



Universidad de San Carlos  
de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**TEC** | Tecnológico de Costa Rica Instituto Tecnológico de  
Costa Rica  
Escuela de Ingeniería en Construcción  
Programación de Licenciatura

**PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO EN PUENTES Y  
PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ULTRASONIDO**

**Byron Gerardo Páez González**

**Juan Fernando Medina Ramírez**

Asesorado por el Ing. Silvio Rodríguez Serrano

Guatemala, junio de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE  
COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN  
CONSTRUCCIÓN



**PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO EN PUENTES  
Y PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ULTRASONIDO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**BYRON GERARDO PÁEZ GONZÁLEZ**

**JUAN FERNANDO MEDINA RAMÍREZ**

ASESORADOS POR EL ING. SILVIO RODRÍGUEZ SERRANO

AL CONFERÍRSELES EL TÍTULO DE

**INGENIEROS CIVILES**

GUATEMALA, JUNIO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADOR	Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
EXAMINADORA	Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presentamos a su consideración nuestro trabajo de graduación titulado:

### PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO EN PUENTES Y PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ULTRASONIDO

Tema que nos fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha febrero de 2014.



**Byron Gerardo Pérez González**



**Juan Fernando Medina Ramírez**



Guatemala, 29 de mayo de 2014  
Ref.EPS.D.311.05.14

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Montenegro Franco.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO EN PUENTES Y PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ULTRASONIDO**, que fue desarrollado por los estudiantes universitarios **Juan Fernando Medina Ramírez, carné 200714207** y **Byron Gerardo Páez González, carné 200815377**, quienes fueron debidamente asesorados y supervisados por el Ing. Silvio José Rodríguez Serrano.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
3 de junio de 2014

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO EN PUENTES Y PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ULTRASONIDO, desarrollado por los estudiantes de Ingeniería Civil Juan Fernando Medina Ramírez y Byron Gerardo Páez González, quienes contaron con la asesoría del Ing. Silvio José Rodríguez Serrano.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

~~Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero~~  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/bbdeb.  
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Silvio José Rodríguez Serrano y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación de los estudiantes Juan Fernando Medina Ramírez y Byron Gerardo Páez González, titulado **PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO EN PUENTES Y PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ULTRASONIDO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

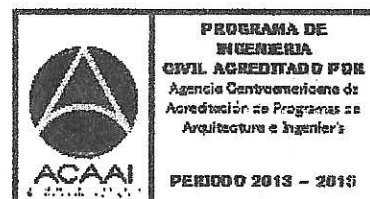
*Hugo Leonel Montenegro Franco*  
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio 2014.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





DTG. 289 .2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DE LOSAS DE CONCRETO EN PUENTES Y PAVIMENTOS RÍGIDOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ULTRASONIDO**, presentado por los estudiantes universitarios: **Juan Fernando Medina Ramírez y Byron Gerardo Páez González**, como parte de la política de Internacionalización y el Programa de Intercambio de Movilidad Académica de la Facultad de Ingeniería, con el Instituto Tecnológico de Costa Rica –TEC- y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 19 de junio de 2013

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Ser supremo Todopoderoso, quien me demostró lo grande y omnipotente a través de mi carrera con su amor, fuerza, gracia y bendiciones.
- Mis padres** Genaro Páez Vásquez y Luz Odilia de Páez González, por su ejemplo, amor, apoyo y sacrificio que día a día me brindaron y sin ellos no hubiese sido posible alcanzar esta meta.
- Mis hermanos** Claudia Lisseth, Doris Roxana, Genaro Estuardo y Flor de María Páez González; por su amor, comprensión y apoyo incondicional en todo momento.
- Mis abuelos** Por su legado de familia y trabajo.
- Mis cuñados** Hugo René Díaz Pineda, Obdulio Juárez, Carolina Valenzuela Mijangos, por convertirse en familia y su apoyo incondicional.

**Mis sobrinos**

Claudia María, Mariluz Betzabe, María José Castañeda Páez, Julián René Díaz Páez, Kyara Lindsay Juárez Páez, Adrián Estuardo Páez Valenzuela, por ser un motor de lucha importarte en nuestra familia.

**A una persona especial**

Hilda Molina (q.e.p.d.) por haber sido esa persona con don de servicio en mi familia, que me llenaba de amor cuando más lo necesitaba.

**Mis amigos**

Por todo el apoyo, conocimientos y convivencias que me brindaron a lo largo de la carrera

Byron Gerardo Páez González

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por todas las bendiciones derramadas en mi vida, ser esa paz, confianza, amor y guía a lo largo de este caminar.
- Mis padres** Genaro Páez Vásquez y Luz Odilia González de Páez, por el cariño y esfuerzo que me han brindado durante toda mi vida y por creer siempre en mí.
- Mis hermanos** Claudia Liseth, Doris Roxana, Genaro Estuardo y Flor de María Páez González, por ser una importante influencia en mi carrera y ser parte de este éxito en mi vida.
- La Universidad de San Carlos de Guatemala** Alma máter, por darme el conocimiento necesario para desarrollarme como profesional, yendo más allá de las fronteras humanas y no así del conocimiento y la academia.
- La Facultad de Ingeniería** Por bríndame los conocimientos necesarios para mi desarrollo profesional.

**Mis asesores**

Ing. Silvio Rodríguez Quesada, Ing. Sergio Fernández Cerdas, por su incondicional apoyo y valiosa asesoría para la realización del presente trabajo de graduación. Inga. Giannina Ortiz, por su tiempo, conocimientos, confianza y la oportunidad de pertenecer al proyecto eBridge.

**Tecnológico de Costa Rica y Proyecto eBridge**

Institución de ciencia y tecnología que me brindó la oportunidad de realizar mi proyecto de graduación, ver la importancia de cooperación entre universidades y dar soluciones a los problemas de infraestructura vial que afectan a la sociedad.

**Personas especiales**

Inga. Alba Maritza Guerrero, por los consejos, motivación y apoyo incondicional a mi persona. Licda. Sandra Velásquez por su tiempo, confianza y guía para realizar el intercambio académico en Costa Rica.

**Mis cuñados**

Hugo Rene Díaz Pineda, Obdulio Juárez, Carolina Valenzuela Mijangos, por convertirse en familia y su apoyo incondicional. Por bríndame los conocimientos necesarios para desarrollarme como ingeniero.

Byron Gerardo Páez González

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por todos sus favores inmerecidos sobre mi vida, porque su amor incondicional me permitió ver derramada su gracia sobre mí para guiarme a cada momento y ser la luz en mí caminar.
- Mis padres** Juan Manuel Medina Juárez y Ruth Noemí Ramírez Lucero de Medina, a quienes quiero seguir bendiciendo por todas sus enseñanzas, consejos y verdades de Dios para caminar en esta vida, ya que sin su ejemplo y la provisión de Dios día con día no hubiese sido posible alcanzar esta meta.
- Mi hermana** Astrid Noemí Medina Ramírez, por su cariño y apoyo incondicional en todo momento.
- Mis abuelos** Que formaron en mí una cimiento que quiere agradar a Dios; que con su amor y sabios consejos guiaron a mis padres en el temor al Todopoderoso y les enseñaron a ser trabajadores y responsables.

**Mi familia**

Por ser un ejemplo de perseverancia, y agradezco su apoyo y las preguntas constantes “¿Ya vas a cerrar?”, que hicieron demostrar que con la ayuda de Dios todo es posible.

**Mis amigos**

Por todo el apoyo y convivencias que me brindaron a lo largo de la carrera y de todos los años de conocerlos, que marcaron una de las mejores etapas de mi vida, apoyándonos en momentos alegres y difíciles, pero que nunca dijimos “¡hasta acá llegué!”, sino que siempre nos dimos ánimos y luchamos por llegar a la meta.

Juan Fernando Medina Ramírez.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **DIOS**

Por todos los favores inmerecidos en mi vida, su inmenso amor al permitirme el calor de mi familia y por ser la guía de mi camino.

### **Mis padres**

Juan Manuel Medina Juárez y Ruth Noemí Ramírez Lucero de Medina, por el amor y esfuerzo que me han brindado durante todo este tiempo, siendo los motores más importantes de mi vida, que sin ustedes nada tendría sentido y agradezco a DIOS por habérmelos dado como padres y nacer en esta familia.

### **Mi hermana**

Astrid Noemí Medina Ramírez, por ser parte importante en mi vida y por compartir este éxito siempre con DIOS.

### **La Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por brindarme las herramientas necesarias para desarrollarme como profesional en el campo.

### **La Facultad de Ingeniería**

Por bríndame la plataforma con los conocimientos necesarios para desarrollarme como ingeniero.

**Mi asesor** Ing. Silvio Rodríguez, por su apoyo incondicional y valiosa asesoría para la realización del presente trabajo de graduación.

**Licda. Sandra Velásquez** Por su apoyo logístico para el desarrollo de este proyecto en Costa Rica y hacernos creer en las becas.

**Inga. Alba Guerrero** Por haberme motivado a pensar en una beca y darnos el apoyo en su viaje a Costa Rica, gracias por los tortrix y ese interés por velar por el estudiante.

**Inga. Giannina Ortiz** Por ser nuestra mentora en la ejecución de nuestro EPS en Costa Rica, y facilitarnos todos los recursos académicos, económicos y humanos para realizar un debido monitoreo y evaluación de un puente y por darnos la oportunidad de creer en nosotros.

**Proyecto eBridge, TEC-Costa Rica** A mis compañeros y al proyecto eBridge por su valiosa colaboración y amistad desinteresada que nos marcó con la mejor enseñanza como la experiencia que nos servirá en el diario vivir de nuestro ejercicio profesional. Todos los amigos que hicimos durante este EPS.

Juan Fernando Medina Ramírez.



