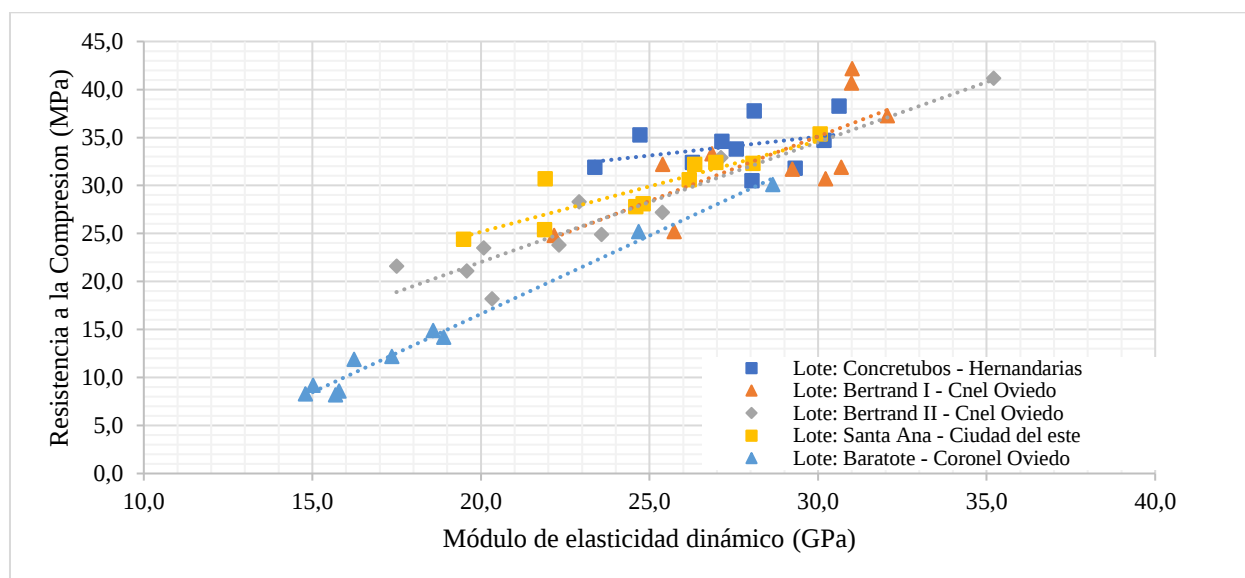


Figura 8. Gráfico de Resistencia a la compresión simple en función al módulo de elasticidad dinámico.

Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 8** muestra la resistencia a la compresión simple en relación con el módulo de elasticidad dinámico, se observa una tendencia ascendente: conforme aumenta el módulo de elasticidad dinámico, también lo hace la resistencia a la compresión de los pavers. Este comportamiento indica que los pavers con un módulo de elasticidad dinámico más alto, lo que refleja una mayor rigidez y solidez del material, son capaces de soportar mayores fuerzas de compresión. Por lo tanto, este gráfico evidencia que el módulo de elasticidad dinámico es un buen indicador de la capacidad de los pavers para resistir compresión.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZÚ
Sede Coronel Oviedo
Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.
FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.
Coronel Oviedo – Paraguay



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

CAPITULO IV

2. CONCLUSION

Mediante este trabajo fue posible realizar la evaluación de la calidad de los bloques de hormigón prefabricados (pavers) comercializados en las regiones de Alto Paraná y Caaguazú, a través de la determinación de sus características físicas y mecánicas, y su comparación con los requisitos de calidad establecidos en normativas internacionales como la NBR y la ASTM.

Fueron seleccionados cinco lotes de materiales, dos correspondientes a fabricantes de las ciudades de Hernandarias y Ciudad del Este del Departamento de Alto Paraná y tres fabricantes y distribuidores de la Ciudad de Coronel Oviedo del Departamento de Caaguazú. Los resultados de los ensayos realizados, revelaron que existen variaciones significativas en las propiedades mecánicas y físicas entre los productos comercializados en las diferentes regiones. Se encontraron diferencias en la resistencia a la compresión, la absorción de agua y el módulo de elasticidad dinámico, indicando la necesidad de un control de calidad más riguroso por parte de los fabricantes.

Los análisis dimensionales y de absorción de agua mostraron que muchos de los pavers presentan inconsistencias en su fabricación, lo que podría afectar su desempeño en el campo. Las mediciones de densidad y velocidad de pulso ultrasónico también reflejaron variabilidad en la homogeneidad del material, sugiriendo posibles defectos internos y diferencias en la composición del concreto.

Los ensayos de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad dinámico permitieron describir el comportamiento de los pavers bajo diferentes condiciones de carga. Se observó que la variabilidad en estos parámetros podría comprometer la integridad estructural de los pavers en aplicaciones reales, especialmente bajo cargas dinámicas y repetitivas.

Basado en los resultados obtenidos de los cuerpos de prueba de los pavers de concreto comercializados en las regiones de Alto Paraná y Caaguazú, se ha observado que no cumplen o están significativamente alejados de los valores admisibles establecidos por la norma NBR



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZÚ
Sede Coronel Oviedo
Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.
FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.
Coronel Oviedo – Paraguay



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

9781:2013 en cuanto a absorción de agua, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad dinámico. Esta discrepancia destaca la necesidad de realizar un estudio adicional que sirva como base para la creación de una normativa específica en Paraguay.

Se propone la implementación de normativas específicas que aseguren la calidad y seguridad de los pavers de concreto utilizados en infraestructuras. Estas normativas deberían abordar desde el proceso de fabricación de los pavers hasta la especificación de valores admisibles para sus características mecánicas y físicas. Estas medidas contribuirán a la mejora continua de la calidad de los materiales de construcción en Paraguay.

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO
COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ**

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

ANEXO

Bibliografía

- [1] J. Martínez Gómez, M. F. Bustamante Crespo y J. Macías, «Caracterización térmica y mecánica de bloque de concreto,» *INNOVA Research Journal*, 2018.
- [2] Bryan Saraguro, Jorge Carrión, Hugo Torres y Patricio Guerrero, «La resistencia a la compresión y el desgaste en adoquines de concreto,» *Impacto científico*, 2021.
- [3] J. F. A. Londoño, «Adoquines de concreto: Propiedades fisico-mécánicas y sus correlaciones.,» *TecnoLógicas*, 2006.
- [4] R. C. Hibbeler, *Mecánica de Materiales* 8va edición, 2011.
- [5] A. B. d. N. Técnicas, *NBR 9781*, 2013.
- [6] M. -. 001-F, *Especificaciones Generales para la Construcción de Puentes y Caminos*, 2002.
- [7] Á. García Meseguer, F. Morán Cabré y J. C. Arroyo Portero, Jimenez Montoya Hormigón Armado 15a edición, 2009.
- [8] J. R. Rosell, «Método simple para determinar el módulo de Young dinámico a partir de una excitación por impacto, aplicado a morteros de cal y cemento,» Cataluña, 2010.
- [9] E. C. B. M. J. H. A. Rocha, «Evaluación del ensayo de ultrasonido para la estimación de la profundidad de,» *Revista ALCONPAT*, 2018.
- [10] E. E. T. Carranza, «Physical and Mechanical Properties of Concrete Pavers with the Addition of Demolition Wastes as a Sustainable Construction Product,» LACCEI, Buenos Aires, 2023.

