



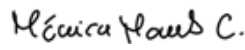


UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
Coordinación de investigación, docencia y aseguramiento de la calidad - CIDAC
F-01P Formato radicación de trabajo de grado, fase PROYECTO

Para un rápido desplazamiento en el formato utilice TAB, para retroceso Shift+Tab. En la sección modalidad de grado y producto para entregar seleccione una opción.

Fecha De Radicación:	20/05/2024
Modalidad de Grado:	<input type="radio"/> Monografía <input checked="" type="radio"/> Pasantía <input type="radio"/> Posgrado <input type="radio"/> Seminario internacional <input type="radio"/> Diplomado
Producto para entregar	<input checked="" type="radio"/> Monografía <input type="radio"/> Ensayo <input type="radio"/> Artículo
Título del Proyecto:	IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO "PULSO ULTRASÓNICO EN EL CONCRETO" EN LA EMPRESA IDICOL SAS
Línea de investigación:	Tecnologías alternativas en materiales e ingeniería para el desarrollo de soluciones sostenibles
Semillero de Investigación:	Estructuras

	Estudiante (Nombres y Apellidos Completos)	Cédula	Código	Correo electrónico	Celular
1	Julian Andres Niño Arias	1007328970	1007328970	Jninoa1@ulagrancolombia.edu.co	3202701332
2	Escriba nombre completo.	ID.	Código UGC.	e-mail UGC.	Teléfono móvil.
3	Escriba nombre completo.	ID.	Código UGC.	e-mail UGC.	Teléfono móvil.

FIRMA DE AVAL (Espacio exclusivo para aprobación)		
Director trabajo de grado	Co director trabajo de grado	Asesor(a) metodológico(a)
Firma: 	Firma: 	Firma: 
Nombre: Jenny Magaly Pira Ruiz	Nombre: Jenny Magaly Pira Ruiz	Nombre: Mónica Morales
Coordinación de Investigación		
Firma: _____		
Nombre: Oscar Oswaldo Echavarría S.		

Observaciones: Observaciones.

IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO PULSO ULTRASÓNICO

IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO “PULSO ULTRASÓNICO EN EL CONCRETO” EN LA EMPRESA IDICOL SAS

Julian Andres Niño Arias



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería civil, Facultad de ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2024

IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO PULSO ULTRASÓNICO

Implementación del ensayo “pulso ultrasónico en el concreto” en la empresa IDICOL SAS

Julian Andres Niño Arias

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director: Ing. Jenny Magaly Pira



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería civil, Facultad de ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2024

IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO PULSO ULTRASÓNICO

Tabla de contenido

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
JUSTIFICACIÓN	8
MARCO REFERENCIAL	9
RESULTADOS	14
CREACIÓN DEL MANUAL.....	14
SELECCIÓN DE ESPECÍMENES DE PRUEBA	15
CREACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN.	18
<i>Curva método directo</i>	20
<i>Curvas método indirecto</i>	22
IMPLEMENTACIÓN Y CAPACITACIÓN.....	24
CASO DE ESTUDIO.....	30
CONCLUSIONES	33
RECOMENDACIONES	34
LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA	35
ANEXOS	37

Lista de ilustraciones

Ilustración 1	Métodos de propagación y recepción de pulsos ultrasónicos	11
Ilustración 2	Metodología para el desarrollo de la implementación del ensayo ultrasonido en el concreto.....	14
Ilustración 3	16
Ilustración 4	Cuarto húmedo, control ambiental de humedad.....	17
Ilustración 5	Ejecución de ensayo de ultrasonido en cilindro de 6".....	18
Ilustración 6	Ejecución de ensayos de compresión de cilindros de concreto.....	19
Ilustración 7	Prueba en viguetas y cilindros para construcción de curvas de calibración.	19
Ilustración 8	Grafico de correlación para método directo.....	22
Ilustración 9	Grafico de correlación para método indirecto.....	24
Ilustración 10	Sistema ERP de la empresa IDICOL SAS	25
Ilustración 11	Plataforma recursos audiovisuales IDICOL SAS.....	26
Ilustración 12	Sección de manuales y capacitaciones ERP IDICOL SAS.....	26
Ilustración 13	Evaluación practica medición en diferentes métodos y casos.....	27
Ilustración 14	Evaluación práctica.....	27
Ilustración 15	Evaluación teórica.....	28
Ilustración 16	Sesiones de capacitación del ensayo.....	28
Ilustración 17	Control de evaluaciones mensuales	29
Ilustración 18	Zona de estudio de caso	30
Ilustración 19	Método exploración por áreas estudio de caso.....	30

IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO PULSO ULTRASÓNICO

Ilustración 20 Tiempo y velocidad zona estudio de caso.....	31
Ilustración 25 Identificación de fisuras y toma de ensayo de medición de profundidad de fisuras mediante ultrasonido	31

IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO PULSO ULTRASÓNICO

Lista de Tablas

Tabla 1	Alimentación de datos para las curvas de calibración del mes 1 al mes 6	20
Tabla 2	Alimentación de datos para las curvas de calibración del mes 1 al mes 6.....	22

Lista de ecuaciones

Ecuación 1	Velocidad de propagación de onda.....	11
-------------------	---------------------------------------	----

Resumen

El proyecto de grado en modalidad pasantía, se enfoca en la implementación de pruebas de pulso ultrasónico como herramienta no destructiva para evaluar la calidad del concreto en estructuras de construcción. El objetivo principal es desarrollar un manual de operación para desarrollar curvas de calibración específicas para el equipo de ultrasonido, facilitando la formación efectiva del personal técnico y permitiendo mediciones precisas de resistencia del concreto mediante tecnología ultrasónica con el fin de mejorar la calidad y seguridad de las estructuras de concreto.

Palabras clave: Ultrasonido, curvas, Resistencia del concreto, Ensayos no destructivos.

Abstract

The degree project in internship mode focuses on the implementation of ultrasonic pulse tests as a non-destructive tool to evaluate the quality of concrete in construction structures. The main objective is to develop a comprehensive training system that includes a practical manual and specific calibration curves for ultrasound equipment, facilitating the effective training of technical personnel and allowing accurate concrete strength measurements using ultrasonic technology in order to improve the quality and safety of concrete structures.

Keywords: Ultrasound, curves, Concrete strength, non destructive tests.

Introducción

El desarrollo de la construcción a lo largo de la historia ha generado el avance de ciudades y redes de infraestructura, sin embargo producto del paso del tiempo, los factores adversos generan pérdida de la vida útil de las estructuras, las cuales se pueden ver influenciadas de manera adversa por factores como el desarrollo de diseños inadecuados, materiales con bajos controles de calidad, malos procesos constructivos, así como factores ambientales, que aceleran la aparición de lesiones en las estructuras, siendo el concreto uno de los materiales que usualmente presenta mayores afectaciones; esto ha impulsado el desarrollo de los estudios y técnicas de auscultación directas e indirectas para el estudio y evaluación de los elementos de concreto.

Una de las técnicas indirectas de mayor capacidad y potencialidad para la evaluación del concreto es la determinación de la velocidad de pulso ultrasónico, la cual permite evaluar condiciones de homogeneidad, defectos y correlaciones de resistencia permitiendo la realización de análisis no invasivos de la estructura que terminen por afectarla.