**Protocolo para la  
evaluación de  
losas de concreto en puentes y  
pavimentos rígidos utilizando la  
técnica de ultrasonido**



# Abstract

The steps for designing and evaluating concrete patterns with induced defectology that enables standardization on the results of an ultrasonic nondestructive testing are presented in this paper. This procedure offers an inspection and the results of the speed of the acoustic waves that crosses through the possible faults found in road infrastructure simulated patterns, this non-destructive testing does not interfere or affect the integrity of the structure of the evaluated section in the bridge deck or rigid pavement, through measures of the speed of the acoustic waves were obtained results using of the variations of the wave in the determination of concrete deterioration, steel and segregations. The end result is a protocol for the use of ultrasonic equipment C372N in the evaluation of concrete slabs in bridges and concrete pavement is obtained.

# Resumen

Los pasos para diseñar y evaluar los patrones de concreto con defectología inducida que permite la estandarización en los resultados de una prueba no destructiva ultrasónica se presentan en este documento. Este procedimiento ofrece una inspección y resultados de la velocidad que atraviesan las posibles fallas que se encuentran en la infraestructura de carreteras simuladas en los patrones; este ensayo no destructivo no interviene ni afecta la integridad de la estructura de la sección evaluada en losas de puentes o en pavimentos rígidos, por medio de medidas en la velocidad de las ondas acústicas se obtuvieron resultados donde la onda varía en el deterioro del concreto, también en las segregaciones y en al detectar el acero.. Como resultado final, se obtiene un protocolo para el uso del equipo ultrasónico C372N en la evaluación de losas de concreto en puentes y pavimentos rígidos.

# **Protocolo para la evaluación de losas de concreto en puentes y pavimentos rígidos utilizando la técnica de ultrasonido**

# **Protocolo para la evaluación de losas de concreto en puentes y pavimentos rígidos utilizando la técnica de ultrasonido**

BYRON GERARDO PÁEZ GONÁZLEZ  
JUAN FERNANDO MEDINA RAMÍREZ  
ALONSO ENRIQUE CASTILLO VÁSQUEZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción y  
Licenciatura en Ingeniería en Ciencia de los Materiales

Diciembre de 2013

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Prefacio .....	2
Resumen ejecutivo.....	3
Introducción.....	4
Marco Teórico .....	5
Metodología .....	20
Resultados .....	26
Análisis de los resultados .....	59
Conclusiones y Recomendaciones.....	64
Apéndices .....	65
Anexos .....	104
Referencias .....	111

# Prefacio

En el año 2011 inicia eBridge; es un proyecto de investigación que busca la implementación de metodologías para la evaluación de puentes, Basado en ello, se crea un grupo multidisciplinario conformado por profesionales y estudiantes de las escuelas de ingeniería en producción, computación, electrónica, construcción, diseño industrial, producción, ciencia de los materiales y forestal que aportan sus conocimientos en áreas específicas.

Los puentes son parte fundamental de la infraestructura vial, por lo tanto el proyecto de investigación sobre predicción remota de fallas en puente ,desarrollado por el grupo e-Bridge, se considera de gran importancia; en este se pretende conocer el comportamiento de un puente a través de los años de uso, al contar con la tecnología y el conocimiento se podrá concretar y aproximar el comportamiento estructural de un puente, esto no es posible solo con una inspección visual ya que se necesita una inspección más detallada con la evaluación de los materiales que lo conforman, las pruebas no destructivas END permiten obtener dicha información.

Como parte de dicha investigación, se pretende realizar un proyecto que permita crear un protocolo técnico para el uso del equipo de medida ultrasónico para pruebas en ensayos no destructivos en losas de concreto en puentes y pavimentos rígidos. Esto con el fin de conocer el estado actual de los elementos de concreto hidráulico que conforman la estructura de puente y del pavimento rígido así como conocer las posibles causas de fallas estructurales y funcionales.

Agradecemos a Dios por darnos la sabiduría, bendiciones y oportunidad. A nuestros padres Genaro Páez Vásquez y Luz Odilia González; Héctor Enrique Castillo Quesada y Alicia Vásquez Vega; Juan Manuel Medina Juárez y Ruth Noemí Ramírez Lucero, por el amor incondicional para con nosotros, brindándonos apoyo y la oportunidad de poder

crecer. Un agradecimiento profundo al proyecto eBridge, en especial a la Ingeniera Giannina Ortiz Quesada por brindarnos la oportunidad, el conocimiento, el tiempo, dedicación y la confianza que depositó en nosotros para formar parte del equipo de trabajo de eBridge, para la realización de este proyecto a; Ingeniero Sergio Fernández Cerdas por su tiempo, guía y dedicación, también al Ingeniero Silvio Rodríguez por su apoyo junto con la Ingeniera Alba Guerrero por tomarse el tiempo para supervisarnos en nuestra estadía en Costa Rica, a los ingenieros Oscar Chaverri, Mario Conejo, Rommel Cuevas, por la ayuda brindada y por compartir su conocimiento. A todo el equipo de trabajo de eBridge.

A las instituciones FCC, al MOPT y especialmente al Instituto Tecnológico de Costa Rica ITCR una institución de prestigio internacional en el ámbito académico, por aventajar nuestro desarrollo académico y profesional al abrirnos las puertas y haber brindado la oportunidad de adquirir conocimiento y una excelente experiencia académica, profesional, cultural, social y todos los factores fundamentales para el buen desarrollo humano que genera profesionales altamente competitivos a nivel centroamericano y junto con nuestra casa de estudios, la tricentaria Universidad de San Carlos de Guatemala que nos forjó durante nuestro tiempo académico para construir profesionales capaces de superar los retos que nos presenta la vida profesional.

# Resumen ejecutivo

Conocer el estado de la infraestructura vial que está en servicio en el país es de gran importancia para la toma de decisiones certeras que logren un mejor desarrollo y mantenimiento de esta; eBridge en su estudio e investigación para satisfacer las necesidades de información que logren conocer el estado de dicha infraestructura, realiza un protocolo para la evaluación de losas de concreto en puentes y pavimentos rígidos por medio del equipo de ultrasonido.

Se realizaron diseños y construcción de patrones proporcionales al diseño de losas de puentes y pavimentos rígidos con defectología inducida tal como la comúnmente encontrada en el campo siendo estas grietas, segregados, corrosión en el refuerzo, vacíos y grietas expuesta.

Dichos patrones fueron chorreados con material de un proyecto en ejecución, la construcción del tramo carretero Cañas-Liberia, y han permitido la evaluación de la velocidad de ultrasonido por medio del equipo de ultrasonido C372N a través de su diseño.

Para realizar la evaluación se investigó y aplicó el equipo por medio de su calibración, distancia entre transductores, toma de datos a cada uno de los patrones y se realizó un análisis de cada uno, se compara con el diseño y se verifica como guía la norma ASTM C597-09 en la cual rige la velocidad de ultrasonido.

Como resultados, el equipo detecta algunas de estas defectologías inducidas en los patrones de la siguiente forma: el patrón 1: simulación de pavimento rígido de 40 x 30 x 20 cm, sin presencia de defectología inducida y sin refuerzo; el patrón 2: Losa de 40 x 30 x 20 cm, sin presencia de defectología inducida y con refuerzo; el patrón 3: Losa de 50 x 35 x 20 cm, con refuerzo y varilla corroída; patrón 4: Losa de 50 x 35 x 20 cm, sin presencia de defectología inducida y sin refuerzo; patrón 5: Losa de 70 x 50 x 20 cm, con presencia de defectología inducida,

con refuerzo y varilla corroída. La defectología mostrada consta de un vacío transversal de 35 cm de longitud y 1 cúmulo de segregación; patrón 6: Losa de 100 x 70 x 20 cm, con presencia de defectología inducida y con refuerzo de 3/8 de pulgada sin corrosión. La defectología mostrada consta de un tubo de PVC de 30 cm de longitud y 1 cúmulo de segregación; patrón 7: Losa de 100 x 70 x 15 cm, con defectología inducida y sin refuerzo. Presenta una serie de incisiones cortantes transversales y diagonales simulando el comportamiento de grietas; luego se procedió a aplicarlo a un proyecto piloto para, probar, observar y analizar las respuestas del equipo en el campo, logrando resultados satisfactorios y comprobando hipótesis y recomendaciones para tener datos confiables.

# Introducción

Los puentes y los pavimentos rígidos son parte fundamental de la infraestructura vial, y de importancia para el país, porque llega hacer parte de la economía, identidad y del sistema de vial de Costa Rica. Como parte de la segunda fase del proyecto eBridge, se trabaja en la implementación de ensayos no destructivos para la evaluación de estructuras viales, en este caso específicamente se trabajó en el estudio e investigación para generar un protocolo del manual de uso del equipo de medición ultrasónico para ensayos no destructivos en losas de concreto en puentes y pavimentos rígidos, con el fin de conocer el estado de estos elementos mediante el uso del ultrasonido.

Este equipo permite la medición en el interior del material de losas de concreto y pavimentos rígidos, para ubicar posiciones de irregularidades tales como grietas, segregaciones, varillas de acero (sean estas corroídas o en buen estado), entre otros tipos de discontinuidad, así como un valor de resistencia a compresión, profundidades de las grietas, datos que no se pueden obtener con una inspección visual.

Por ello, con este tipo de tecnología se encuentren datos confiables sin intervenir o dañar la estructura por evaluar que permiten dar un debido diagnóstico de su comportamiento.

La importancia de la evaluación de las losas de concreto tanto para pavimentos rígidos como en puentes es la de evidenciar a través del comportamiento estructura, la utilidad de ellas. La finalidad es conocer la condición en la que se encuentran de manera que sea posible evaluarla funcionalmente en tres formas: La evaluación funcional, que indica qué tan seguro y transitable será el tramo de losa de concreto.