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO
COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ**

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

- [11] R. S. -. C. Y. E. I. MORENO, «Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo,» Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, Caracas, 2006.

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO
COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ**

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Resultados de ensayos físicos y mecánicos por lote y cuerpo de prueba

1. Análisis dimensional

Lote: Concretubos Hernandarias	Dimensiones (promedio de 3 lecturas)		
CP n°	L (Longitud) (mm)	W (Ancho) (mm)	H (Alto) (mm)
C-01	198,80	99,10	40,00
C-02	199,00	99,00	39,00
C-03	199,00	98,55	41,50
C-04	199,00	99,60	41,00
C-05	198,30	99,00	40,00
C-06	199,00	98,00	40,00
C-07	199,00	98,80	40,00
C-08	198,55	99,00	40,35
C-09	198,30	99,00	39,00
C-10	198,55	99,00	37,90

Tabla 11. Dimensiones de los cuerpos de prueba del Lote Bertrand I

Fuente: Elaboración propia.

Lote: Bertrand II Cnel Oviedo	Dimensiones (promedio de 3 lecturas)		
CP n°	L (Longitud) (mm)	W (Ancho) (mm)	H (Alto) (mm)
BT-11	212,00	131,30	65,50
BT-12	211,00	130,60	67,30
BT-13	211,30	131,90	66,90
BT-14	213,60	131,40	67,00
BT-15	211,00	131,00	66,50
BT-16	211,30	131,00	68,80
BT-17	212,50	131,40	64,70
BT-18	211,40	131,60	65,50
BT-19	212,30	130,80	68,00
BT-20	211,00	131,00	66,40

Tabla 12. Dimensiones de los cuerpos de prueba del Lote Bertrand II

Fuente: Elaboración propia.

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO
COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ**

HUGO RENÉ KATRIIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Lote: Santa Ana Ciudad del este	Dimensiones (promedio de 3 lecturas)		
CP n°	L (Longitud) (mm)	W (Ancho) (mm)	H (Alto) (mm)
S-01	198,50	98,50	58,90
S-02	197,80	98,40	56,90
S-03	198,40	98,50	57,20
S-04	199,00	98,40	56,00
S-05	198,40	98,00	57,80
S-06	198,30	98,70	57,00
S-07	197,70	98,20	57,00
S-08	199,00	98,70	57,00
S-09	197,90	98,60	58,10
S-10	199,00	98,20	58,00

Tabla 13. Dimensiones de los cuerpos de prueba del Lote Santa Ana

Fuente: Elaboración propia.

Lote: Baratote Coronel Oviedo	Dimensiones (promedio de 3 lecturas)		
CP n°	L (Longitud) (mm)	W (Ancho) (mm)	H (Alto) (mm)
B-01	198,00	97,40	61,30
B-02	197,90	97,20	60,50
B-03	197,40	97,45	61,35
B-04	197,90	97,80	61,90
B-05	198,50	97,70	57,90
B-06	197,80	97,30	57,80
B-07	199,10	98,00	60,50
B-08	198,80	98,10	57,00
B-09	198,90	97,80	62,00
B-10	199,60	98,50	58,90

Tabla 14. Dimensiones de los cuerpos de prueba del Lote Baratote

Fuente: Elaboración propia.

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

2. Ensayos de absorción de agua, módulo de elasticidad dinámico, velocidad de pulso ultrasónico y resistencia a compresión simple.

CP N°	Peso (g)		Absorción (%)	Masa	Volumen	Densidad	E_{cd}	E_{ci}	Velocidad de pulso de ultrasonido	Resistencia a la compresión simple
	Peso en seco (Pd)	Peso húmedo (Ph)		g	cm³	g/cm³	GPa	GPa	m/s	MPa
Lote: Concretubos – Hernandarias										
C-01	1.743,20	1.801,40	3,34%	1743,20	788,043	2,212	24,716	17,231	3841	35,3
C-02	1.765,30	1.808,80	2,46%	1765,30	768,339	2,298	29,320	21,072	3819	31,8
C-03	1.864,40	1.898,70	1,84%	1864,40	813,875	2,291	30,170	21,997	3779	34,7
C-04	1.760,30	1.821,30	3,47%	1760,30	812,636	2,166	23,376	16,275	3624	31,9
C-05	1.782,40	1.825,60	2,42%	1782,40	785,268	2,270	28,103	20,100	3916	37,8
C-06	1.759,90	1.820,40	3,44%	1759,90	780,080	2,256	27,148	19,267	3841	34,6
C-07	1.789,80	1.860,30	3,94%	1789,80	786,448	2,276	26,270	18,241	3805	32,4
C-08	1.820,40	1.883,00	3,44%	1820,40	793,138	2,295	27,568	19,350	3769	33,8
C-09	1.758,50	1.800,00	2,36%	1758,50	765,636	2,297	28,031	19,793	3895	30,5
C-10	1.785,40	1.843,80	3,27%	1785,40	744,979	2,397	30,619	21,465	3795	38,3
Lote: Bertrand I - Cnel Oviedo										
BT-01	2.816,40	2.907,00	3,22%	2816,40	1199,730	2,348	31,004	22,300	4384	42,2
BT-02	2.866,60	2.975,70	3,81%	2866,60	1236,136	2,319	29,231	20,788	4087	31,7
BT-03	2.713,40	2.826,60	4,17%	2713,40	1290,408	2,103	22,171	15,569	4046	24,8
BT-04	2.873,50	2.969,00	3,32%	2873,50	1246,140	2,306	30,687	22,378	3959	31,9
BT-05	2.793,10	2.890,80	3,50%	2793,10	1179,752	2,368	30,991	22,099	4384	40,7
BT-06	2.751,20	2.868,60	4,27%	2751,20	1246,537	2,207	26,852	19,395	4179	33,3
BT-07	2.751,00	2.858,40	3,90%	2751,00	1226,849	2,242	25,728	17,981	3769	25,2
BT-08	2.847,20	2.949,90	3,61%	2847,20	1223,917	2,326	32,056	23,580	4157	37,3