Por este motivo la empresa motivada por la necesidad de contar con mejores equipos e implementación de técnicas adecuadas de evaluación de patologías del concreto, decidió adquirir un equipo de última generación de pulso ultrasónico con referencia Pundit 200, el cual permite realizar diferentes mediciones como: escaneos de uniformidad de las estructuras de concreto a partir de la medición de las velocidades de pulso, evaluación de profundidades de fisuras y determinación de resistencias a compresión correlacionadas a partir de curvas empíricas que pueden configurarse dentro del equipo.

Pese a ello, al contar con diferentes metodologías de captura de datos y modos de manejo, así como de carencia de datos para la construcción de curvas empíricas de correlación entre pruebas de determinación de la resistencia a compresión del concreto, con las mediciones indirectas del ultrasonido se ha visto la necesidad del desarrollo de un proyecto de implementación de del equipo bajo la norma

de ensayo NTC 4325-1997 “Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto”; lo anterior enfocando en obtener resultados de alta calidad de las mediciones, así como correlaciones de resistencia que permitan los adecuados análisis por parte del departamento de patología de la compañía. Para ello a través de este proyecto se buscará crear un manual detallado de la ejecución del ensayo, el desarrollo de curvas de correlación empíricas que permitan la correlación entre las pruebas de ultrasonido y ensayos de compresión en cilindros de concreto para el método directo y para el método indirecto ensayos de flexión en viguetas de concreto y la capacitación sobre el uso en los diferentes modos y usos del equipo, para su adecuada operación en campo durante los procesos de captura de información.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar y asegurar la implementación efectiva de un manual de capacitación para el uso del equipo de ultrasonido Pundit 200 en pruebas de resistencia de concreto, mediante la creación de un manual detallado, el desarrollo de curvas de calibración específicas y la realización de pruebas de verificación y actualizaciones periódicas que garanticen la precisión de las mediciones.

Objetivos Específicos

- Crear un manual detallado que describa el proceso de ejecución de las pruebas de resistencia paso a paso, utilizando gráficos y conceptos generales, con el propósito de capacitar al personal de manera efectiva.
- Desarrollar curvas de calibración específicas para el equipo Pundit 200 mediante la realización de pruebas con cilindros de concreto y viguetas, estableciendo relaciones precisas entre el esfuerzo y la velocidad de las ondas ultrasónicas.
- Llevar a cabo pruebas de verificación y actualizaciones periódicas que garanticen la precisión de la medición y actualización del equipo de ultrasonido Pundit 200

Planteamiento del problema

La empresa adquirió el equipo de pulso ultrasónico, como parte de su proceso de ampliación de las metodologías de evaluación de las patologías del concreto; este equipo hace parte de los equipos de mayor tecnología en la actualidad y debido a ello cuenta con diferentes metodologías de uso, lo cual hace que a diferencia de otras referencias equipos de ultrasonido no solo sea usado para la medición de las velocidades de pulso de manera puntual, sino que adicional a ello se puedan crear mapas de contraste que permitan identificar variaciones de la homogeneidad de la estructura en dos dimensiones, determinación de profundidades de fisuras, determinación de la resistencia correlacionada a partir de curvas empíricas. Sin embargo, la inadecuada configuración y captura de datos durante su operación puede llevar a datos erróneos durante el post proceso y análisis de la información, llevando a la toma de decisiones erradas durante la etapa de análisis de los resultados o hasta llegar a la instancia de descartar los resultados al ser considerados como dudosos.

Otra de las problemáticas que se ha evidenciado es la ausencia de curvas empíricas de correlación entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, lo cual impide que esta opción sea utilizada dentro del equipo para la obtención de resultados confiables, por lo cual es necesario crear unas curvas de calibración para la obtención de los resultados al instante.

Producto de lo anteriormente indicado, se hace evidente que la inadecuada parametrización y operación del equipo puede conllevar a resultados dudosos, como la limitación de la versatilidad que se puede obtener al implementar el uso del equipo Pundit 200 bajo la norma colombiana NTC 4325-1997 “Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto”.

¿Cómo puede la empresa IDICOL SAS implementar de manera efectiva el uso apropiado del equipo Pundit 200, teniendo en cuenta la carencia de experiencia y conocimiento en la aplicación del

ensayo de pulso ultrasónico en estructuras de concreto y así garantizar la calidad de las mediciones realizadas siguiendo el procedimiento de ensayo de la norma NTC 4325-1997?

Justificación

La ausencia de conocimiento por parte del personal de la empresa para la adecuada operación y aprovechamiento del equipo de ultrasonido, originó que a partir del desarrollo de la pasantía se establezca una metodología y recursos de apoyo y posterior capacitación para el personal técnico y profesional de la compañía, que permita la adecuada operación y obtener el máximo rendimiento del equipo bajo la metodología establecida en la norma NTC 4325-1997 " Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto", logrando la obtención de resultados y el aprovechamiento de la potencialidad del equipo, teniendo en cuenta que este equipo a diferencias de las referencias existentes, tiene capacidades para: determinar mapas en dos dimensiones de la homogeneidad del concreto, determinar profundidades de fisuras, determinar la resistencia correlacionada a compresión del concreto mediante curvas empíricas. Sin embargo, si el equipo deja de fabricarse, se reemplazaría por uno de otro proveedor en el mercado o se actualizaría a una nueva versión.

Por tal motivo para lograr explorar las potencialidades del ensayo, se plantea el desarrollo de actividades como:

- Creación de manual: Realizar manual práctico para el personal que va a ejecutar el ensayo paso a paso, mediante gráficos y conceptos generales.
- Creación de curvas de calibración: Realizar curvas de calibración de resistencia a compresión de concreto correlacionadas con el ensayo de ultrasonido, mediante el desarrollo de ensayos sobre muestras de concreto en la planta del laboratorio.
- Cumplimiento de estándares y regulaciones: Implementar el ensayo bajo la estandarización de la normativa colombiana establecida en la norma NTC 4325-1997" Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto".

Marco Referencial

El método del ultrasonido fue inicialmente desarrollado en Canadá por Leslie y Cheesman en el período comprendido entre 1945 y 1949. Este método consiste en la medición del tiempo en la que un pulso de sonido de alta frecuencia atraviesa una masa de concreto.

De acuerdo con Silva (2018), dentro de las ventajas del ensayo se encuentran:

- Cualquiera que sea el medio de propagación de las ondas, se necesita una única medida para obtener un valor representativo. Es decir, la dispersión de este ensayo resulta muy baja.
- Es un ensayo con elevada confiabilidad y fácil de realizar, sin dejar de lado que se refiere a uno de los ensayos no destructivos al concreto, con lo que, además, se garantizan repetitividad y versatilidad.
- Diversos autores consideran que, aunque este ensayo no permite evaluar directamente la resistencia del concreto, correlacionando las medidas ultrasónicas con la resistencia a partir de una combinación del método con calibración en laboratorio, podría ofrecerse una estimación de la resistencia característica del concreto ensayado con una precisión de $\pm 20\%$.
- El método se basa en un fenómeno físico muy conocido: la propagación de ondas en un medio material, el cual puede tornarse complejo cuando el medio de propagación es heterogéneo. Este hecho implica diferentes fases que componen al material, con diferentes propiedades elásticas relativas a la propagación de ondas, heterogeneidad que representa una limitación en el conocimiento de la forma del frente de onda, así como también en el camino seguido por ella.
- Las ondas de sonido se propagan en los medios sólidos a partir de excitaciones vibratorias en forma de ondas, y la velocidad de estas depende de las propiedades elásticas del medio en que se propagan, de manera que, conociendo la velocidad del sonido y la masa del sólido, es posible estimar las propiedades elásticas del medio, las cuales se pueden relacionar con los parámetros de calidad del material (pp. 3-7).