La evaluación estructural, indica el periodo de vida útil al relacionar la carga a

soportar con su diseño, aun cuando la conclusión de previos análisis indique que una de las principales características estructurales de las losas de concreto en pavimentos rígidos es que la transmisión de cargas se da a través de juntas sin refuerzo o reforzadas con dovelas de acero (estas no se contemplan en el informe realizado).

Y por último la evaluación visual cuyo objetivo primordial es llevar a cabo un monitoreo de mayor frecuencia que ayude a determinar discontinuidades superficiales que puedan afectar directamente la estructura e incluso evidenciar la necesidad de evaluaciones más profundas tales como el ensayo ultrasónico.

## Planteamiento del problema

La infraestructura vial requiere la realización de ensayos que permitan evaluar el comportamiento estructural, los componentes y características de los materiales que conforman, ya que presentan deterioros con el tiempo de servicio. Estos análisis se realizan para garantizar la confiabilidad de la infraestructura tanto a los usuarios como a las entidades responsables de esta.

Las pruebas destructivas realizadas a losas de puentes o pavimentos rígidos generan en estos elementos, puntos de acumulación de esfuerzos, reduciendo, de esta forma, la vida útil y confiabilidad de estas estructuras.

Con el fin de eliminar las intervenciones directas y la extracción de muestras, se busca la implementación de métodos que permitan el análisis y evaluación de la estructura sin afectarla. Tales métodos conocidos como ensayos no destructivos (END por sus siglas en español) incluyen la evaluación ultrasónica como una respuesta a la problemática planteada.

Mas esta técnica así como todos los END precisan una buena calibración de los equipos y validaciones de resultados que permitan asegurar la calidad de estas estructuras. A propósito de los requerimientos de esta prueba se generan patrones de laboratorio y protocolos para garantizar la confiabilidad de ella.



# Marco Teórico

## Generalidades

### Puente:

El puente es una estructura vial, que se construye para habilitar un paso o superar una barrera natural; o un accidente geográfico; estos se construyen sobre ríos, fosas, valles, caminos, o cualquier obstáculo físico para habilitar el tránsito u otras cargas rodantes y convertirse en un medio de comunicación.

La ingeniería estructural se encarga del diseño, y cálculo, tomando en cuenta los materiales disponibles, técnicas desarrolladas y las consideraciones económicas, entre otros factores.

Estas estructuras son de importancia para la sociedad ya que estas llevan un gran desarrollo a la misma, dejándola de ser no solo una estructura que soporta cargas, si no que llega a ser parte de la economía, identidad y sistema de un país.

Para conocer el sistema estructural de un puente y la respuesta ante una carga deben considerarse los siguientes factores:

- Fuerzas axiales (compresión y tensión)
- Fuerzas de flexión
- Fuerzas cortantes
- Fuerzas de torsión

(Conceptos básicos de evaluación de puentes impartido por Ingeniera Giannina Ortiz 16 -17 de octubre)

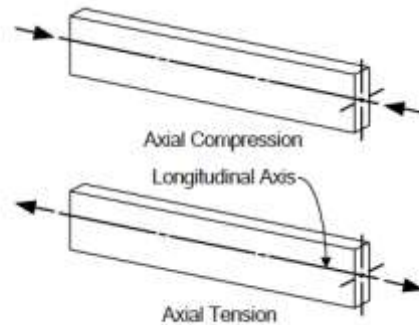


Figure P.2.9 Axial Forces

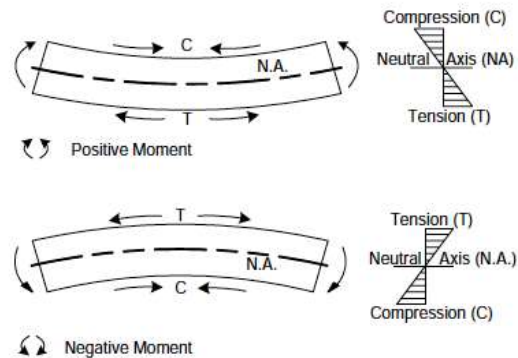


Figure P.2.10 Positive and Negative Moment

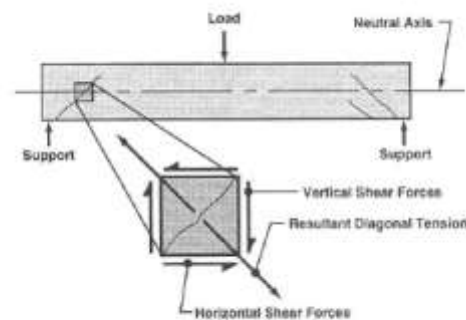


Figure P.2.13 Shear Forces in a Member Element



Figure P.2.14 Torsion

**Figura 1:** Comportamiento estructural de una viga. (Curso conceptos básicos de evaluación de puentes Ingeniera Giannina Ortiz, programa de educación continua, septiembre 2013)

**Reacciones en los apoyos** Las fuerzas que se generan en los apoyos son respuestas de las cargas que se aplicadas se denominan reacciones y equilibran las cargas aplicadas

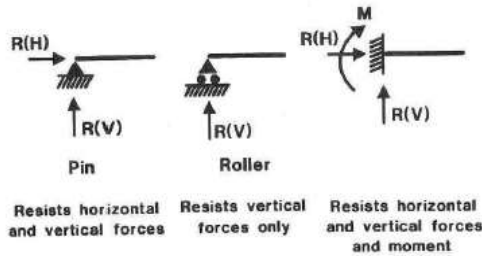


Figure P.2.16 Types of Supports

**Figura 2:** Reacciones de los apoyos. (Curso conceptos básicos de evaluación de puentes Ingeniera Giannina Ortiz, programa de educación continua, septiembre 2013)

**Reacciones en el puente** deflexión por carga viva, se puede producir por aspectos estéticos, de confort, y también por un posible daño que tenga la estructura. Movimientos por temperaturas, contracción y expansión del material. Movimientos rotacionales, deflexión ocurrida por cargas en movimiento, cuando esta es mayor que la pueden soportar los apoyos. (eBridge)

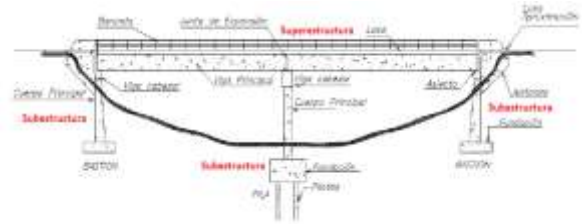
## Componentes del puente

Los componentes del puente son: la superestructura, la subestructura y el acceso de aproximación

Los accesorios, no tienen función estructural pero son fundamentales para el funcionamiento del puente: superficie de rodamiento, barandas y juntas de expansión.

La superestructura está compuesta por elementos principales y secundarios: vigas, losas, cerchas diafragma, aceras, superficie de rueda. Su función es transmitir cargas desde la losa a través de los claros del puente, hasta los apoyos mismos.

La subestructura está compuesta por las pilas, bastiones y apoyos. Su función transferir las cargas de la superestructura hasta las fundaciones y el material soporte.



**Figura 3:** Componentes de un puente. (Curso conceptos básicos de evaluación de puentes Ingeniera Giannina Ortiz, programa de educación continua, septiembre 2013)

Según su estructura y los materiales, los puentes pueden ser de: madera, piedra, metal o concreto. Atendiendo al desarrollo de la estructura transversal, se clasifican en:

- puentes de losa.
- puentes de viga-losa.
- puentes de sección cajón losa

## Losa

“La losa es el componente del puente sobre el cual se aplica directamente la carga viva; su propósito es proporcionar una superficie adecuada y segura para el tráfico que circula sobre el puente” Esta estructura soporta en forma directa las cargas de tránsito y la carpeta de rodamiento, y trasmite dicha carga a las vigas, en este caso sería puente viga o directamente a los pilares y estribos que sería puentes losa

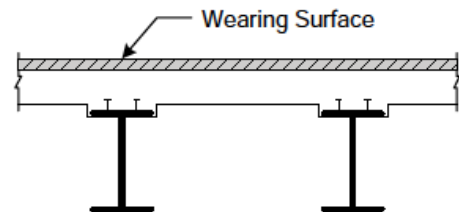


Figure P.1.26 Composite Deck and Steel Superstructure

**Figura 4:** Losa de un puente. (Curso conceptos básicos de evaluación de puentes Ingeniera Giannina Ortiz, programa de educación continua, septiembre 2013)

Los materiales utilizados en la losa son de madera, concretos y acero.

Los puentes de concreto pueden ser:

- **Concreto reforzado** es una combinación de acero y concreto y sirven para resistir esfuerzos a flexión

- Concreto pre-esforzado: se tensa en la actuación de las cargas que recibe de la estructura.
  - Pretensado
  - Pos-tensado
  - Mixto

Los materiales usados en la construcción de un puente tienen propiedades físicas y mecánicas entre las propiedades físicas se encuentran:

- Expansión térmica
- Porosidad
- Cambios volumétricos debido a la hidratación
- Resistencia al fuego
- Facilidad para adquirir diversas formas

En cuanto a las propiedades mecánicas, se tienen:

- Esfuerzo a la compresión
- Elasticidad
- Deformaciones plásticas

(Ortiz 2013.)

### Evaluación de Puentes

“La evaluación de una estructura de puente es la valoración del desempeño del mismo en un momento determinado y la identificación de daños y fallas en la estructura.” (Curso conceptos básicos de evaluación de puentes Ingeniera Giannina Ortiz, programa de educación continua, septiembre 2013). En una evaluación se obtiene la información técnica necesaria, se identifica su deterioro y se puede planificar un mantenimiento o la rehabilitación de la infraestructura.

La evaluación al identificar y localizar, daños, se enfoca en el estudio de los materiales que componen la estructural para evaluar se recomienda la siguiente metodología.