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

CP N°	Peso (g)		Absorción (%)	Masa	Volumen	Densidad	E_{cd}	E_{ci}	Velocidad de pulso de ultrasonido	Resistencia a la compresión simple
	Peso en seco (Pd)	Peso húmedo (Ph)		g	cm ³	g/cm ³	GPa	GPa	m/s	MPa
BT-09	2.775,30	2.863,70	3,19%	2775,30	1190,151	2,332	30,222	21,662	3997	30,7
BT-10	2.791,60	2.904,50	4,04%	2791,60	1254,065	2,226	25,388	17,778	4341	32,2
Lote: Bertrand II - Cnel Oviedo										
BT-11	3.677,20	3.915,10	6,47%	3677,20	1823,232	2,017	22,912	16,996	3834	28,3
BT-12	4.150,50	4.282,80	3,19%	4150,50	1854,559	2,238	35,206	27,947	4046	41,2
BT-13	3.910,60	4.116,00	5,25%	3910,60	1864,534	2,097	27,116	20,691	3902	32,9
BT-14	3.814,50	4.106,10	7,64%	3814,50	1880,492	2,028	23,573	17,585	3747	24,9
BT-15	3.610,90	3.884,20	7,57%	3610,90	1838,127	1,964	20,328	14,758	3348	18,2
BT-16	3.723,30	3.993,00	7,24%	3723,30	1904,405	1,955	20,079	14,575	3604	23,5
BT-17	3.657,70	3.907,80	6,84%	3657,70	1806,586	2,025	22,307	16,308	3705	23,8
BT-18	3.558,70	3.857,30	8,39%	3558,70	1822,226	1,953	19,574	14,080	3565	21,1
BT-19	3.930,90	4.173,30	6,17%	3930,90	1888,281	2,082	25,377	18,999	3769	27,2
BT-20	3.448,10	3.761,00	9,07%	3448,10	1835,362	1,879	17,493	12,505	3490	21,6
Lote: Santa Ana – CDE										
S-01	2.640,90	2.721,80	3,06%	2640,90	1151,628	2,293	26,340	18,171	3983	32,2
S-02	2.440,40	2.574,10	5,48%	2440,40	1107,474	2,204	21,888	14,591	3494	25,4
S-03	2.610,00	2.680,80	2,71%	2610,00	1117,825	2,335	30,062	21,473	3848	35,4
S-04	2.487,80	2.568,10	3,23%	2487,80	1096,570	2,269	28,068	20,075	3848	32,3
S-05	2.596,40	2.689,00	3,57%	2596,40	1123,817	2,310	26,967	18,639	3651	32,4
S-06	2.487,90	2.588,80	4,06%	2487,90	1115,616	2,230	24,586	16,966	3582	27,8
S-07	2.464,00	2.572,40	4,40%	2464,00	1106,606	2,227	24,804	17,203	3627	28,1
S-08	2.512,00	2.586,50	2,97%	2512,00	1119,554	2,244	26,177	18,410	3605	30,6

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

CP N°	Peso (g)		Absorción (%)	Masa	Volumen	Densidad	E_{cd}	E_{ci}	Velocidad de pulso de ultrasonido	Resistencia a la compresión simple
	Peso en seco (Pd)	Peso húmedo (Ph)		g	cm ³	g/cm ³	GPa	GPa	m/s	MPa
S-09	2.395,10	2.536,80	5,92%	2395,10	1133,702	2,113	19,477	12,925	3409	24,4
S-10	2.502,60	2.625,80	4,92%	2502,60	1133,424	2,208	21,904	14,577	3534	30,7
Lote: Baratote - Coronel Oviedo										
B-01	2.585,90	2.730,10	5,58%	2585,90	1182,183	2,187	18,583	11,688	3523	14,9
B-02	2.680,90	2.759,20	2,92%	2680,90	1163,771	2,304	24,673	16,505	3907	25,2
B-03	2.756,10	2.876,30	4,36%	2756,10	1180,167	2,335	16,235	9,062	3191	11,9
B-04	2.772,40	2.897,30	4,51%	2772,40	1198,051	2,314	17,350	10,036	3481	12,2
B-05	2.473,20	2.632,10	6,42%	2473,20	1122,881	2,203	15,679	9,150	3019	8,2
B-06	2.434,90	2.593,10	6,50%	2434,90	1112,415	2,189	14,789	8,484	2972	8,3
B-07	2.489,60	2.640,50	6,06%	2489,60	1180,464	2,109	15,021	9,000	3059	9,2
B-08	2.656,60	2.735,70	2,98%	2656,60	1111,630	2,390	28,654	19,617	3822	30,1
B-09	2.628,00	2.767,00	5,29%	2628,00	1206,050	2,179	18,894	12,010	3331	14,2
B-10	2.476,20	2.627,20	6,10%	2476,20	1158,009	2,138	15,791	9,520	3039	8,6

Tabla 15. Resultados de los ensayos de absorción de agua, módulo de elasticidad, velocidad de pulso ultrasónico Resistencia a la compresión
Fuente: Elaboración propia.

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO
COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ**

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Cuerpos de prueba



Figura 9. Lote A Concretubos.
Fuente: Elaboración propia.

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO
COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ**

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024



Figura 10. Lote B. Bertrand tipo A.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Lote C. Bertrand tipo B.
Fuente: Elaboración propia.

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO
COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ**

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024



Figura 12. Lote D. Santa Ana.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 13. Lote E. Baratote.
Fuente: Elaboración propia.

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Equipos y procedimiento



Figura 14. Paquimetro Mitutoyo
Fuente: Elaboración propia.

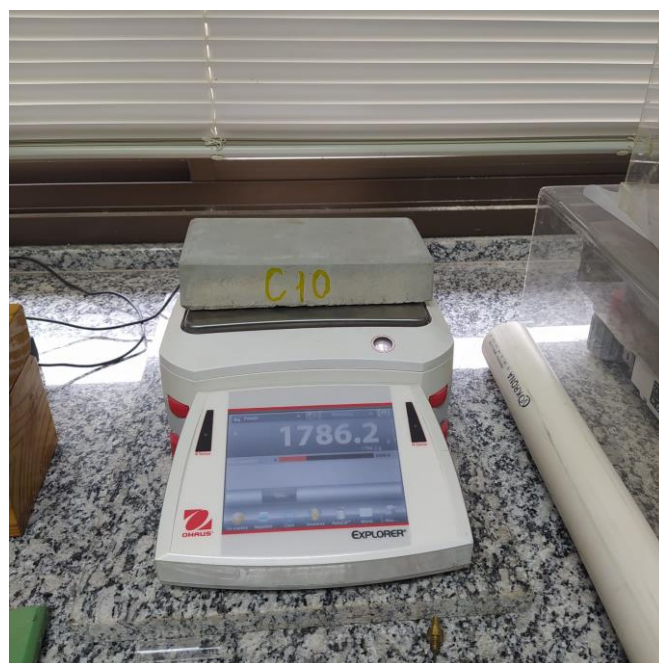


Figura 15. Balanza Explorer
Fuente: Elaboración propia.

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024



Figura 16. Proceq Pundit Modelo HK-AH-120A500-DH
Fuente: Elaboración propia.