El ensayo de pulso ultrasónico en el concreto es una técnica no destructiva que se utiliza para evaluar la calidad y las propiedades del concreto, como su resistencia y la presencia de defectos a través de la generación y detección de ondas ultrasónicas, este método nos permite obtener información crucial sobre la integridad y la durabilidad de las estructuras de concreto, sin necesidad de dañar el material a intervenir.

La velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas en el concreto depende de su densidad y elasticidad, como señala Jaramillo & Yoctun (2023) “el valor de la resistencia del concreto no sustituye al valor de la prueba de rotura de la muestra, y a medida que la velocidad del pulso ultrasónico aumenta, también lo hace la resistencia” (p. 2-21). La detección de defectos como grietas o inclusiones de aire se basa en cómo las ondas ultrasónicas se reflejan o dispersan en el material, este ensayo se aplica en la inspección de estructuras como control de calidad en la construcción, estimación de la profundidad de daños y la evaluación del estado de las estructuras con el tiempo.

De acuerdo con la (NTC 4325, 1997) la velocidad de pulsos ultrasónicos de vibración longitudinal que atraviesan el concreto puede ser usada para las aplicaciones como:

- Determinación de la uniformidad del concreto de un elemento o entre elementos.
- La detección de grietas y la evaluación aproximada de su tamaño, así como de vacíos y otros defectos del concreto.
- Medición de los cambios en las propiedades del concreto a través del tiempo.
- Correlación de la velocidad del pulso con la resistencia mecánica del concreto, como una medida de la calidad de este.
- Determinación en el concreto del módulo de elasticidad y del módulo dinámico de Poisson.

Lo anterior teniendo en cuenta que el principio del ensayo de acuerdo con lo descrito en la NTC 4325-1997 se basa en la utilización de un pulso de vibraciones longitudinales producido por un transductor electroacústico puesto en contacto con una de las superficies del elemento de concreto bajo estudio.

Luego de atravesar una longitud conocida (L) en el concreto, el pulso de las vibraciones es convertido en una señal electroacústica por un segundo transductor. Circuitos electrónicos permiten medir el tiempo de tránsito del pulso (T)". La velocidad del pulso (V) expresada en km/s o en m/s viene dada por:

Ecuación 1

Velocidad de propagación de onda

$$V = \frac{L}{T}$$

Fuente: (Vidaud, 2016)

Donde:

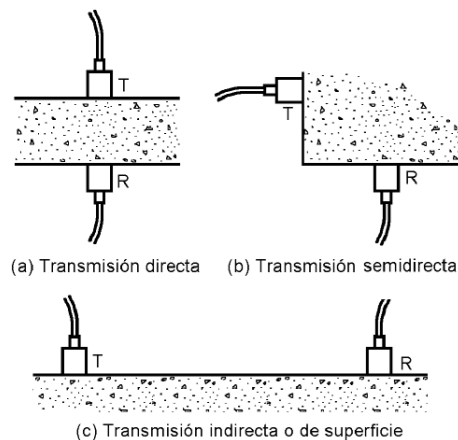
- L=Longitud de trayectoria.
- T=tiempo que requiere el pulso para atravesar tal longitud.

Para la determinación de la velocidad de pulso existen tres sistemas de localización de los transductores encargados de la emisión y recepción de la señal:

- Caras opuestas (transmisión directa)
- Caras adyacentes (transmisión semidirecta)
- La misma cara (transmisión indirecta o de superficie)

Ilustración 1

Métodos de propagación y recepción de pulsos ultrasónicos



Fuente (NTC 4325, 1997)

Múltiples factores pueden influir en estas mediciones, como el tipo de concreto, el contenido de humedad, la porosidad, la densidad, los agregados, la temperatura, la presencia de defectos, el equipo y la orientación de la onda ultrasónica.

El ensayo de pulso ultrasónico en el concreto ha revolucionado la forma en que se evalúan las estructuras de concreto en la ingeniería civil. A lo largo de los años, ha pasado de ser una técnica básica para detectar imperfecciones a convertirse en una herramienta esencial para determinar las propiedades mecánicas de los materiales.

En las páginas de la publicación *Ultrasonic Pulse Velocity in Concrete - ASTM Special Technical Publication* La introducción de la ASTM International en 1956 marca el comienzo de nuevos conocimientos en la evaluación del concreto. Esta norma plantea la importancia de comprender las ondas ultrasónicas en el concreto, destacando la conexión intrínseca entre la velocidad de estas ondas y la calidad del material. Planteando una nueva metodología, los autores abren la puerta a un nuevo enfoque para evaluar la integridad del hormigón.

Según la norma, ASTM C597 (2022), “Este método de ensayo cubre la determinación de la velocidad de propagación de pulsos longitudinales de ondas de esfuerzos a través del concreto. Este método no se aplica a la propagación de otros tipos de ondas de esfuerzo a través del concreto” (p. 5)

Los ingenieros, inmersos en explorar las posibilidades del ensayo de pulso ultrasónico, se enfocaron en evaluar puentes de concreto. Según la revista *Application of Ultrasonic Testing for Concrete Bridge Elements* de ACI (2001), su enfoque detallado en detectar defectos internos dio resultados sorprendentes. No solo confirmaron que la técnica funciona bien, sino que también demostraron su eficacia al detectar temprano posibles problemas estructurales en estos elementos clave de la infraestructura.

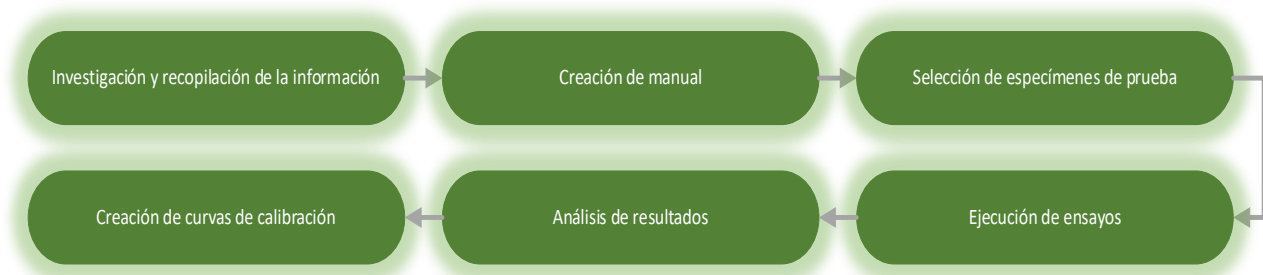
Evaluar el daño en el concreto con métodos no destructivos tiene más beneficios. Según el estudio "Assessing Alkali-Silica Reaction Damage to Concrete with Non-Destructive Methods: From the Lab to the Field" de Rivard & Pierre (2009), la efectividad de estos métodos depende de cómo se relacionan las propiedades físicas y mecánicas del concreto. Este artículo se centra en usar tres métodos no destructivos (velocidades de onda ultrasónica, módulo de Young dinámico medido con frecuencia resonante y resistividad eléctrica) para evaluar núcleos de concreto sacados de una gran estructura hidráulica afectada por la reacción álcali-sílice (ASR). Aunque la estructura mostró mucha expansión, los resultados indican que el concreto está en buena condición, especialmente en los primeros dos metros desde la superficie. La resistividad eléctrica tiene sus limitaciones para evaluar el daño por ASR, pero el módulo de Young dinámico y la velocidad ultrasónica funcionan mejor, demostrando que no se deben extrapolar directamente los resultados de laboratorio al campo.