#### Expediente

- Información previa y de oficina
- Identificación de los elementos

#### Clasificación

- Identificación de elementos principales

#### Evaluación material

- Identificación de posibles daños
- Plantillas de inspección
- Valoración

#### Evaluación configuración estructural

- Comparación con modelo teórico

**Los daños en una estructura** “El daño en una estructura se define como cambios en los materiales, en sus propiedades geométricas, en las propiedades de los sistemas, sus condiciones de frontera o conectividad. Los daños pueden afectar el desempeño actual o futuro de las estructuras” Ortiz ,2013

Estos daños deben ser identificados para poder evaluar y saber su estado; eBridge clasifica los siguientes pasos con respecto al daño:

•**Detección del daño:** es cuando se identifica la presencia de un daño.

•**Localización del daño:** es cuando se localiza el daño.

•**Tipificación del daño:** es cuando se determina el tipo de daño.

•**Extensión del daño:** es cuando se evalúa la severidad del daño.

(Curso conceptos básicos de evaluación de puentes Ingeniera Giannina Ortiz, programa de educación continua, septiembre 2013)

#### Falla

“Una falla es la condición de un puente cuando un estado límite es alcanzado o excedido.” (Ortiz 2013). Las fallas que ocurren en las estructuras de concreto se pueden clasificar por la fabricación o el diseño, esta puede ser por no tener los cálculos correspondientes; y en fallar por los materiales también esta las fallas por los materiales que pueden ser por ocupar materiales inapropiados o por la falta de calidad de estos. También están las fallas por construcción por la deformación o defectos de la formaleta; fallas por el incremento de cargas, más de las que esta soporta y las de mantenimiento por no darle un mantenimiento, reparación, rehabilitación o refuerzo a la estructura.

### Inspección visual

La inspección visual es uno de los procesos iniciales para la evaluación y monitoreo de las estructuras, para poder analizar a simple vista, en qué condiciones y lugares se trabajará y luego hacer una inspección más detallada, haciendo un inventario y asignando una calificación, para después proceder si esta necesita una rehabilitación o intervención; las inspecciones pueden ser:

- Inspección inicial
- Inspecciones de rutina
- Inspección de daños
- Inspecciones avanzadas
- Inspección de miembros críticos
- Inspecciones bajo el agua
- Inspecciones especiales (Ortiz, septiembre 2013)



Figura 5: Inspección Visual sobre el Puente Río Ciruelas-Ruta 27.

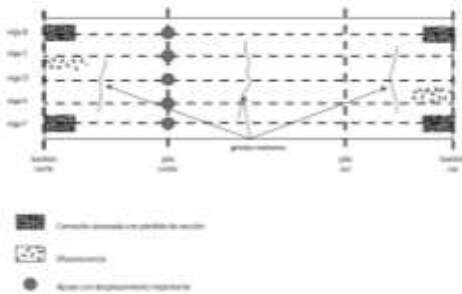


Figura 6: Inspección Visual.

### Pruebas a los materiales de construcción

El comportamiento o las respuestas de la estructura como un puente o pavimento rígido no solo dependen de su diseño sino también de los materiales con los que es construida la estructura.

Para conocer las características y condiciones de los materiales que se utilizan, se deben realizar ensayos o pruebas que pueden ser ensayos o pruebas; estas pueden ser las pruebas destructivas (destructive testing DT) y no destructivas (non destructive testing, NDT) (AASHTO, 2011), (Ortiz, septiembre 2013).

### Pruebas no destructivas

Las pruebas no destructivas (NDT, por sus siglas en inglés), son la prueba aplicada a un material que no perjudica la utilidad del miembro o material que se está analizando o probando.

Estas pruebas requieren de una buena calibración, un técnico que sepa utilizarlas y un profesional que pueda interpretar los resultados de la inspección avanzada.

### Pruebas no destructivas en concreto

En su curso de evaluación de puentes, eBridge presenta un resumen de las principales pruebas que pueden ser aplicadas a este material, incluyendo sus ventajas y desventajas. Capacidad de las técnicas no destructivas para identificar daños en el concreto basado en la AASHTO, 2011.

**Métodos de fuerza:** Estas son pruebas de rebote y penetración de una fuerza sobre el concreto y se usan para predecir la resistencia del mismo. Como por ejemplo, el martillo Schmidt, el más común. Esta prueba está regida por la ASTM C805 "Test Method for Rebound Number for Hardened Concrete". Estas pruebas pueden no ser confiables.

Método basado en	Capacidad de detección de defectos					
	Agrietamiento	Descascarado	Corrosión	Desgaste y abaqueo	Altopresión	Vacios
Entera	N	N	F	N	F	N
Sonido	F	N	G	N	N	N
Ultrasonido	G	N	F	N	P	N
Magnetismo	N	N	F	N	N	N
Electricidad	N	N	G	N	N	N
Nuclear	N	N	F	N	N	N
Termografía	N	G	G	N	N	N
Radar	N	G	G	N	N	N
Radiografía	F	N	F	N	N	F

Figura 7: Capacidad de detección de defectos para NDT (siglas en inglés). (Curso conceptos básicos de evaluación de puentes Ingeniera Giannina Ortiz, programa de educación continua, septiembre 2013)

**Métodos sónicos:** Este método mecánico se realiza por medio de la velocidad de un pulso sónico se utiliza un martillo que crea un pulso y se toma el tiempo que tarda entre un punto y otro del concreto; el tiempo se relaciona con el módulo de elasticidad del material. Esta técnica presenta el problema de que es poco práctica en grandes superficies, por ejemplo losas. La norma ASTM D4580 hace referencia a la misma. (AASHTO 2011)

**Métodos magnéticos:** La aplicación principal de estos métodos es comprobar la presencia de refuerzo de acero en el concreto. Estos dispositivos generan un campo magnético y con ello se ubican discontinuidades superficiales. Presenta buenos resultados en un rango de recubrimiento menor a tres pulgadas.

**Métodos eléctricos:** Los métodos eléctricos para inspección de puentes con elementos de concreto incluyen medidas de resistividad y potencial. La resistividad eléctrica puede ser usada para determinar la permeabilidad de una losa de concreto. Puede revisarse la norma ASTM D3633. También pueden ser utilizados para determinar la corrosión en el acero de refuerzo, utilizando diferencias de potencial eléctrico.

**Métodos nucleares:** La aplicación principal de estos métodos es medir el contenido de humedad en el concreto, utilizando la adsorción de neutrones.

**Termografía:** La termografía infrarroja se utiliza como prueba complementaria para determinar la delaminación en las superficies de concreto. Trabaja bajo el principio de zonas frías y zonas de calor, por ejemplo las delaminaciones interrumpen la transferencia de calor en el concreto. Mayor información puede encontrarse en ASTM D4788.

**Radar de penetración terrestre (GPR):** es un método geofísico que utiliza pulsos de radar para obtener imágenes del subsuelo. Este método no destructivo utiliza la radiación electromagnética en la banda de microondas (UHF / VHF frecuencias) del espectro radioeléctrico, y detecta las señales reflejadas desde las estructuras del subsuelo. Se utiliza para medir el deterioro de las losas de concreto, puede medir discontinuidades tanto en concreto como en asfalto.

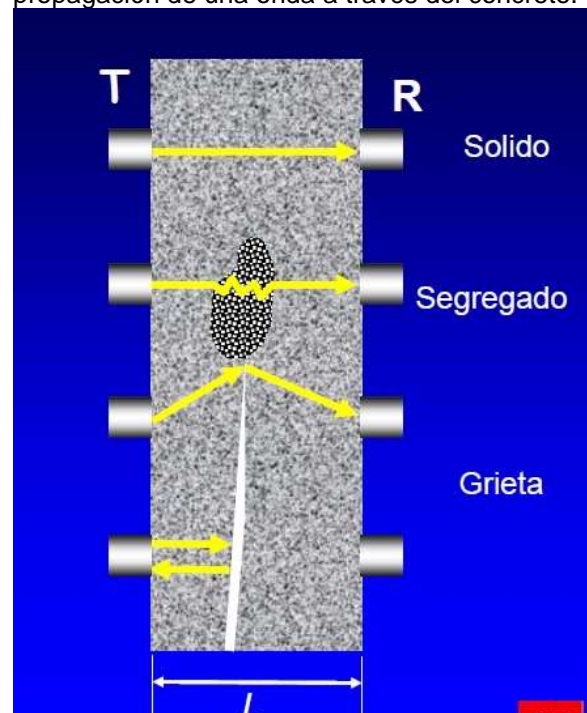
**Radiografía:** este método incluye la irradiación de rayos gamma sobre el concreto para un análisis posterior de la placa obtenida. Se requiere de un entrenamiento importante para la interpretación de los resultados.

**Técnicas de ultrasonido:** “Estos dispositivos normalmente utilizan mediciones de velocidad en el concreto de un pulso generado por un transductor piezoeléctrico. La velocidad de este

pulso depende de la composición y madurez del concreto y sus propiedades elásticas. La relación con el esfuerzo o la fuerza depende de pruebas experimentales realizadas previamente.

En el caso de presencia de grietas esta técnica resulta muy útil. Las técnicas de ultrasonido con un buen entrenamiento y experiencia resultan una herramienta muy útil” (AASHTO 2011)

Con el fin de efectuar un diagnóstico de la estructura se aplica esta técnica de estudio para una evaluación previa. Con esta prueba se determina el grado de homogeneidad, y otras características por medio de mediciones de velocidad ultrasónica sobre el material, este material debe de ser homogéneo, haciendo posible conocer el concreto y su estado, los vacíos, presencia de fisuras, cambios en el concreto, y la calidad del concreto. Existen varios tipos de equipos, que contienen lo principal, transductores capaces de marcar tiempo de propagación de una onda a través del concreto.