Figura 17. Calibración de equipo Proceq Pundit para ensayo de Ultrasonido
Fuente: Elaboración propia.

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO
COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ**

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024



Figura 18. Ensayo de Ultrasonido
Fuente: Elaboración propia.

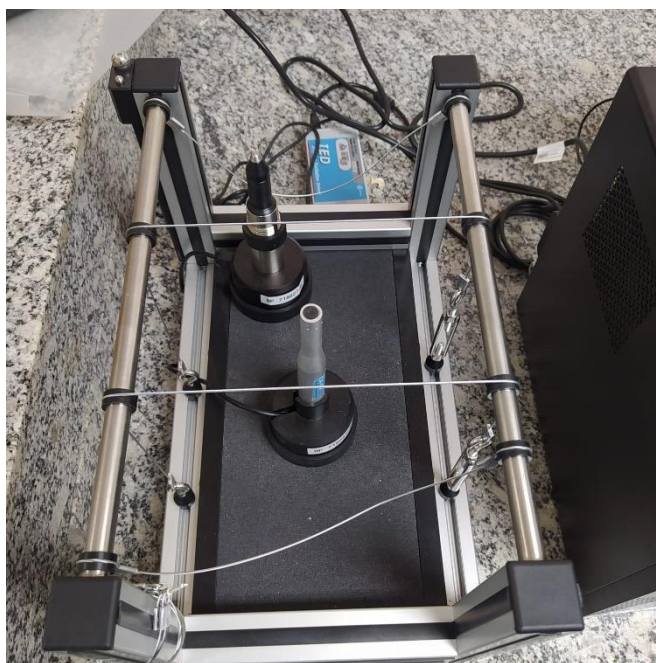


Figura 19. Aparato Sonelastic
Fuente: Elaboración propia.

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO
COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ**

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

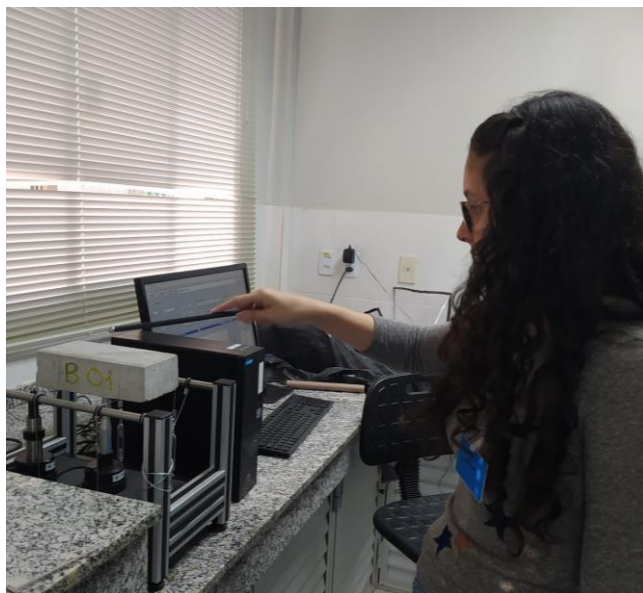


Figura 20. Ensayo de Módulo de Elasticidad
Fuente: Elaboración propia.

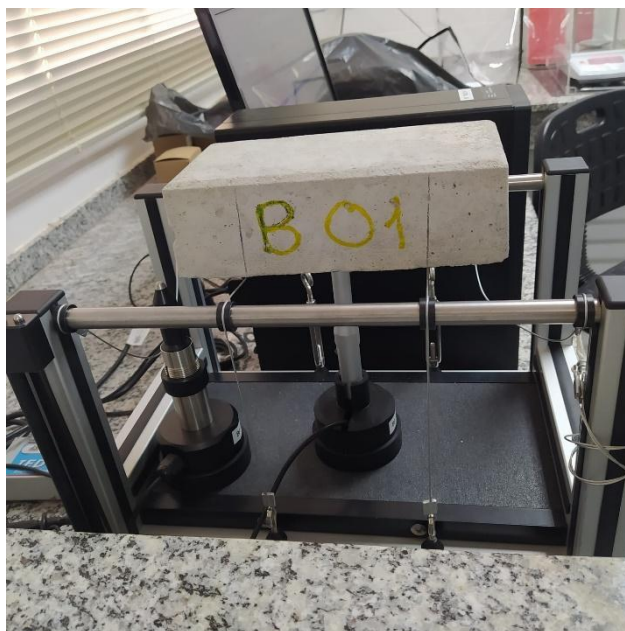


Figura 21. Ensayo de Módulo de Elasticidad
Fuente: Elaboración propia.

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO
COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ**

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024



Figura 22. Muestra saturada para ensayo de absorción.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 23. Ensayo de Compresión.
Fuente: Elaboración propia.

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO
COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ**

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Relatorios de ensayo

		DIRETORIA TÉCNICA - DT0 SO.DT / SOC.DT / SOCC.DT LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA DO CONCRETO DE ITAIPU		RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 310/2023-R0			
Solicitante: Universidad Nacional de Caaguazú - RAT nº 000/0000 - SS nº 0000/0000						Equip.de ensaio: Classe I/Torres/200t/ Calibração nº: DNTT/071c/23	
Coronel Oviedo - Bairro Azucena - CEP:						Norma de ensaio: NBR 9781-2013 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e método de ensaio	
Coronel Oviedo -						Tipo de capeamento: Argamassa de cimento	
Responsável: Prof. Ing. Alfredo Moreno						9,81 N = 1 Kgf	
Obra / Local: Pesquisa Hugo Katrip - Patricia Solaeché / TCC Katrip - Solaeché							
Lote:	Baratote	Data de moldagem:		Comprimento nominal (c) [mm]:	200	Nº de peças da amostra (n):	10
Peça tipo:	Tipo I	Data do ensaio:	1/11/2023	Largura nominal (l) [mm]:	100	Coeff. de Student (t):	0,883
Área da placa de ensaio:	5675 mm² (Ø 85mm)	Idade (dias):		Espessura nominal (e) [mm]:	60	Fator multiplicativo (p):	0,95
Nº CP	Comprimento (c) [mm]	Largura (l) [mm]	Espessura (e) [mm]	Índice de forma (IF)	Carga [N]	Tensão [MPa]	Tensão Corrigida [MPa]
102	198	97,4	61,3	3,2	88.879,00	15,7	14,9
103	197,9	97,2	60,5	3,3	150.485,00	26,5	25,2
104	197,4	97,5	61,4	3,2	70.828,00	12,5	11,9
105	197,9	97,8	61,9	3,2	72.594,00	12,8	12,2
106	198,5	97,7	57,9	3,4	48.854,00	8,6	8,2
107	197,8	97,3	57,9	3,4	49.442,00	8,7	8,3
108	199,1	98,0	60,5	3,3	54.936,00	9,7	9,2
109	198,8	98,1	57,0	3,5	179.719,00	31,7	30,1
110	198,9	97,8	62,0	3,2	84.758,00	14,9	14,2
111	199,6	98,5	58,9	3,4	51.601,00	9,1	8,6
Desvio padrão (s) [MPa]: 7,5		$f_{pk,est} = f_p - t \cdot s$			$f_{pk,est} = 7,6 \text{ MPa}$		
Resist. Média (fp) [MPa]: 14,3							
O presente relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem a aprovação do LTCI, exceto se for reproduzido na íntegra. Os resultados do presente relatório referem-se somente aos itens ensaiados ou amostrados.							
Resultado de Ensaio nº 310/2023-R0 Usina Hidrelétrica de Itaipu - Av. Tancredo Neves, 6.731 - Foz do Iguaçu / Paraná / Brasil - CEP: 85856-970 - Tel.(45)3520-3956 Página 1 de 5							