Resulta que la presencia de agua influye mucho en la velocidad de las ondas. Los autores no solo mencionan este efecto, sino que también destacan lo importante que es considerar las condiciones del ambiente al interpretar los resultados.

Resultados

La metodología utilizada para alcanzar los objetivos propuestos se detalla en la Ilustración 2. A través de esta metodología, se llevaron a cabo varias etapas, que incluyeron la creación de un manual práctico y la realización de pruebas con cilindros de concreto y viguetas de concreto. Estas pruebas tenían como objetivo obtener curvas de velocidad vs resistencia del concreto ya que en Colombia actualmente no se tienen y las cuales son únicas para el equipo de ultrasonido utilizado.

Ilustración 2
Metodología para el desarrollo de la implementación del ensayo ultrasonido en el concreto



Fuente: Elaboración propia

Creación del manual.

El manual del equipo fue creado en cinco etapas, como se detalla en el anexo 2.

1. El primer paso consistió en presentar detalladamente las diferentes partes y componentes del equipo, para proporcionar al personal encargado de ejecutar las pruebas una visión general de cómo interactúan entre sí las distintas piezas.
2. El segundo paso fue identificar la necesidad de proporcionar instrucciones detalladas sobre la instalación del equipo. Por lo tanto, se creó la sección 2 del manual, llamada "Instalación del equipo", la cual contiene 3 pasos para su posterior uso.
3. En el tercer paso se tomaron en cuenta las problemáticas presentadas en campo, donde dependiendo del elemento a evaluar, se identificaron 3 casos, los cuales se plasmaron en la sección 3 del manual:
 - Caso 1: Método directo, en el cual se debe tener un elemento libre en las dos caras, como columnas y vigas.
 - Caso 2: Elementos sin las caras libres, como pavimentos rígidos, muros sin acceso a la cara posterior del ensayo, vigas y columnas sin acceso libre a todas las caras.
 - Caso 3: Combinación del caso 1 y el caso 2. Es importante aclarar que este tercer caso no se ejecuta en la empresa.

4. En el cuarto paso se identificó la necesidad de explicar detalladamente los pasos a seguir para la ejecución del ensayo en campo, utilizando imágenes que ilustran el proceso en 4 pasos.
5. En el quinto paso se implementó la sección 5, llamada "Ejemplos", en la cual se explica de manera detallada los 3 métodos (directo, indirecto, semi-indirecto).

Selección de especímenes de prueba

Para seleccionar los especímenes de prueba, se siguieron varios criterios específicos. En primer lugar, se optó por utilizar cilindros de 4 y 6" de diámetro y viguetas de concreto lo especímenes vienen de las diferentes obras que tiene la compañía. Además, se decidió que los especímenes debían tener un tiempo de curado estándar de 28 días y una resistencia nominal de 4000 psi. Este período es comúnmente aceptado como el tiempo necesario para que el concreto alcance una resistencia adecuada para su evaluación.

En cuanto al proceso de curado, se estableció que los cilindros y las viguetas serían curados en un ambiente controlado, específicamente en un cuarto húmedo con una humedad del aire de aproximadamente 23°C, con una variación de más o menos 2°C, el cuarto cuenta con aspersores y una resistencia la cual mantiene el agua a la temperatura especificada, como también una cámara de nebulización.

Ilustración 3
Cuarto húmedo de especímenes cilindros y viguetas



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4
Cuarto húmedo, control ambiental de humedad



Fuente: Elaboración propia

Creación de las curvas de calibración.

Para la creación de las curvas de calibración se escogieron especímenes de 4 y 6" los cuales contaban con 28 días de curado donde se les realizaron pruebas directas donde se realizó el acompañamiento a cada una de las pruebas para la creación de las curvas de calibración, estableciendo de manera precisa las relaciones entre el esfuerzo aplicado y la velocidad de las ondas ultrasónicas.

Adicionalmente, se realizaron pruebas en viguetas, donde se correlacionó el módulo de rotura con el esfuerzo a la compresión. Este enfoque permitió llevar a cabo tanto pruebas indirectas como pruebas directas, proporcionando una perspectiva integral de la resistencia del concreto, como se muestra en la ilustración 5,6 y 7.

Ilustración 5
Ejecución de ensayo de ultrasonido en cilindro de 6"



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6*Ejecución de ensayos de compresión de cilindros de concreto**Fuente: Elaboración propia***Ilustración 7***Prueba en viguetas y cilindros para construcción de curvas de calibración.*

Nota: a) ultrasonido en cilindros de concreto método directo, b) ultrasonido en viguetas método indirecto, c) ultrasonido en viguetas método semi-indirecto.

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizadas las pruebas de velocidad y resistencia se realizó el procesamiento de los datos para realizar las curvas de calibración. Las curvas de calibración obtenidas fueron cuidadosamente parametrizadas, estableciendo así un sólido fundamento para su implementación en ensayos futuros de diversos proyectos, como se muestra en las tablas 1 y 2 y las ilustraciones 8 y 9.

Curva método directo

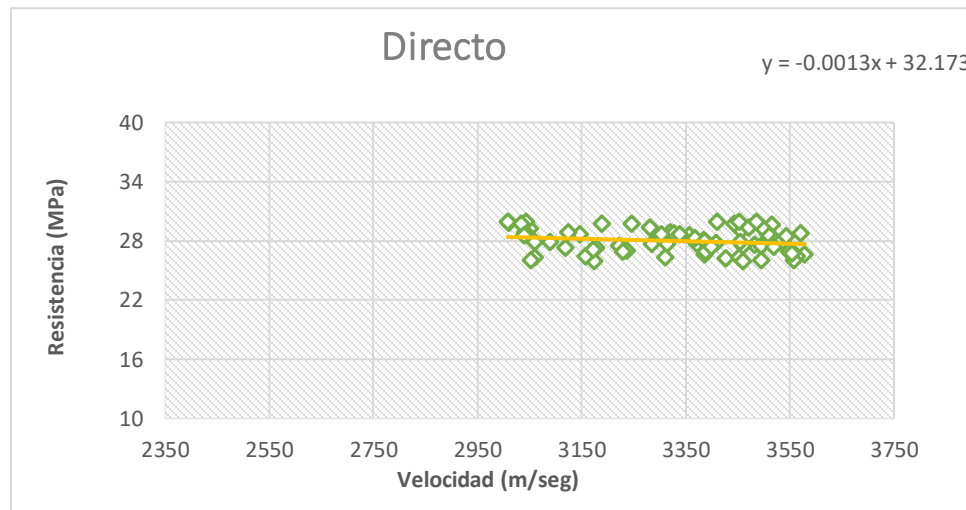
Tabla 1
Alimentación de datos para las curvas de calibración del mes 1 al mes 6