**Figura 8:** Técnica de Ultrasonido. Taller prueba no destructivas y métodos avanzados para la evaluación del concreto, Prof. Duran Herrera et al FIC-UANL Junio 2013

### Medida de velocidad de pulso ultrasónico

La velocidad depende de la densidad del material y las características elásticas del material, entonces la velocidad indicará la calidad de este,

y determinará sus características elásticas; los materiales que se pueden evaluar de esta manera son la madera y el concreto. La medida que se toma en recorrer el pulso en defecto y viajar de regreso, permitirá detectar o localizar la posición del defecto, este aplica únicamente para el acero. Esto no pasa con el concreto porque la onda se dispersa en todo el material.

## Velocidad de pulso de ultrasonido

Se analiza la fórmula que calcula la velocidad del pulso o eco del ultrasonido

**La velocidad del pulso es**

$$V = L / T$$

Dónde:

V: Velocidad (m/s)

T: Tiempo de tránsito, hallado por el equipo (s)

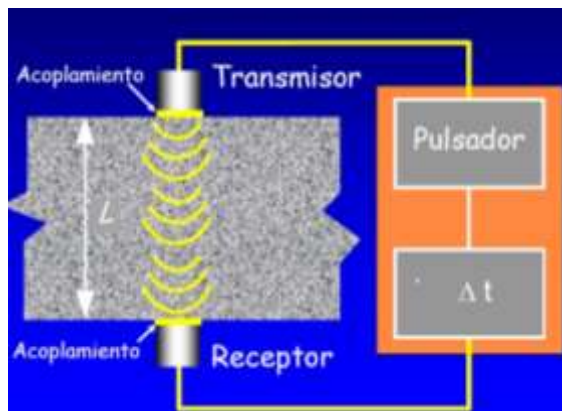
L: Longitud de camino, hallada con una cinta métrica (m).

(Norma ASTM C597-09) (Ver Anexos).

## Técnica de transmisión

### Acoplante

El acoplante es una sustancia que logra eliminar vacíos o aires entre la superficie del transductor y el concreto, logrando que la onda mecánica no se pierda en la superficie, si ésta es muy áspera, podría ser utilizada una sustancia de mayor viscosidad

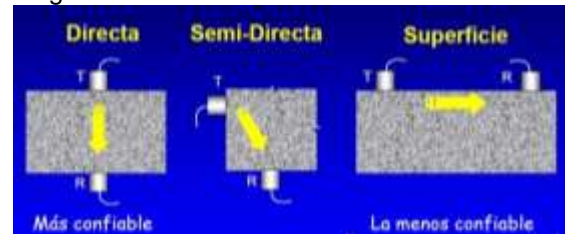


**Figura 9:** Utilidad del acoplante para la técnica de ultrasonido. Taller prueba no destructivos y métodos avanzados para la

evaluación del concreto, Prof. Duran Herrera et al FIC-UANL Junio 2013

### Colocación correcta de los transductores o palpadores

Existen tres formas de colocar los transductores al ensayar el concreto: estas son **directa, semi-directa e indirecta**. La transmisión directa, proporciona una máxima respuesta o sensibilidad, ya que tiene una respuesta de longitud de camino bien definida.



**Figura 10:** Formas de aplicación de la de técnica de ultrasonido. Taller prueba no destructivos y métodos avanzados para la evaluación del concreto, Prof. Durán Herrera et al FIC-UANL Junio 2013.

### Bloques de calibración

Dichos bloques son utilizados para establecer los parámetros de ensayo según el material por inspeccionar. Son necesarios ya que sólo a través de ellos se puede garantizar que lo que se está midiendo es lo real. Lo que se hace es comparar las medidas estandarizadas del patrón con el componente que se está inspeccionando.

### Velocidad de Pulso Ultrasónico ASTM C597-09

La normativa ASTM C597-09 rige la medición del tiempo de vuelo del pulso ultrasónico de ondas de esfuerzo de compresión a través de una longitud conocida; también menciona las recomendaciones para el uso de este método.

La presencia de defectos incrementa el tiempo de viaje y resulta en una velocidad calculada más baja

$$f = \text{frecuencia [KHz]}$$

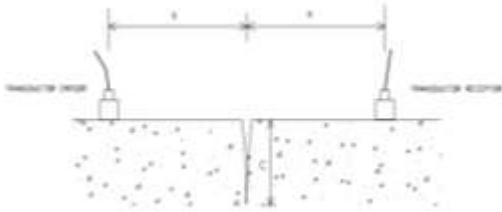
Mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

### Ganancia

Es la regulación de la amplitud de la modulación de la señal eléctrica provocada por los ecos que el usuario o quien hace el ensayo estima, la ganancia modula la señal recibida.

### Presencia de acero de refuerzo

La velocidad en una barra de acero es generalmente más alta que la misma en el concreto, por consiguiente un aumento de la velocidad podría representar un indicador de la presencia de barras de acero.



**Figura 11:** Estimación de la profundidad de una grieta. (Curso conceptos básicos de evaluación de puentes Ingeniera Giannina Ortiz, programa de educación continua, septiembre 2013)

## Pavimentos de Concreto Hidráulico

Un pavimento rígido es aquel elemento fabricado de concreto con cemento hidráulico, con refuerzo o sin refuerzo, para lo cual se diseña y construye con el fin de resistir las cargas de tránsito que se asumen para el uso que se requiera.

Existen varios tipos de pavimentos rígidos, que pueden clasificarse en:

- 1) Pavimentos de Concreto Simple
- 2) Pavimentos de Concreto Continuamente Reforzados con barras de acero.
  - a) Pavimento de Concreto Simple con juntas sin barras de transferencia.
  - b) Pavimento de Concreto Simple con juntas con barras de transferencia, ambos con losas de 3 a 6 metros.

Para diseñar pavimentos rígidos se puede realizar por el método de AASHTO. El tipo más común de pavimentos rígidos es el pavimento de concreto con juntas (JPCP). Por no tener refuerzo, las losas deben ser lo suficientemente cortas como para no generar esfuerzos térmicos que excedan la resistencia de la losa a flexo-tracción.

Tipos alternativos, menos comunes, son:

- a) pavimento reforzado y con juntas (JRCP)
- b) pavimento continuamente reforzado (CRCP).

El procedimiento de la guía de diseño AASHTO 1993 consiste en encontrar el espesor de losa requerido, en función de una serie de parámetros de diseño, con el propósito de obtener un nivel de confianza específico, y que el índice de servicio (PSI) no caiga por debajo de un mínimo dada la aplicación de las cargas de diseño.

El espaciamiento máximo de juntas en pavimentos JPCP está entre 18 y 21 veces el espesor de losa. Por ejemplo:

- Losa de 20 cm de espesor: 3.60 a 4.20 m.
- Losa de 25 cm de espesor: 4.50 a 5.25 m.

Las juntas de los pavimentos de concreto JPCP funcionan por trabazón del agregado (angularidad) o a través de dovelas (lo más común en nuestro medio).

## Tipos de deterioros en pavimentos y losas de concreto

### Grietas y agrietamientos

Se define el agrietamiento como la separación en la sección transversal de una losa de concreto o dos o más partes debido a grietas.

Las grietas se clasifican según su orientación respecto al sentido de la vía, su ubicación dentro de la losa y también por su forma.

Acorde con el Instituto del Cemento Portland Argentino las definiciones de los tipos de deterioros en pavimento de concreto se describen a continuación.

### Fisura transversal

Descripción:

Fisuras con orientación predominante perpendicular al eje del pavimento

Causas posibles:

- Fisuración temprana por aserrado tardío.

- Fisuración por fatiga: espesor de calzada insuficiente y/o separación de juntas excesivas para las solicitaciones impuestas (cargas de tránsito y medio ambientales).
- Pérdida de soporte por erosión.
- Reflexión de fisuras de capas inferiores o de losas adyacentes



(a)

**Figura 12:** Fisura transversal. Jornada de actualización técnica “Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón” Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

Cómo evitarlas:

- Selección de espesores de calzada adecuados a las solicitaciones impuestas.

Diseño adecuado de juntas



(b)

**Figura 13:** Fisura transversal. Jornada de actualización técnica “Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón” Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

## Rotura de esquina

Descripción:

Fisura que intercepta una junta transversal con una junta longitudinal o borde de calzada orientada en general a 45° del eje del pavimento.

Causas posibles:

- Pobre transferencia de carga.
- Losas con ángulos agudos.
- Pérdida de soporte por erosión.



(a)

**Figura 14:** Rotura de esquina. Jornada de actualización técnica “Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón” Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

Cómo evitarlas:

- Transferencia de carga adecuada en tránsito pesado.
- Diseño adecuado de juntas en superficies de geometría irregular.
- Provisión de una subbase resistente a la erosión bajo tránsito pesado.



(b)

**Figura 15:** Rotura de esquina. Jornada de actualización técnica “Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón” Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.



## Erosión por bombeo

Descripción:

Movimiento del agua (con material de suspensión) ubicado debajo de la losa o su eyección hacia la superficie como resultado de la presión generada por la acción de cargas.

Causas (deben coexistir los siguientes factores):

- Material fino capaz de entrar en suspensión (arenas finas y limos).
- Disponibilidad de agua en las capas inferiores del pavimento.
- Deflexiones excesivas en los bordes y esquinas



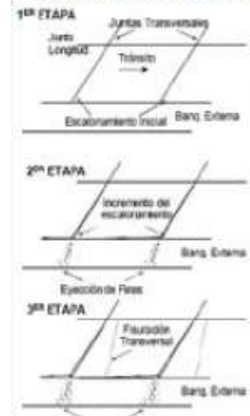
(a)

**Figura 16:** Erosión por bombeo. Jornada de actualización técnica “Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón” Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

Cómo evitarla:

- Provisión de una subbase resistente a la erosión bajo tránsito pesado. Ej.: suelo cemento.
- Evitar el ingreso de agua y/o facilitar su pronta remoción. (Buen sellado de juntas, mantenimiento de las mismas).