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO
COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ**

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Solicitante: Universidad Nacional de Caaguazú - RAT nº 000/0000 - SS nº 0000/0000 Coronel Oviedo - Bairro Azucena - CEP: Coronel Oviedo - Responsável: Prof. Ing. Alfredo Moreno Obra / Local: Pesquisa Hugo Katrip - Patricia Solaeche / TCC Katrip - Solaeche					Equip.de ensaio: Classe V/Torsee/200t/ Calibração nº: DNTT/071c/23 Norma de ensaio: NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e método de ensaio Tipo de capeamento: Argamassa de cimento 9,81 N = 1 Kgf			
Lote: Bertrand Tipo A	Data de moldagem:		Comprimento nominal (c) [mm]:		200	Nº de peças da amostra (n):		10
Peça tipo: Tipo I	Data do ensaio: 1/11/2023		Largura nominal (l) [mm]:		100	Coef. de Student (t):		0,883
Área da placa de ensaio: 5675 mm² (Ø 85mm)	Idade (dias):		Espessura nominal (e) [mm]:		60	Fator multiplicativo (p):		0,95
Nº CP	Comprimento (c) [mm]	Largura (l) [mm]	Espessura (e) [mm]	Índice de forma (IF)	Carga [N]	Tensão [MPa]	Tensão Corrigida [MPa]	
72	200	98,5	60,9	3,3	252.117,00	44,4	42,2	
73	199,2	98,5	63,0	3,2	189.333,00	33,4	31,7	
74	199,2	98,9	65,5	3,0	148.131,00	26,1	24,8	
75	200	98,9	63,0	3,2	190.706,00	33,6	31,9	
76	199,3	97,2	60,9	3,3	243.092,00	42,8	40,7	
77	199,7	98,3	63,5	3,1	198.947,00	35,1	33,3	
78	199,2	98,7	62,4	3,2	150.682,00	26,6	25,2	
79	199,4	99,0	62,0	3,2	222.687,00	39,2	37,3	
80	197,2	97,5	61,9	3,2	183.643,00	32,4	30,7	
81	199,8	99,0	63,4	3,2	192.276,00	33,9	32,2	
Desvio padrão (s) [MPa]: 5,8 Resist. Média (fp) [MPa]: 33,0					$f_{pk,est} = f_p - t \cdot s$ $f_{pk,est} = 27,9$ MPa			
Lote: Bertrand Tipo B	Data de moldagem:		Comprimento nominal (c) [mm]:		210	Nº de peças da amostra (n):		10
Peça tipo: Tipo I	Data do ensaio: 1/11/2023		Largura nominal (l) [mm]:		130	Coef. de Student (t):		0,883
Área da placa de ensaio: 5675 mm² (Ø 85mm)	Idade (dias):		Espessura nominal (e) [mm]:		60	Fator multiplicativo (p):		0,95
Nº CP	Comprimento (c) [mm]	Largura (l) [mm]	Espessura (e) [mm]	Índice de forma (IF)	Carga [N]	Tensão [MPa]	Tensão Corrigida [MPa]	
82	212	131,3	65,5	3,2	169.124,00	29,8	28,3	
83	211	130,6	67,3	3,1	246.231,00	43,4	41,2	
O presente relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem a aprovação do LTCl, exceto se for reproduzido na íntegra Os resultados do presente relatório referem-se somente aos itens ensaiados ou amostrados								
Resultado de Ensaio nº 310/2023-R0					Usina Hidrelétrica de Itaipu - Av. Tancredo Neves, 6.731 - Foz do Iguaçu / Paraná / Brasil - CEP: 85856-970 - Tel.(45)3520-3956			

Página 2 de 5

Solicitante: Universidad Nacional de Caaguazú - RAT nº 000/0000 - SS nº 0000/0000 Coronel Oviedo - Bairro Azucena - CEP: Coronel Oviedo - Responsável: Prof. Ing. Alfredo Moreno Obra / Local: Pesquisa Hugo Katrip - Patricia Solaeche / TCC Katrip - Solaeche					Equip.de ensaio: Classe V/Torsee/200t/ Calibração nº: DNTT/071c/23 Norma de ensaio: NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e método de ensaio Tipo de capeamento: Argamassa de cimento 9,81 N = 1 Kgf		
84	211,3	131,9	66,9	3,2	196.396,00	34,6	32,9
85	213,6	131,4	67,0	3,2	148.916,00	26,2	24,9
86	211	131,0	66,5	3,2	108.499,00	19,1	18,2
87	211,3	131,0	68,8	3,1	140.283,00	24,7	23,5
88	212,5	131,4	64,7	3,3	142.049,00	25,0	23,8
89	211,4	131,6	65,5	3,2	125.764,00	22,2	21,1
90	212,3	130,8	68,0	3,1	162.650,00	28,7	27,2
91	211	131,0	66,4	3,2	129.100,00	22,7	21,6
Desvio padrão (s) [MPa]: 6,7 Resist. Média (fp) [MPa]: 26,3					$f_{pk.est} = f_p - t . s$ $f_{pk.est} = 20,4$ MPa		
Lote: Concretubos	Data de moldagem:		Comprimento nominal (c) [mm]:		200	Nº de peças da amostra (n): 10	
Peça tipo: Tipo I	Data do ensaio: 1/11/2023		Largura nominal (l) [mm]:		100	Coef. de Student (t): 0,883	
Área da placa de ensaio: 5675 mm² (Ø 85mm)	Idade (dias):		Espessura nominal (e) [mm]:		60	Fator multiplicativo (p): 0,95	
Nº CP	Comprimento (c) [mm]	Largura (l) [mm]	Espessura (e) [mm]	Índice de forma (IF)	Carga [N]	Tensão [MPa]	Tensão Corrigida [MPa]
62	198,8	99,1	40,0	5,0	210.719,00	37,1	35,3
63	199	99,0	39,0	5,1	189.922,00	33,5	31,8
64	199	98,6	41,5	4,8	207.187,00	36,5	34,7
65	199	99,6	41,0	4,9	190.510,00	33,6	31,9
66	198,3	99,0	40,0	5,0	225.826,00	39,8	37,8
67	199	98,0	40,0	5,0	206.402,00	36,4	34,6
68	199	98,8	40,0	5,0	193.649,00	34,1	32,4
69	198,55	99,0	40,4	4,9	201.694,00	35,5	33,8
70	198,3	99,0	39,0	5,1	182.466,00	32,2	30,5
O presente relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem a aprovação do LTCI, exceto se for reproduzido na íntegra Os resultados do presente relatório referem-se somente aos itens ensaiados ou amostrados							
Resultado de Ensaio nº 310/2023-R0					Usina Hidrelétrica de Itaipu - Av. Tancredo Neves, 6.731 - Foz do Iguaçu / Paraná / Brasil - CEP: 85856-970 - Tel.(45)3520-3956		
Página 3 de 5							