Mes	Directo	
	Velocidad	Esfuerzo
Mes 1	3051	29.25
	3312	26.38
	3147	28.65
	3409	27.83
	3483	27.59
	3457	29.12
	3167	26.85
	3384	28.12
	3427	26.31
	3119	27.34
Mes 2	3281	29.39
	3544	28.50
	3454	26.39
	3124	28.86
	3246	29.76
	3553	26.73
	3444	29.74
	3060	27.94
Mes 3	3222	27.56
	3320	28.91
	3459	27.58
	3043	29.95
	3515	29.72
	3237	27.09
	3090	27.95
Mes 4	3178	27.32
	3460	26.01
	3410	29.98
	3009	29.85

	3371	27.68
	3550	27.13
	3060	26.32
	3008	29.97
	3042	28.92
	3579	26.69
	3452	30.00
	3327	28.76
	3496	26.12
	3175	26.00
Mes 5	3315	27.68
	3356	28.65
	3548	26.98
	3454	27.91
	3514	28.52
	3034	29.74
	3367	28.35
	3040	28.59
	3563	26.43
	3494	27.56
	3188	29.76
	3557	26.05
	3157	26.48
3520	27.39	
Mes 6	3173	27.17
	3386	26.64
	3386	28.05
	3052	26.04
	3230	26.91
	3471	29.38
	3509	28.68
	3555	26.76
	3388	26.91
	3497	29.35
	3338	28.72
	3302	28.73
	3285	27.69
	3571	28.75
3485	29.95	
3398	27.45	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 8
 Grafico de correlación para método directo



Fuente: Elaboración propia

Curvas método indirecto

Tabla 2
 Alimentación de datos para las curvas de calibración del mes 1 al mes 6

Mes	Indirectos	
	Velocidad	Esfuerzo
Mes 1	2609	24.9
	2477	25.6
	2468	28.6
	2518	25.3
	2544	24.9
	2481	26.7
	2405	26.3
	2585	25.1
	2459	24.4
	2659	24.9
Mes2	2416	24.6
	2553	28.8
	2696	24.3
	2676	24.9
	2499	27.3
	2658	24.1
	2588	26.1
	2412	26.4
2597	25.1	

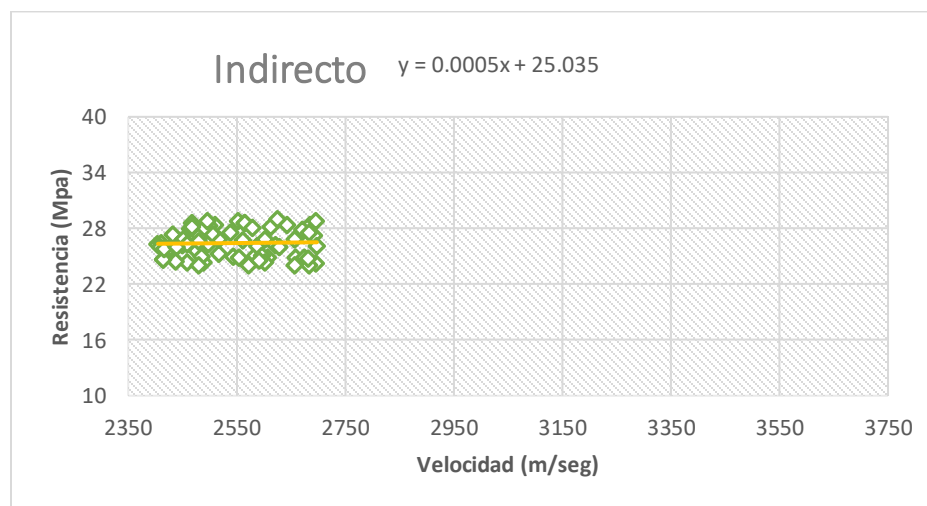
Mes 3	2432	27.4
	2565	28.6
	2483	27.2
	2437	24.5
	2427	25.9
	2416	24.7
	2518	26.8
Mes 4	2490	24.4
	2643	28.4
	2486	25.0
	2510	28.4
	2614	28.2
	2450	26.3
	2500	28.3
	2540	27.6
	2499	26.3
	2555	24.9
	2686	28.4
	2696	28.7
2692	27.3	
Mes 5	2626	29.0
	2685	24.1
	2566	28.6
	2450	26.4
	2453	26.9
	2573	24.1
	2672	27.6
	2506	27.4
	2491	28.1
	2603	24.4
	2683	24.8
	2464	28.0
	2410	26.0
2562	26.7	
Mes 6	2481	26.6
	2460	26.3
	2603	26.9
	2672	27.8
	2592	24.6
	2658	26.8
	2698	26.1
	2468	28.1

	2580	28.0
	2497	28.8
	2481	24.1
	2416	25.8
	2684	27.5
	2623	26.2
	2630	26.0
	2439	26.0