### ETAPAS EROSION POR BOMBEO



(b)

**Figura 17:** Erosión por bombeo. Jornada de actualización técnica “Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón” Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

## Levantamiento de losas

Descripción:

Movimiento localizado hacia arriba de la superficie del pavimento en zona de juntas o fisuras, por lo general acompañado de una desfragmentación.

Causas posibles:

- Entrada de materiales incomprensibles en la zona de junta. Expansiones térmicas excesivas.
- Inadecuado diseño de juntas en intersecciones y contra estructuras fijas.
- Expansiones por reacción álcali – sílice.



(a)

**Figura 18:** Levantamiento de losas. Jornada de actualización técnica “Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón” Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

Cómo evitarlas

:

- Diseño adecuado de juntas en intersecciones.
- Especificar materiales de sellos adecuados que prevengan la filtración de agua y materiales incompresibles.



(b)

**Figura 19:** Levantamiento de losas. Jornada de actualización técnica "Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón" Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

## Desportillamientos de juntas

Descripción:

Desfragmentación localizada en los labios de las juntas o fisuras.

Causas posibles:

- Entrada de materiales incompresibles en las juntas o fisuras.
- Concreto debilitado por falta de compactación, de durabilidad o por aserrado prematuro o por retiro de moldes en juntas de construcción, impactos excesivos al momento de retirar la formaleta.



(a)

**Figura 20:** Desportillamiento de junta. Jornada de actualización técnica "Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón" Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

Cómo evitarlas:

- Especificar materiales de sello adecuados que prevengan la filtración de agua y materiales incompresibles.
- Uso de desmoldantes para prevenir impactos sobre la formaleta que afecten los labios de la junta.



(b)

**Figura 21:** Desportillamiento de junta. Jornada de actualización técnica "Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón" Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

## Reacción álcali agregado

Descripción:

En general el patrón de fisuración es en forma de mapa con fisuras predominantemente orientadas en dirección paralela a los bordes libres del pavimento.

Causas:

- Empleo de agregados potencialmente reactivos sin la adopción de medidas preventivas.



(a)

**Figura 22:** Reacción álcali agregado. Jornada de actualización técnica "Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón" Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

Cómo evitarlas:

- Comenzar los estudios de las posibles fuentes de provisión desde la etapa misma del proyecto.

Tener presente que para determinados agregados se requiere de un año para evaluar su aptitud, en tanto que la evaluación de medidas preventivas puede demorar incluso hasta 2 años



(b)

**Figura 23:** Reacción álcali agregado. Jornada de actualización técnica "Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón" Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

## Fisuras por retracción o tipo malla

Descripción:

Fisuras limitadas solo a la superficie del pavimento. Frecuentemente, las grietas de mayores dimensiones se orientan en sentido longitudinal y se encuentran interconectadas por grietas más finas distribuidas en forma aleatoria.

Causas:

- Curado inadecuado del concreto.
- Exceso de amasado superficial y/o adición de agua durante el alisado de la superficie.
- Malla de refuerzo muy cerca de la superficie.
- Acción del clima o de productos químicos.



(a)

**Figura 24:** Fisuras tipo malla. Jornada de actualización técnica "Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón" Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

Cómo evitarlas:

- Buenos procesos constructivos.
- Utilizar herramientas para contrarrestar los ataques del clima como lo son fuertes vientos y altas temperaturas.
- Curado inmediato del concreto.



(b)

**Figura 25:** Fisuras tipo malla. Jornada de actualización técnica "Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón" Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

## Fisura en bloque

Descripción:

Fracturamiento que subdivide generalmente una porción de la losa en planos o bloques pequeños de área inferior a un metro cuadrado.

Causas:

- Repetición de cargas pesadas (Fatiga de concreto).
- Equivocado diseño estructural.
- Condiciones de soporte deficientes. Son causadas por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto), el equivocado diseño estructural y las condiciones de soporte deficiente.



(a)

**Figura 26:** Fisuras en bloque. Jornada de actualización técnica "Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón" Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

Cómo evitarla:

- Elaborar un buen diseño estructural.
- Emplear materiales de bases no erodables.
- Compactar la subrasante de acuerdo con las especificaciones.
- Empleo de drenajes para evitar infiltraciones a las capas de soporte



(b)

**Figura 27:** Fisuras en bloque. Jornada de actualización técnica "Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón" Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

## Fisuras inducidas

Descripción:

Se incluye bajo esta denominación un conjunto de fisuras de forma errática cuyo desarrollo en el pavimento es indicado por factores relativos a una inadecuada distribución de juntas o inapropiada inserción de estructuras u otros elementos dentro de las losas.

Causas:

- Cuando el arreglo de juntas en un carril no es respetado en el carril contiguo, es muy probable que induzcan o reflejen en éste, fisuras que den continuidad a las juntas existentes. Esta situación se presenta también con frecuencia, cuando se ejecutan parchados y el diseño de sus bordes o juntas, sus dimensionamientos o inclusive distancias mínimas o juntas existentes, no son respetadas; eventualmente este fisuramiento puede continuar subdividiendo los planos resultantes, identificándose este caso particularmente como "Fisuras en Bloques" Fisuras alrededor de estructuras pueden inducirse cuando no se proveen elementos de aislamiento que eviten restricción en el movimiento de las losas.



**Figura 28:** Fisuras inducidas. Jornada de actualización técnica “Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón” Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

Cómo evitarlas:

- Mantenimiento general.
- Buenas técnicas de rehabilitación.
- Reforzamiento de losas atípicas.
- Aislamiento de estructuras.

## Hundimiento

Descripción:

Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada de este; puede estar acompañado de un fisuramiento significativo, debido al asentamiento del pavimento.

Causas:

- Asentamiento o consolidación de la subrasante.
- Zonas contiguas a estructuras de drenaje o retención.
- Deficiente compactación inicial.
- Asentamientos diferenciales.
- Deficiencias durante el proceso de construcción de las losas



**Figura 29:** Hundimiento. Jornada de actualización técnica “Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón” Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

Cómo evitarla:

- Buena compactación a los materiales de soporte.
- Abatimiento del nivel freático cercano a la estructura.
- Correcto proceso constructivo Empleo de drenajes

## Descascaramiento y fisuras capilares

Descripción:

Descascaramiento es la rotura de la superficie de la losa hasta una profundidad del orden de 5 a 15 mm, por desprendimiento de pequeños trozos de concreto. Por fisuras capilares se refiere a una malla o red de fisuras superficiales muy finas, que se extiende solo a la superficie del concreto. Las mismas que tienden a intersectarse en ángulos de 120°.

Causas:

- Exceso de acabado del concreto fresco.
- Exudación de mortero y agua debilitando el concreto frente a la retracción.
- Armaduras de acero muy próximas a la superficie.



**Figura 30:** Descascaramiento y fisuras capilares. Jornada de actualización técnica “Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón” Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

Cómo evitarla:

- Buenos procesos constructivos.
- Espesores de recubrimientos en losas reforzadas acordes a las especificaciones.

## Agregado expuesto

Descripción:

Progresiva desintegración de la superficie del pavimento por pérdida de material fino desprendido de matriz arena cemento del concreto, lo que provoca una superficie de rodamiento rugosa y eventualmente pequeñas cavidades.

Causas:

- Efecto abrasivo del tránsito sobre concretos de calidad pobre, ya sea por el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua, agregados de inapropiada granulometría).
- Deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curado defectuoso, etc.).



**Figura 31:** Agregado expuesto. Jornada de actualización técnica “Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón” Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

Cómo evitarla:

- Calidad en el concreto
- Buenos procesos constructivos (tiempos de vibrado, curados)

## Baches

Descripción:

Descomposición o desintegración de la losa de concreto y su remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares.

Causas:

- Fundaciones y capas inferiores inestables.
- Espesores del pavimento estructuralmente insuficientes
- Defectos constructivos.
- Retención de agua en zonas fisuradas.
- Acción abrasiva del tránsito provocando fisuras en bloque que posteriormente originan los baches.



(a)

**Figura 32:** Baches. Jornada de actualización técnica "Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón" Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

Cómo evitarla:

- Mantenimiento preventivo a losas de concreto.
- Buena compactación de las capas de soporte.
- Excelentes procesos constructivos.
- Manejo de aguas superficiales y drenaje efectivo



(b)

**Figura 33:** Baches Jornada de actualización técnica "Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón" Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

## Corrosión

Descripción:

Es la pérdida de la sección del elemento de refuerzo en las losas de concreto causado por estar expuestos a la humedad y secado, lo que hace que el elemento pierda resistencia y parte de su sección.



**Figura 34:** Corrosión en varillas de acero. Ensayo de Corrosión de las varillas para patrones del proyecto de ultrasonido, 2013.

## Grietas no debidas a cargas

Estas son las grietas debidas a los continuos cambios de temperatura y humedad.

Los pavimentos de hormigón son muy susceptibles también a los gradientes de temperatura causando el alabeo; el peso propio de la losa y la carga de tránsito tienden a impedir esa deformación produciendo esfuerzos de tracción en la cara cóncava lo que provoca la fisura.



Durante el día en general el alabeo por temperatura y el de humedad se contrarrestan, en cambio durante la noche se combinan.

**Figura 35:** Tipos de alabeo. Jornada de actualización técnica "Diseño y Construcción de pavimentos de Hormigón" Ing. Diego H. Calo, 20 de noviembre de 2008.

# Metodología

## El diseño y elaboración de patrones

Para satisfacer las necesidades de este proyecto se inicia con la realización del diseño de una serie de patrones que permitan la evaluación de la respuesta del equipo ultrasónico en estructura de losa de puente y pavimento rígido.