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO
COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ**

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Solicitante: Universidad Nacional de Caaguazú - RAT nº 000/0000 - SS nº 0000/0000 Coronel Oviedo - Bairro Azucena - CEP: Coronel Oviedo - Responsável: Prof. Ing. Alfredo Moreno					Equip.de ensaio: Classe I/Torse/200t/ Calibração nº: DNTT/071c/23 Norma de ensaio: NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e método de ensaio Tipo de capeamento: Argamassa de cimento 9,81 N = 1 Kgf		
Obra / Local: Pesquisa Hugo Katrip - Patricia Solaeche / TCC Katrip - Solaeche							
71	198,55	99,0	37,9	5,2	228.965,00	40,3	38,3
Desvio padrão (s) [MPa]: 2,6 Resist. Média (fp) [MPa]: 34,1					$f_{pk,est} = f_p - t \cdot s$	$f_{pk,est} =$	31,8 MPa
Lote: Santa Ana	Data de moldagem:		Comprimento nominal (c) [mm]: 200		Nº de peças da amostra (n): 10		
Peça tipo: Tipo I	Data do ensaio: 1/11/2023		Largura nominal (l) [mm]: 100		Coef. de Student (t): 0,883		
Área da placa de ensaio: 5675 mm² (Ø 85mm)	Idade (dias):		Espessura nominal (e) [mm]: 60		Fator multiplicativo (p): 0,95		
Nº CP	Comprimento (c) [mm]	Largura (l) [mm]	Espessura (e) [mm]	Índice de forma (IF)	Carga [N]	Tensão [MPa]	Tensão Corrigida [MPa]
92	198,5	98,5	58,9	3,4	192.080,00	33,8	32,2
93	197,8	98,4	56,9	3,5	151.466,00	26,7	25,4
94	198,4	98,5	57,2	3,5	211.504,00	37,3	35,4
95	199	98,4	56,0	3,6	192.668,00	34,0	32,3
96	198,4	98,0	57,8	3,4	193.649,00	34,1	32,4
97	198,3	98,7	57,0	3,5	165.789,00	29,2	27,8
98	197,7	98,2	57,0	3,5	167.947,00	29,6	28,1
99	199	98,7	57,0	3,5	183.055,00	32,3	30,6
100	197,9	98,6	58,1	3,4	145.580,00	25,7	24,4
101	199	98,2	58,0	3,4	183.447,00	32,3	30,7
Desvio padrão (s) [MPa]: 3,5 Resist. Média (fp) [MPa]: 29,9					$f_{pk,est} = f_p - t \cdot s$	$f_{pk,est} =$	26,9 MPa

O presente relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem a aprovação do LTCL, exceto se for reproduzido na íntegra.
Os resultados do presente relatório referem-se somente aos itens ensaiados ou amostrados.

Resultado de Ensaio nº 310/2023-RD Usina Hidrelétrica de Itaipu - Av. Tancredo Neves, 6.731 - Foz do Iguaçu / Paraná / Brasil - CEP: 85856-970 - Tel.(45)3520-3956 Página 4 de 5

Solicitante: Universidad Nacional de Caaguazú - RAT nº 000/0000 - SS nº 0000/0000 Coronel Oviedo - Bairro Azucena - CEP: Coronel Oviedo - Responsável: Prof. Ing. Alfredo Moreno		Equip.de ensaio: Classe I/Torse/200t/ Calibração nº: DNTT/071c/23 Norma de ensaio: NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e método de ensaio Tipo de capeamento: Argamassa de cimento 9,81 N = 1 Kgf	
Obra / Local: Pesquisa Hugo Katrip - Patricia Solaeche / TCC Katrip - Solaeche			
Observações: Pesquisa Katrip - Solaeche			
Revisões: Não se aplica			

Foz do Iguaçu, 14 de novembro de 2023

Fernando Javier Ramos Gimenez / Ing. Civil División de Obras Civiles	Fábio Luiz Willrich / Engº Civil CREARS - 73.963/D / Visto/PR - 12635
---	--

O presente relatório de ensaio não pode ser reproduzido parcialmente sem a aprovação do LTCL, exceto se for reproduzido na íntegra.
Os resultados do presente relatório referem-se somente aos itens ensaiados ou amostrados.

Resultado de Ensaio nº 310/2023-RD Usina Hidrelétrica de Itaipu - Av. Tancredo Neves, 6.731 - Foz do Iguaçu / Paraná / Brasil - CEP: 85856-970 - Tel.(45)3520-3956 Página 5 de 5

Figura 24. Relatório de ensaio compressão – Laboratório ITAIPU Binacional.
Fonte: Elaboração própria.