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9

Grafico de correlación para método indirecto

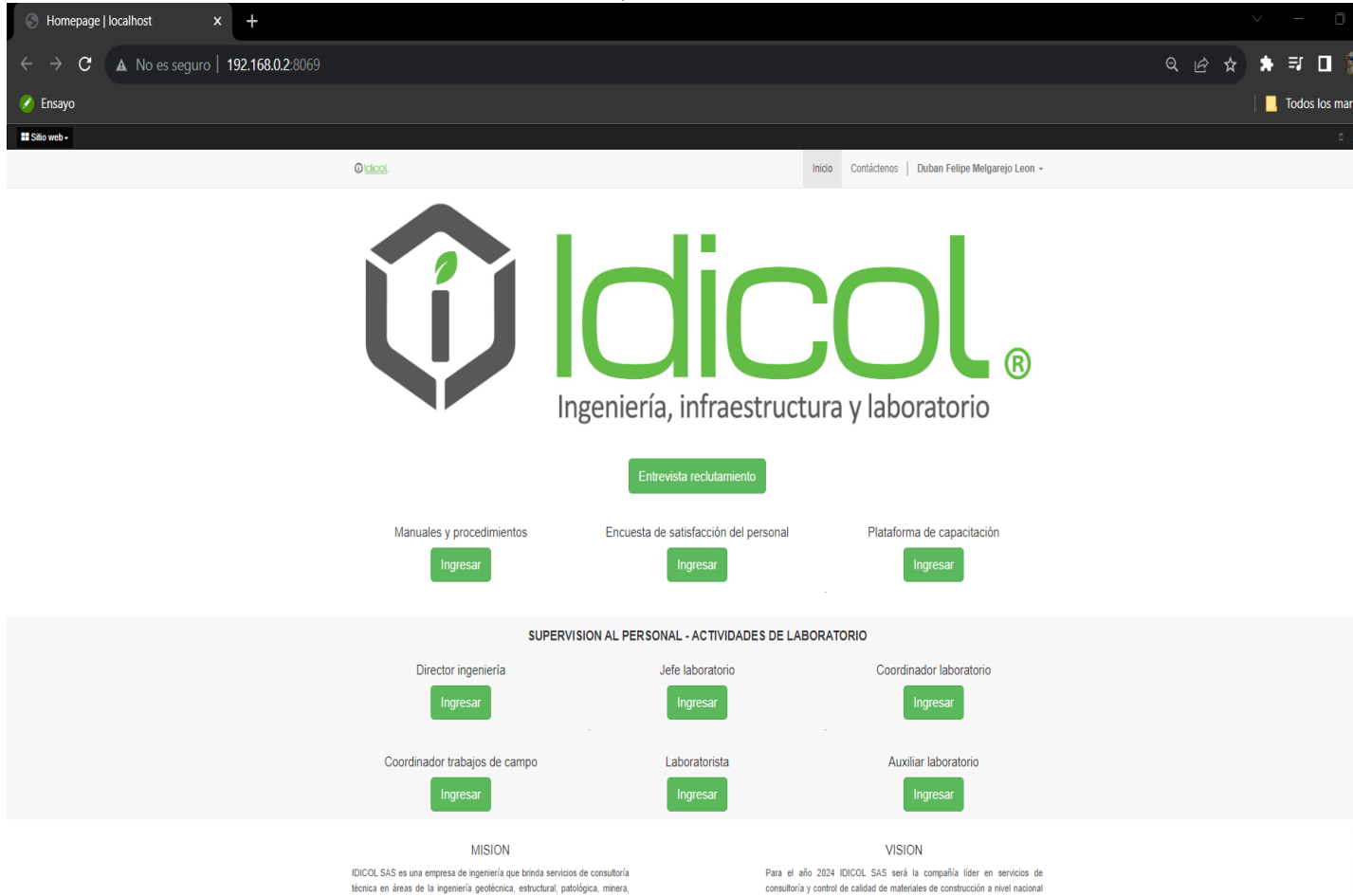


Fuente: Elaboración propia

Implementación y capacitación

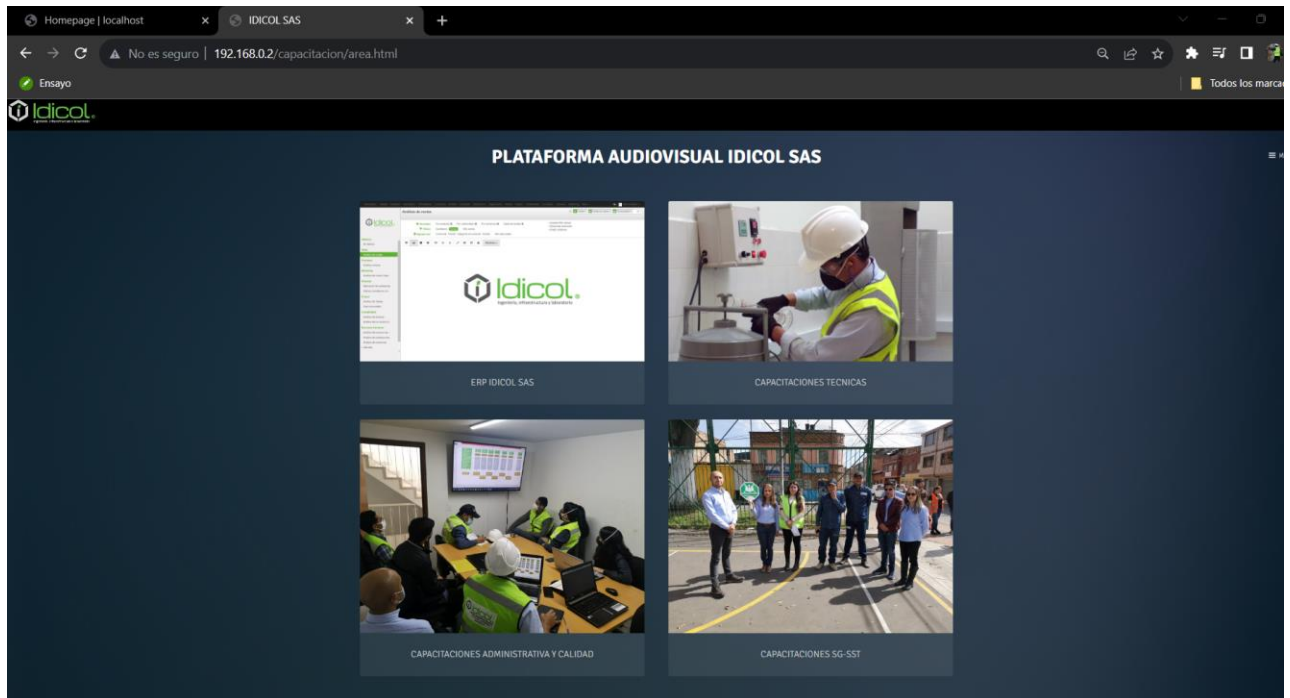
La renovación en la plataforma de capacitación de la empresa, se lograron avances significativos en la mejora de las competencias y conocimientos del personal. Durante el desarrollo de la pasantía, se elaboró el manual del equipo de ultrasonido, el cual fue incluido por la empresa en su página interna. El manual del procedimiento de ultrasonido se presenta en las ilustraciones 10, 11 y 12.

Ilustración 10
Sistema ERP de la empresa IDICOL SAS



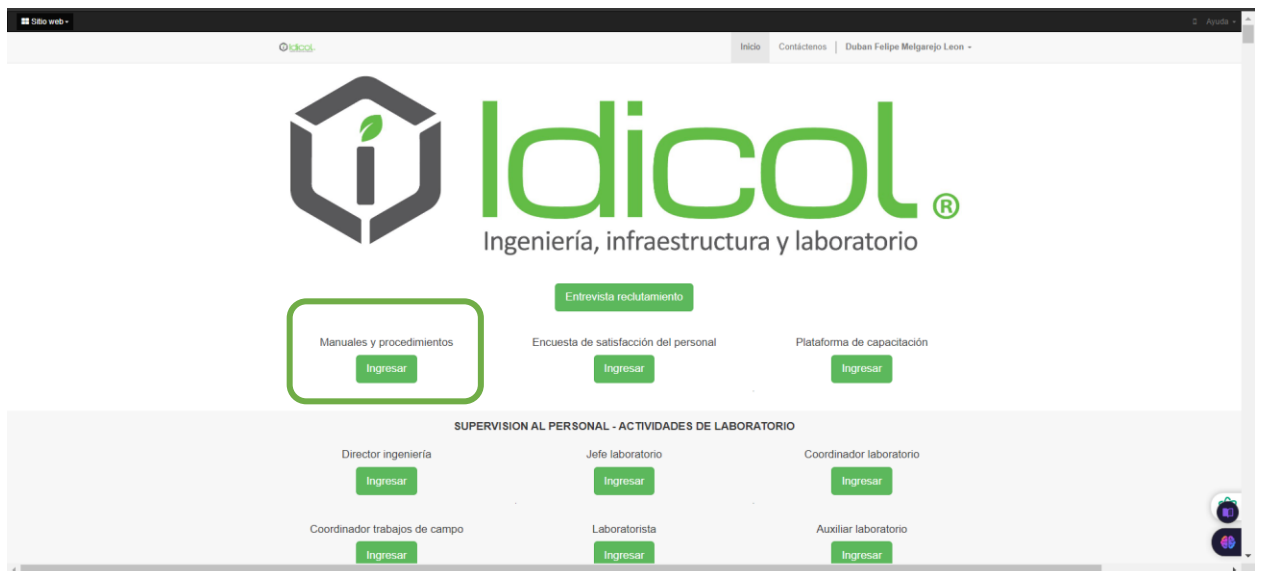
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 11
Plataforma recursos audiovisuales IDICOL SAS



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 12
Sección de manuales y capacitaciones ERP IDICOL SAS



Fuente: Elaboración propia

Se llevó a cabo la entrega y configuración del equipo de ultrasonido al director de ingeniería, quien evaluó y avaló positivamente todos los procesos realizados. Además, se programaron sesiones de capacitación específicas para los grupos asignados, asegurando una formación personalizada y adaptada a las necesidades de cada equipo. Una vez completadas las capacitaciones, se aplicaron evaluaciones teóricas y prácticas para medir la comprensión y la habilidad técnica adquirida por cada participante, como se muestra en las ilustraciones 13 a la 17.