Se diseñó una serie de patrones, cuyas medidas se obtienen al dimensionar proporcionalmente el diseño de losas de puentes y pavimentos rígidos de 3 x 2 metros y con espesor mínimo de 15 cm referencia la AASHTO (Ver Apéndice 1)

Con base en la información referente a defectología comúnmente encontrada en losas y pavimentos rígidos, se determinan aquellos tipos que presentan mayor presencia y a la vez reproducibilidad, estas son grietas superficiales, vacíos y segregaciones.

Estos se reproducen en los patrones de la manera siguiente; utilizando tubería pvc de 1/2 pulgada sellada en ambos extremos se simula la presencia de vacíos; piezas amorfas fabricadas con pasta de cemento y agregado grueso distintas de las utilizadas para la fabricación del patrón generan el efecto de segregaciones del material; incisiones realizadas con una cortadora de concreto sobre la superficie del patrón permiten simular el efecto de distintas grietas superficiales acorde con el comportamiento de distintas fisuras observadas en la literatura.

Adicionalmente, se realizarán construcciones de refuerzo con al menos dos varillas corroídas mediante el ensayo de niebla salina mencionado en la norma ASTM B117-97.



**Figura 36:** Verificación del diseño de las formaletas puestas en el sitio del proyecto en construcción del tramo carretera Cañas-Liberia.

Dichos patrones fueron diseñados y estructurados dentro de sus formaletas en las instalaciones del CIVCO, las cuales posteriormente fueron trasladadas al proyecto en construcción del tramo carretera Cañas-Liberia, 51.61km, comprende el estacionamiento del PK 166+ 300 al 216+910, ampliación a 4 carriles dos por sentido, 3.65m por carril, se considera 1.80m de hombros, sobrecanchos, y bahías; Una vez allí usando el material puesto en obra, se realizó la prueba de revenimiento referencia norma ASTM C143 donde se determinó la trabajabilidad del concreto del material por utilizar, también realizamos el ensayo de temperatura del concreto ASTM C1064; se procedió a fundir los patrones, como también 3 cilindros bajo la norma ASTM C31 para llevar a cabo el ensayo de resistencia a compresión norma ASTM C39 y para conocer el módulo de ruptura se realizó la fundición de una viga referencia norma ASTM C78-09, todo esto durante horas de colocación del concreto. Después de un periodo de curado preventivo de 48 horas, se realizó el traslado de estos patrones de regreso a las instalaciones del CIVCO donde se procedió a seguir con el curado respectivo, siendo este de 28 días acorde con lo indicado en la norma ASTM C31-08. Los cilindros y la viga fueron curados en la cámara húmeda a una temperatura de 20.5°C, presión de 862.8 hPa y humedad de 110%.





**Figura 37:** Ensayo de trabajabilidad del material por utilizar acorde con la norma ASTM C143.



**Figura 38:** Proceso de fundido de los patrones manteniendo las características de diseño.

Las especificaciones de cada uno de los patrones diseñados se encuentran a continuación:

**Patrón 1:** simulación de pavimento rígido de 40 x 30 x 20 cm, sin presencia de defectología inducida y sin refuerzo

**Patrón 2:** Losa de 40 x 30 x 20 cm, sin presencia de defectología inducida y con refuerzo.

**Patrón 3:** Losa de 50 x 35 x 20 cm, con refuerzo y varilla corroída

**Patrón 4:** Losa de 50 x 35 x 20 cm, sin presencia de defectología inducida y sin refuerzo.

**Patrón 5:** Losa de 70 x 50 x 20 cm, con presencia de defectología inducida, con refuerzo y varilla corroída. La defectología mostrada consta de un vacío trasversal de 35 cm de longitud y 1 cúmulo de segregación.

**Patrón 6:** Losa de 100 x 70 x 20 cm, con presencia de defectología inducida y con refuerzo de 3/8 de pulgada sin corrosión. La defectología mostrada consta de un tubo de PVC de 30 cm de longitud y 1 cúmulo de segregación.

**Patrón 7:** Losa de 100 x 70 x 15 cm, con defectología inducida y sin refuerzo. Presenta una serie incisiones cortantes transversales y diagonales simulando el comportamiento de grietas. (Ver Apéndice 2)



**Figura 39:** Patrones ubicados en el laboratorio del CIVCO durante el proceso de curado.

## Pruebas destructivas y ensayos mecánicos

La realización de los ensayos a compresión se lleva a cabo en los laboratorios CIVCO a 7, 14 y 28 días de curado, así como el ensayo de flexión se realiza a la viga a los 28 días de curado.

Mientras que a los patrones se les realiza un ensayo no destructivo mediante el esclerómetro digital, para determinar su resistencia a compresión referente a este tipo de equipo, al finalizar el periodo de curado de 28 días.



**Figura 40:** Ensayo de flexión realizado a la viga después de transcurrido el tiempo de curado.



**Figura 41:** Ensayo de compresión de cilindros después de transcurrido el tiempo de curado.

## Ensayo ultrasónico

Al finalizar el periodo de curado se da inicio a la realización del ensayo ultrasónico sobre los patrones. Para ello se selecciona la distancia entre palpadores que permita un análisis adecuado pero no excesivamente minucioso de los patrones, ya que ese tipo de análisis no es representativo, comparado al que se puede realizar en el campo.

Seguidamente, se toma como parámetro inicial el patrón 1; en este se llevan a cabo mediciones desde el punto marcado como origen variando las distancias entre palpadores, la frecuencia de los mismos y la ganancia del equipo ultrasónico con el fin de acotar los parámetros de trabajo que presenten la mejor respuesta en estos patrones; esta se confirma posteriormente para los demás patrones.

Una vez acotadas la distancia entre palpadores, la frecuencia y la ganancia se

prosigue al análisis y recolección de las respuestas de cada uno de los patrones y se comparan estas con el diseño respectivo, para así verificar, mediante la norma ASTM C597-09, que el equipo ha detectado correctamente las secciones irregulares en la estructura, también llamadas defectología (Ver Apéndice 6).



**Figura 42:** Evaluación de los patrones por medio del ultrasonido C372N

# Metodología proyecto piloto, puente sobre Río Virilla (Ubicado en el km 16)

## Generalidades del puente sobre Río Virilla (Ubicado en el km 16)

El puente sobre el río Virilla se encuentra ubicado en el kilómetro 16.300 de la Ruta Nacional No. 27 Atraviesa el Cañón del Río Virilla. Distrito de San Rafael, Cantón de Alajuela de la provincia de Alajuela, sus coordenadas de ubicación Latitud Norte  $9^{\circ}56'50.10''$  y Longitud Oeste  $84^{\circ}13'55.84''$ . El puente está compuesto por el elemento estructural de losa de concreto, este tiene un antecedente de grietas en un 70%-80%

por flexión longitudinales, grietas por retracción del concreto en zonas muy localizadas, y orificios en algunas zonas producto de una mala reparación (LANAMME Octubre 2011).

Así también por un estudio realizado por Camacho y Mora en Febrero 2013, se informa técnicamente que este contiene grietas longitudinales continuas a los largo del puente (serios problemas de deterioro), presencia de agrietamiento tipo piel de lagarto, estas ocasionadas por las posibles causas de retracción del concreto, sobrecargas a edades tempranas y deficiencias constructivas, pérdidas del material en la superficie (Ver Apéndice 3 y 4).

### Protocolo de Itinerario y tiempo

El tiempo para evaluar y aplicar el ultrasonido a la losa en el puente Virilla se ejecutó según lo programado de 10:00 p.m. a 5:00 a. m. Las interrupciones del tráfico se establecieron cada 10 minutos, al no ser posibles estas, se trabajó durante los intervalos en los cuales no transitaba ningún vehículo, para cumplir con el manual de uso del equipo ultrasónico C372N el cual indica que este no debe hacer mediciones en ambientes con presencia de vibraciones.

### Protocolo de Seguridad

Al aplicar el ensayo de ultrasonido en la losa sobre el puente del rio Virilla se realizó una serie de actividades de seguridad con apoyo de la seguridad de tránsito, señalización física mediante conos, luces intermitentes, uso de chalecos reflectivos, cascos, linterna, para salvaguardar la vida de los técnicos y personal que participa en la evaluación ultrasónica.



Figura 43: Chequeo del equipo de seguridad y de implementación para uso del ultrasonido.

Posteriormente se procede a la inspección visual detallada de la zona de interés, enfatizando los puntos que se han considerado con mayor detalle. Estos fueron: una grieta transversal, un hueco, una junta y un área de losa que no muestra grieta o discontinuidad en su superficie a simple vista.



Figura 44: Identificación de la discontinuidad por medir.

Ya seleccionados los lugares por evaluar, se procede a limpiar el lugar de la losa que se desea analizar con cepillo de cerdas metálicas y lija de agua,



Figura 45: Limpieza del lugar seleccionado por evaluar.