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Nombre	Fecha y hora	Modo de medición	Resultado	Distancia	Velocidad	Hora 1	Factor de correc...
S09	30/08/2023 3:03 PM	Velocidad de pulso	3409 m/s	0.058 m	3409 m/s	17.0 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 10x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
S10	30/08/2023 3:04 PM	Velocidad de pulso	3534 m/s	0.058 m	3534 m/s	16.4 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 20x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
B01	30/08/2023 10:38 AM	Velocidad de pulso	3523 m/s	0.061 m	3523 m/s	17.3 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
B02	30/08/2023 10:47 AM	Velocidad de pulso	3907 m/s	0.061 m	3907 m/s	15.6 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Nombre	Fecha y hora	Modo de medición	Resultado	Distancia	Velocidad	Hora 1	Factor de correc...
B03	30/08/2023 10:48 AM	Velocidad de pulso	3191 m/s	0.061 m	3191 m/s	19.1 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
B04	30/08/2023 10:48 AM	Velocidad de pulso	3481 m/s	0.062 m	3481 m/s	17.8 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
B05	30/08/2023 10:49 AM	Velocidad de pulso	3019 m/s	0.058 m	3019 m/s	19.2 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
B06	30/08/2023 10:49 AM	Velocidad de pulso	2972 m/s	0.058 m	2972 m/s	19.5 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Nombre	Fecha y hora	Modo de medición	Resultado	Distancia	Velocidad	Hora 1	Factor de correc...
B07	30/08/2023 10:50 AM	Velocidad de pulso	3059 m/s	0.060 m	3059 m/s	19.6 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							
B08	30/08/2023 10:51 AM	Velocidad de pulso	3822 m/s	0.057 m	3822 m/s	14.9 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							
B09	30/08/2023 10:52 AM	Velocidad de pulso	3331 m/s	0.062 m	3331 m/s	18.6 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							
B10	30/08/2023 10:53 AM	Velocidad de pulso	3039 m/s	0.059 m	3039 m/s	19.4 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Nombre	Fecha y hora	Modo de medición	Resultado	Distancia	Velocidad	Hora 1	Factor de correc...
BT01	30/08/2023 10:55 AM	Velocidad de pulso	4384 m/s	0.061 m	4384 m/s	13.9 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
BT02	30/08/2023 10:55 AM	Velocidad de pulso	4087 m/s	0.063 m	4087 m/s	15.4 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
BT03	30/08/2023 10:56 AM	Velocidad de pulso	4046 m/s	0.066 m	4046 m/s	16.3 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
BT04	30/08/2023 10:58 AM	Velocidad de pulso	3959 m/s	0.063 m	3959 m/s	15.9 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Nombre	Fecha y hora	Modo de medición	Resultado	Distancia	Velocidad	Hora 1	Factor de correc...
BT05	30/08/2023 10:58 AM	Velocidad de pulso	4384 m/s	0.061 m	4384 m/s	13.9 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
BT06	30/08/2023 10:59 AM	Velocidad de pulso	4179 m/s	0.064 m	4179 m/s	15.3 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
BT07	30/08/2023 11:00 AM	Velocidad de pulso	3769 m/s	0.063 m	3769 m/s	16.7 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
BT08	30/08/2023 11:01 AM	Velocidad de pulso	4157 m/s	0.062 m	4157 m/s	14.9 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Nombre	Fecha y hora	Modo de medición	Resultado	Distancia	Velocidad	Hora 1	Factor de correc...
BT09	30/08/2023 11:02 AM	Velocidad de pulso	3997 m/s	0.062 m	3997 m/s	15.5 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
BT10	30/08/2023 11:02 AM	Velocidad de pulso	4341 m/s	0.063 m	4341 m/s	14.5 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
BT11	30/08/2023 3:15 PM	Velocidad de pulso	3834 m/s	0.066 m	3834 m/s	17.2 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 20x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
BT12	30/08/2023 3:16 PM	Velocidad de pulso	4046 m/s	0.066 m	4046 m/s	16.3 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 20x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

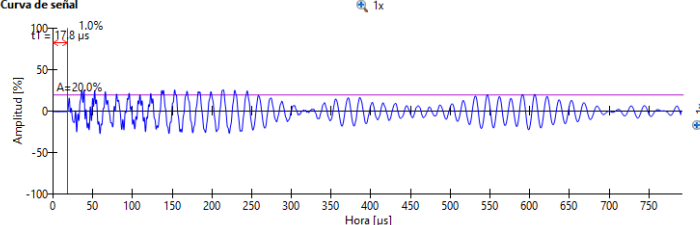
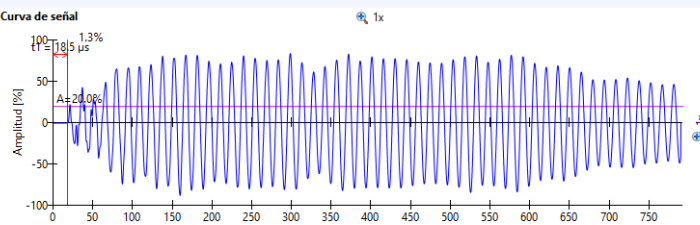
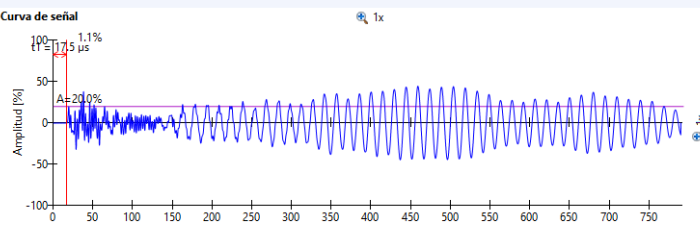
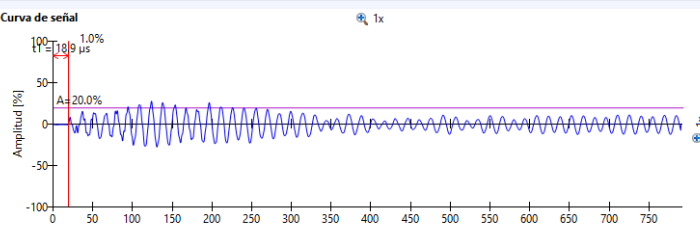
2024

Nombre	Fecha y hora	Modo de medición	Resultado	Distancia	Velocidad	Hora 1	Factor de correc...
BT13	30/08/2023 3:16 PM	Velocidad de pulso	3902 m/s	0.066 m	3902 m/s	16.9 μ s	1.00
Curva de señal Amplitud [%] Hora [μs] Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 20x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
BT14	30/08/2023 3:16 PM	Velocidad de pulso	3747 m/s	0.066 m	3747 m/s	17.6 μ s	1.00
Curva de señal Amplitud [%] Hora [μs] Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 20x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
BT15	30/08/2023 3:17 PM	Velocidad de pulso	3348 m/s	0.066 m	3348 m/s	19.7 μ s	1.00
Curva de señal Amplitud [%] Hora [μs] Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 20x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
BT16	30/08/2023 3:17 PM	Velocidad de pulso	3604 m/s	0.066 m	3604 m/s	18.3 μ s	1.00
Curva de señal Amplitud [%] Hora [μs] Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 20x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Nombre	Fecha y hora	Modo de medición	Resultado	Distancia	Velocidad	Hora 1	Factor de correc...
BT17	30/08/2023 3:17 PM	Velocidad de pulso	3705 m/s	0.066 m	3705 m/s	17.8 μ s	1.00
Curva de señal  Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 20x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							
BT18	30/08/2023 3:18 PM	Velocidad de pulso	3565 m/s	0.066 m	3565 m/s	18.5 μ s	1.00
Curva de señal  Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 20x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							
BT19	30/08/2023 3:19 PM	Velocidad de pulso	3769 m/s	0.066 m	3769 m/s	17.5 μ s	1.00
Curva de señal  Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 20x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							
BT20	30/08/2023 3:19 PM	Velocidad de pulso	3490 m/s	0.066 m	3490 m/s	18.9 μ s	1.00
Curva de señal  Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 20x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Nombre	Fecha y hora	Modo de medición	Resultado	Distancia	Velocidad	Hora 1	Factor de correc...
C01	30/08/2023 11:09 AM	Velocidad de pulso	3841 m/s	0.040 m	3841 m/s	10.4 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
C02	30/08/2023 11:10 AM	Velocidad de pulso	3819 m/s	0.039 m	3819 m/s	10.2 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
C03	30/08/2023 11:11 AM	Velocidad de pulso	3779 m/s	0.042 m	3779 m/s	11.1 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
C04	30/08/2023 11:12 AM	Velocidad de pulso	3624 m/s	0.041 m	3624 m/s	11.3 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Nombre	Fecha y hora	Modo de medición	Resultado	Distancia	Velocidad	Hora 1	Factor de correc...
C05	30/08/2023 11:12 AM	Velocidad de pulso	3916 m/s	0.040 m	3916 m/s	10.2 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
C06	30/08/2023 11:13 AM	Velocidad de pulso	3841 m/s	0.040 m	3841 m/s	10.4 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
C07	30/08/2023 11:14 AM	Velocidad de pulso	3805 m/s	0.040 m	3805 m/s	10.5 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							
C08	30/08/2023 11:15 AM	Velocidad de pulso	3769 m/s	0.040 m	3769 m/s	10.6 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Comentario [Añadir] Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1							