Ilustración 13

Evaluación práctica medición en diferentes métodos y casos



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 14

Evaluación práctica



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 15
Evaluación teórica



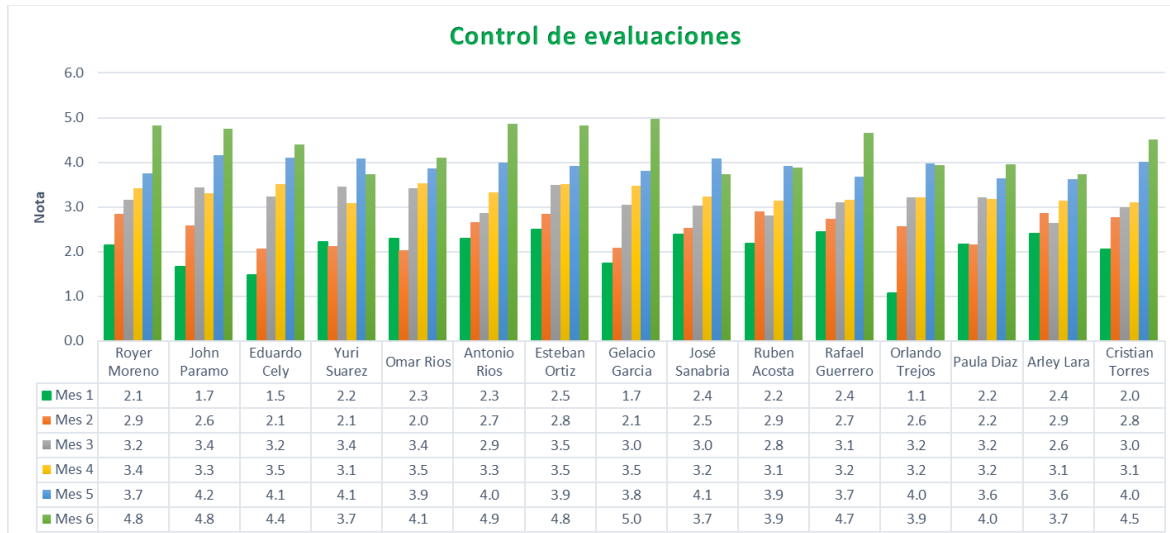
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 16
Sesiones de capacitación del ensayo



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17
Control de evaluaciones mensuales



Fuente: Elaboración propia

Estos resultados no solo reflejan la actualización exitosa de la plataforma de capacitación, sino también el compromiso de la empresa con la mejora continua y el desarrollo de habilidades en su personal.

Paralelamente se realizaron evaluaciones periódicas para la revisión de conocimientos teóricos y prácticos permitiendo retroalimentaciones individualizadas y formación adicional en el caso que se requiriera.

Caso de estudio

El caso de estudio se llevó a cabo en el marco de un estudio de patología en un proyecto de la empresa. Este análisis exhaustivo abarcó diversas áreas, y se realizaron un total de 200 pruebas de pulso ultrasónico en estructuras que necesitaban ser intervenidas, como se muestra en las ilustraciones 18

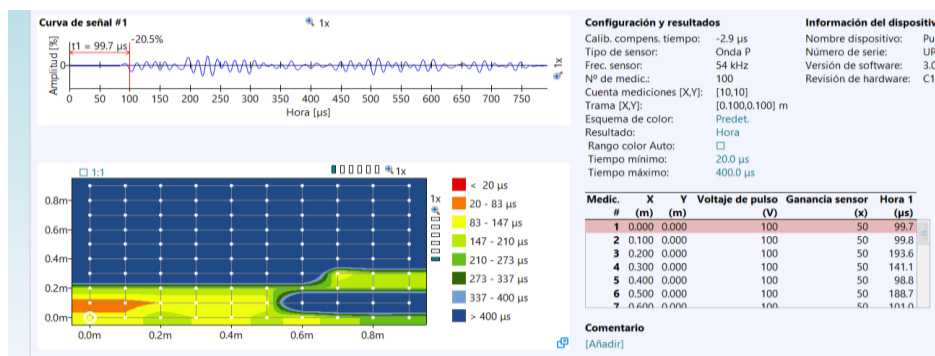
Ilustración 18
Zona de estudio de caso



Fuente: Elaboración propia

Durante estas pruebas, se evaluó la correlación de la resistencia a la compresión del concreto en cada elemento, proporcionando información crucial sobre la integridad estructural. Además, se realizó una cartografía detallada de la homogeneidad del concreto, identificando posibles variaciones en la composición del material como se muestra en la ilustración 19.

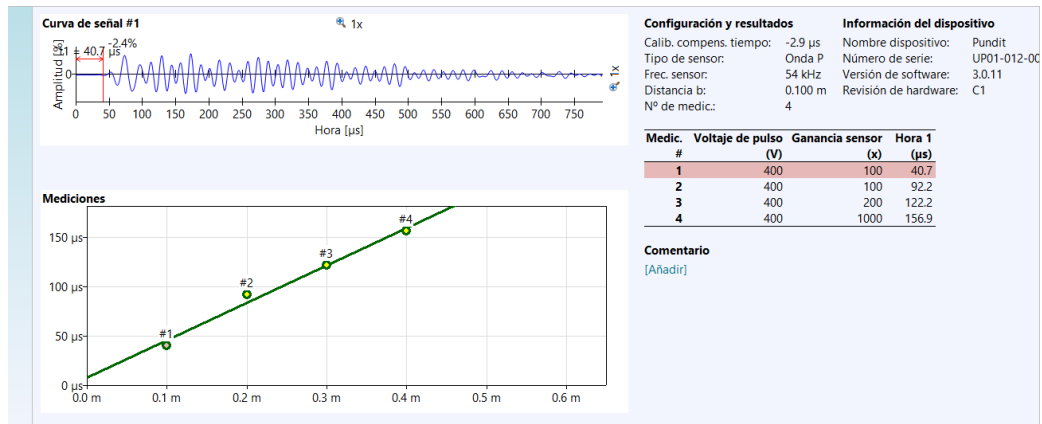
Ilustración 19
Método exploración por áreas estudio de caso



Fuente: Elaboración propia

La evaluación de la calidad no se limitó únicamente a la resistencia del concreto; también se llevaron a cabo análisis específicos para identificar fisuras y determinar la profundidad de estas, como se muestra en la ilustración 20.