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Nombre	Fecha y hora	Modo de medición	Resultado	Distancia	Velocidad	Hora 1	Factor de correc...
C09	30/08/2023 11:15 AM	Velocidad de pulso	3895 m/s	0.039 m	3895 m/s	10.0 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							
C10	30/08/2023 11:16 AM	Velocidad de pulso	3795 m/s	0.038 m	3795 m/s	10.0 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 1x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							
S01	30/08/2023 2:56 PM	Velocidad de pulso	3983 m/s	0.059 m	3983 m/s	14.8 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 5x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							
S02	30/08/2023 2:56 PM	Velocidad de pulso	3494 m/s	0.057 m	3494 m/s	16.3 μ s	1.00
Curva de señal Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 5x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

Nombre	Fecha y hora	Modo de medición	Resultado	Distancia	Velocidad	Hora 1	Factor de correc...
S03	30/08/2023 2:58 PM	Velocidad de pulso	3848 m/s	0.057 m	3848 m/s	14.8 μ s	1.00
Curva de señal Amplitud [%] Hora [μs] 1x 1.1% 14.8 μs A=20.0% Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 5x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							
S04	30/08/2023 2:59 PM	Velocidad de pulso	3848 m/s	0.057 m	3848 m/s	14.8 μ s	1.00
Curva de señal Amplitud [%] Hora [μs] 1x 1.0% 14.8 μs A=20.0% Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 10x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							
S05	30/08/2023 2:59 PM	Velocidad de pulso	3651 m/s	0.057 m	3651 m/s	15.6 μ s	1.00
Curva de señal Amplitud [%] Hora [μs] 1x 1.1% 15.6 μs A=20.0% Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 10x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							
S06	30/08/2023 3:00 PM	Velocidad de pulso	3582 m/s	0.057 m	3582 m/s	15.9 μ s	1.00
Curva de señal Amplitud [%] Hora [μs] 1x 1.1% 15.9 μs A=20.0% Configuración y resultados Calib. compens. tiempo: -3.1 μs Tipo de sensor: Onda P Frec. sensor: 54 kHz Voltaje de pulso: 50 V Ganancia sensor: 10x Información del dispositivo Nombre dispositivo: Pundit Número de serie: UP01-004-0169 Versión de software: 3.0.11 Revisión de hardware: C1 Comentario [Añadir]							

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS PAVERS DE CONCRETO COMERCIALIZADOS EN LAS REGIONES DE ALTO PARANÁ Y CAAGUAZÚ

HUGO RENÉ KATRIP TORRES, PATRICIA NOEMI SOLAECHE GALEANO

2024

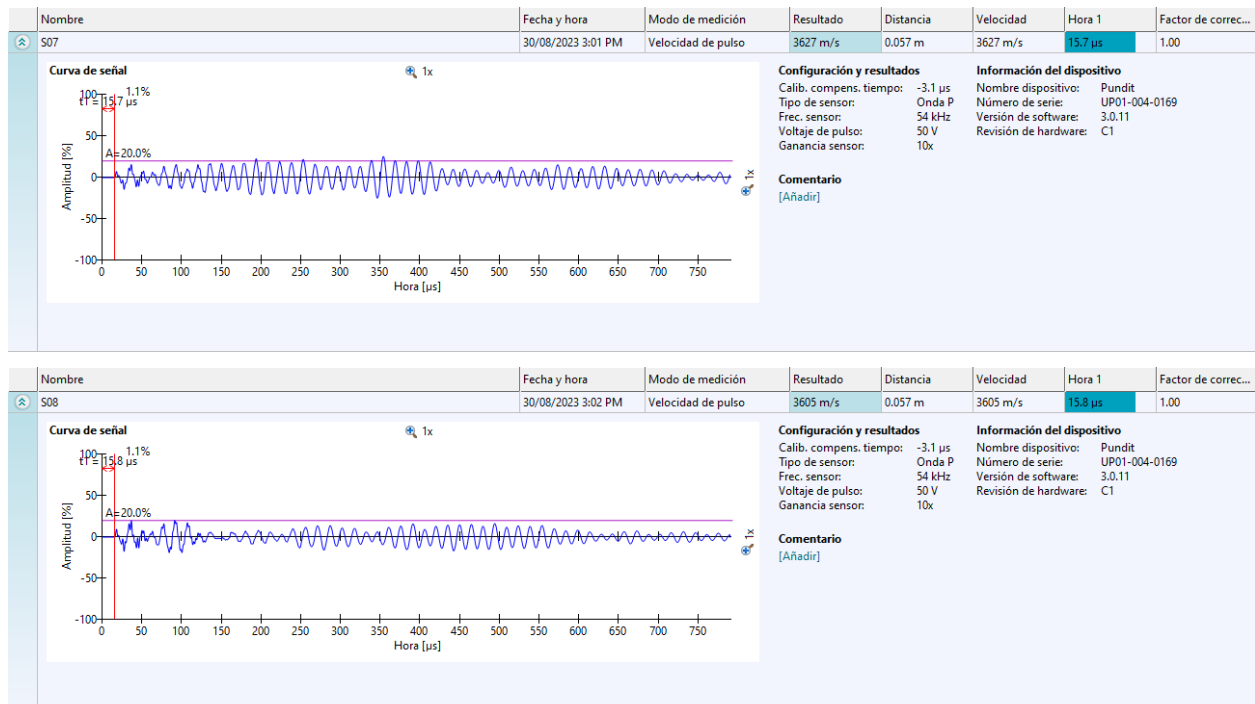


Figura 24. Ondas de Ultrasonido – Proceq Pundit PL200.
Fuente: Elaboración propia.