Ilustración 20
Tiempo y velocidad zona estudio de caso



Fuente: (IDICOL SAS, 2023)

Ilustración 21
Identificación de fisuras y toma de ensayo de medición de profundidad de fisuras mediante ultrasonido



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de este caso de estudio no solo brindan información valiosa sobre el estado de las estructuras analizadas, sino que también establecen un precedente para la aplicación exitosa de pruebas de pulso ultrasónico en entornos similares. Este enfoque meticuloso y completo en la evaluación es fundamental para garantizar la seguridad, la eficiencia y la longevidad de las estructuras involucradas.

Conclusiones

- Como resultado de los estudios realizados y la información obtenida, se logró estructurar un manual que especifica el proceso y el paso a paso para ejecutar las pruebas de velocidad del concreto en estructuras, se realizó su implementación y por tanto la empresa lo publicó en la plataforma interna de procedimientos lo que permitió capacitar de manera efectiva al personal en la realización de estas pruebas.
- se logró crear curvas de calibración específicas que permiten establecer relaciones precisas entre el esfuerzo y la velocidad de las ondas ultrasónicas, garantizando mediciones precisas y confiables en el equipo de ultrasonido y se implementó ya que en el país no existen un patrón de referencia que permita realizar una correlación entre la velocidad y la resistencia del miembro estructural obtenido por el equipo de ultrasonido Pundit 200.
- Se llevó a cabo un proceso de verificación y validación durante la pasantía, en el cual se ejecutaron 200 pruebas basadas en un estudio de caso. Se realizaron pruebas destructivas de núcleos de concreto y se compararon los resultados con los obtenidos mediante ultrasonido. La variación entre ambos métodos fue de 1.8 %, demostrando la efectividad del proceso de creación y verificación de las curvas de calibración, ya que la resistencia registrada por el ultrasonido se aproximó en un 1.8 % a la del ensayo destructivo.

Recomendaciones

- La velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas se correlaciona directamente con la calidad y resistencia del concreto, sin embargo, para una correcta lectura se debe tener en cuenta factores que afectan las lecturas como lo son la humedad presente en el concreto puede afectar la velocidad de las ondas ultrasónicas. El contenido de agua en el concreto puede variar, lo que afecta la velocidad de transmisión de las ondas, para lo cual se debe aplicar el factor de corrección que establece el fabricante para la realización de la prueba.
- La dirección en la que se aplican las ondas ultrasónicas puede influir en los resultados. La anisotropía del concreto, es decir, la variación de propiedades en diferentes direcciones debe considerarse durante la ejecución de las pruebas, como también la posición como la altura y la distancia que sean exactamente la misma en los transmisores, la calidad de la superficie del concreto también es crucial. Superficies rugosas o irregulares pueden afectar la transmisión adecuada de las ondas ultrasónicas, ya que, si se toma la prueba sobre una superficie muy porosa, el resultado se va a ver afectado, se debe pulir la superficie y que el acople entre los transductores y la superficie no queden burbujas de aire, la presencia de refuerzos de acero u otros elementos dentro del concreto puede afectar la propagación de las ondas ultrasónicas y debe considerarse durante la interpretación de los Resultados.

Lista de Referencia o Bibliografía

Yoon, H., Kim, Y., Kim, H., Kang, J., & Koh, H.-M. (2017). *Evaluation of Early-Age Concrete Compressive Strength with Ultrasonic Sensors*. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 17(8), 1817.

<https://doi.org/10.3390/s17081817>

Kim, W., & Lee, T. (2023). *A Study to Improve the Reliability of High-Strength Concrete Strength Evaluation Using an Ultrasonic Velocity Method*. *Materials (Basel, Switzerland)*, 16(20), 6800.

<https://doi.org/10.3390/ma16206800>

Bogas, J. A., Gomes, M. G., & Gomes, A. (2013). *Compressive strength evaluation of structural lightweight concrete by non-destructive ultrasonic pulse velocity method*. *Ultrasonics*, 53(5), 962–972.

<https://doi.org/10.1016/j.ultras.2012.12.012>

Niederleithinger, E., Wolf, J., Mielentz, F., Wiggenhauser, H., & Pirskawetz, S. (2015). *Embedded ultrasonic transducers for active and passive concrete monitoring*. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 15(5), 9756–9772.

<https://doi.org/10.3390/s150509756>

Cedeño, J. 2015. Estudio de la Evolución de las Propiedades Mecánicas de Pastas y Morteros Proyectado Empleando Ultrasonidos [Tesis de maestría]. Universidad Politécnica de Cataluña.

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78866/TESIS_EdFinalEntrega.pdf

Vidaud, Ingrid., & Vidaud, E. (2016). ULTRASONIDO: Aplicación para la determinación del módulo de elasticidad dinámico. (pp. 32-35).

<https://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/enero2016/tecnologia.pdf>

Silva, O. (2022). ENSAYO DE PULSO ULTRASÓNICO EN EL CONCRETO, ALGUNAS VENTAJAS. 360 EN CONCRETO.

<https://360enconcreto.com/blog/detalle/pulso-ultrasonico-en-el-concreto/>

Moncada, J. (2021). ALGUNOS MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS PARA VERIFICAR LA CALIDAD DEL CONCRETO.

<https://ingenieriacivil.construction/2021/07/16/example-post-3/>

Angie Oc. (2014). Pruebas especiales del concreto [Diapositivas power point]. Prezi.

<https://prezi.com/rwelgmswwz6p/pruebas-especiales-del-concreto/>

Silva, O. (2023). ENSAYO DE PULSO ULTRASÓNICO EN EL CONCRETO, ALGUNAS VENTAJAS. 360 *EN CONCRETO*.

<https://360enconcreto.com/blog/detalle/pulso-ultrasonico-en-el-concreto/>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación INCONTEC. (1997). *METODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO A TRAVES DEL CONCRETO, NTC 4327-1997*.

<https://tienda.icontec.org/gp-ingenieria-civil-y-arquitectura-metodo-de-ensayo-par-la-determinacion-de-la-velocidad-de-pulso-ultrasonico-a-traves-del-concreto-ntc4325-1997.html>

U. Ozsoy, G. Koyunlu, O. C. Ugweje and A. Dayyabu. (2017). Nondestructive testing of concrete using ultrasonic wave propagation, International Conference on Electronics. International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO), pp. 1-5.

<https://doi.org/10.1109/ICECCO.2017.8333326>

ASTM International. (1956). *Astm Special Technical Publication*. ASTM International.

https://books.google.com.co/books?id=w5iq_rO9MKcC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

Yaman, I. Inci, G. Yesiller, N. Aktan, H. (2001). Ultrasonic Pulse Velocity in Concrete Using Direct and Indirect Transmission. *ACI Materials Journal*, 98(6), 2-28.

https://www.researchgate.net/publication/48909415_Ultrasonic_Pulse_Velocity_in_Concrete_Using_Direct_and_Indirect_Transmission

Anexos

Con el fin de ofrecer una visión más completa y respaldar los argumentos presentados en el cuerpo principal de este documento, se han incluido diversos anexos que proporcionan información adicional, datos detallados, y elementos gráficos pertinentes a los temas discutidos.

Se recomienda revisar estos anexos en conjunto con la lectura del documento principal para obtener una visión integral de los temas tratados. A continuación, se presenta una breve descripción de cada anexo, resaltando su relevancia y conexión con los argumentos centrales presentados en el informe.