A continuación se calibra el equipo, aplicando acoplante (vaselina) a los palpadores o transductores y en los puntos de análisis probando la ganancia adecuada y distancias para lograr resultados confiables que puedan leer el estado de la losa



**Figura 46:** Medición de distancia entre palpadores.



**Figura 49:** Calibración del equipo



**Figura 47:** Acoplante (vaselina).



**Figura 50:** Colocación de los transductores sobre área por evaluar.



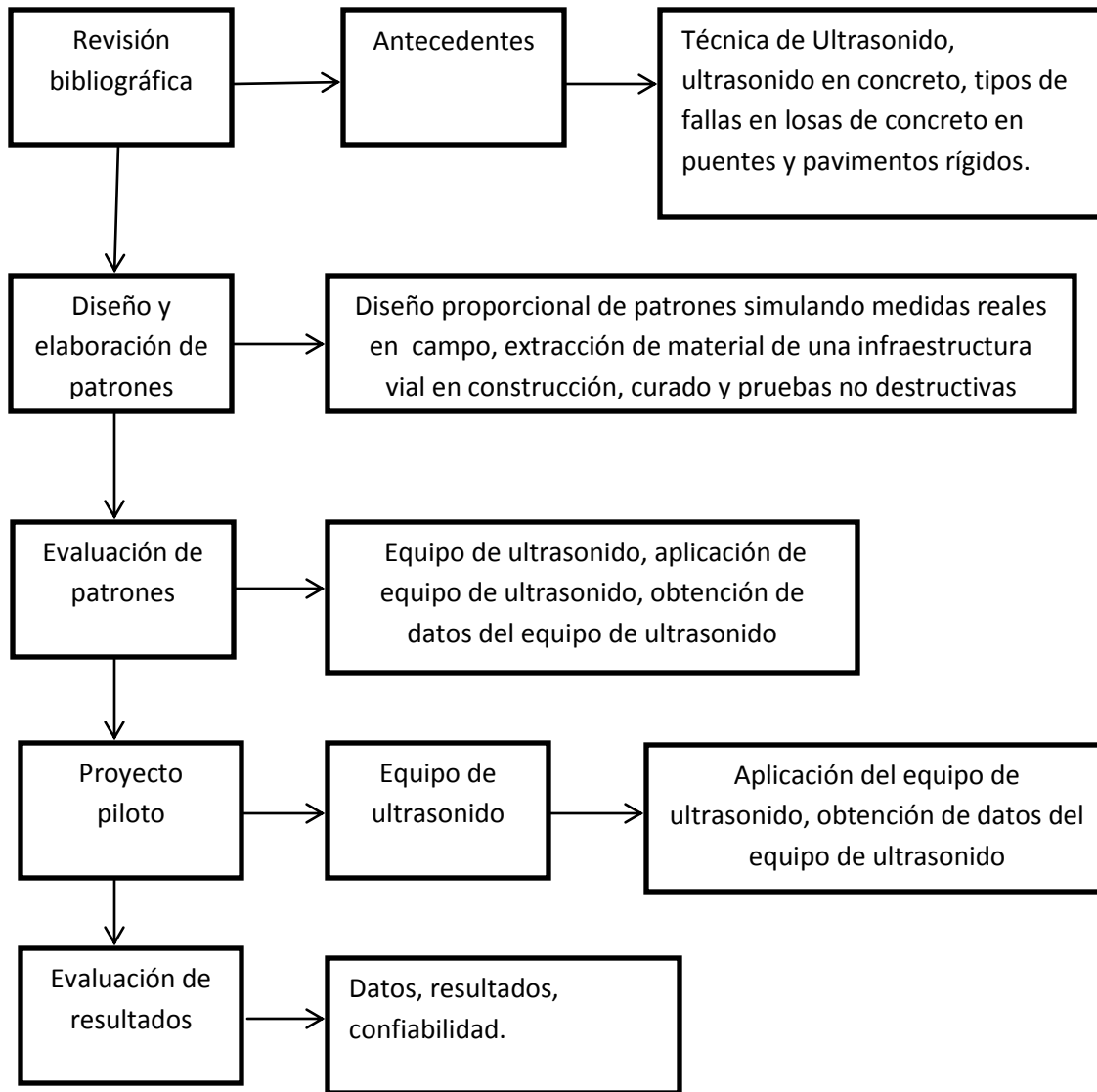
**Figura 48:** Aplicación de acoplante a los transductores.

Por último, se miden los tiempos y velocidades que el ultrasonido trasmite y se toman los resultados.



**Figura 51:** Toma de resultados.

# DIAGRAMA DE FLUJO



# Resultados

## Determinación de la frecuencia y ganancia

Para la determinación de la frecuencia y ganancia que servirán para obtener una mejor lectura del equipo de ultrasonido y garantizar la obtención de los datos confiables, se utilizaron los cuatro tipos de transductores para llevar a cabo mediciones de señal a una distancia conocida entre transductores de 30cm por medio del tiempo de vuelo de la onda en el patrón 1, se realizan evaluaciones de los cuadros 1, 2, 3 y 4 con sus respectivos gráficos y se concluye que la frecuencia y ganancia adecuadas para proseguir con los análisis de los patrones siguientes son 55KHz y 40 de ganancia respectivamente .

El patrón 1 con una sección 40cm x 30cm y un espesor de 20cm que se encuentra sin defectología tuvo el comportamiento de análisis que se muestra en el cuadro y gráfico 2

<b>CUADRO 1. MEDICIÓN DEL TIEMPO DE VUELO (<math>\pm 0.01 \mu s</math>) CON UNA FRECUENCIA DE 24KHz</b>						
Ganancia	6cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm
10	28.30	47.00	68.60	94.40	114.60	156.00
20	26.80	33.60	47.80	61.10	73.20	135.50
30	12.00	33.20	47.10	60.40	71.70	84.10
40	9.30	19.80	34.60	45.90	57.90	83.30
50	9.00	18.60	31.70	44.20	55.40	67.50
60	8.00	18.50	31.40	43.20	55.30	66.00

Fuente: Obtención de tiempo de vuelo con diferentes ganancias en el CIVCO.

<b>CUADRO 2. MEDICIÓN DEL TIEMPO DE VUELO (<math>\pm 0.01 \mu s</math>) CON UNA FRECUENCIA DE 55KHz</b>						
Ganancia	6cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm
10	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
30	27.00	45.50	-	-	-	-
40	22.90	41.00	72.70	111.20	168.50	189.50
50	8.90	23.30	43.30	67.70	96.40	150.70
60	7.50	17.80	38.20	55.50	67.00	94.40

Fuente: Obtención de tiempo de vuelo con diferentes ganancias en el CIVCO.

<b>CUADRO 3. MEDICIÓN DEL TIEMPO DE VUELO (<math>\pm 0.01 \mu s</math>) CON UNA FRECUENCIA DE 55KHz/CÓNICA</b>						
Ganancia	6cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm
10	17.00	38.30	42.50	54.60	64.50	83.80
20	29.50	43.50	69.90	82.30	121.00	144.00
30	24.90	51.80	75.00	96.10	113.00	152.20
40	27.90	36.70	48.00	59.70	69.20	120.60
50	19.60	36.60	47.30	58.10	68.50	80.10
60	27.70	38.80	46.50	56.80	69.30	90.10

Fuente: Obtención de tiempo de vuelo con diferentes ganancias en el CIVCO.

<b>CUADRO 4. MEDICIÓN DEL TIEMPO DE VUELO (<math>\pm 0.01 \mu s</math>) CON UNA FRECUENCIA DE 150KHz</b>						
Ganancia	6cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm
10	19.80	45.90	61.10	74.50	113.10	157.80
20	15.60	31.70	45.50	73.90	85.70	98.40
30	10.90	19.30	44.20	57.20	69.30	80.40
40	7.30	18.10	31.10	45.10	68.70	80.80
50	7.40	17.50	30.40	43.80	54.60	66.40
60	7.00	17.10	29.70	42.90	53.60	65.10

Fuente: Obtención de tiempo de vuelo con diferentes ganancias en el CIVCO.

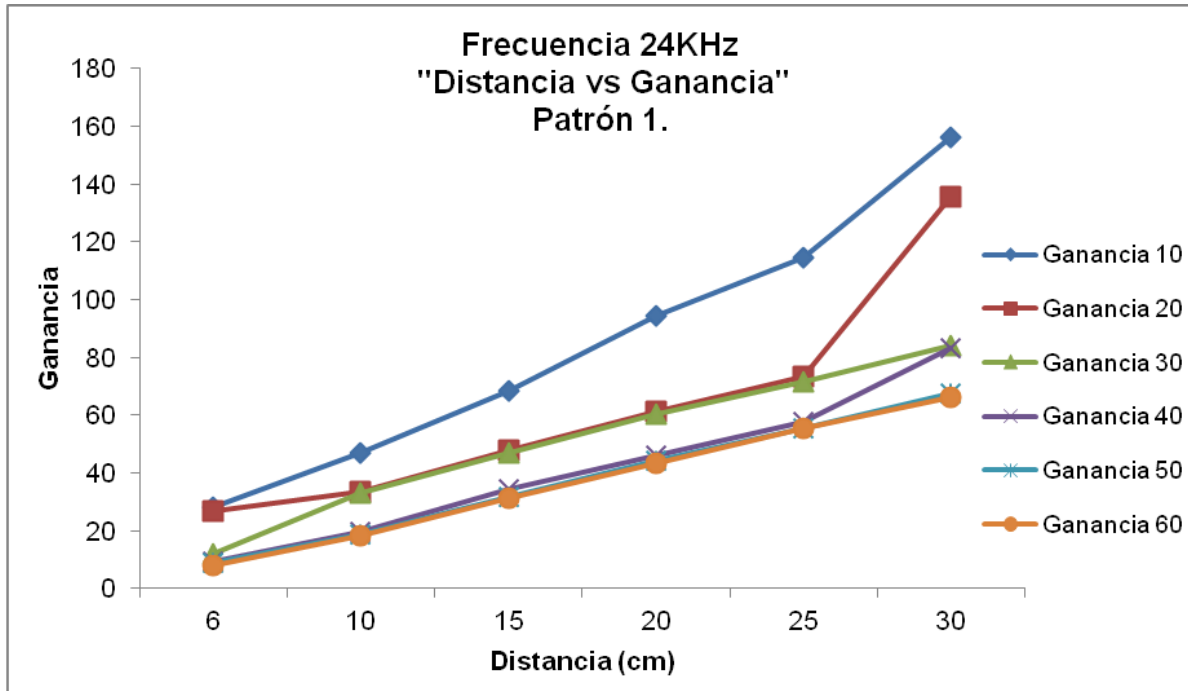


Figura 52: Obtención del tiempo de vuelo en el patrón 1 a una frecuencia de 24KHz.

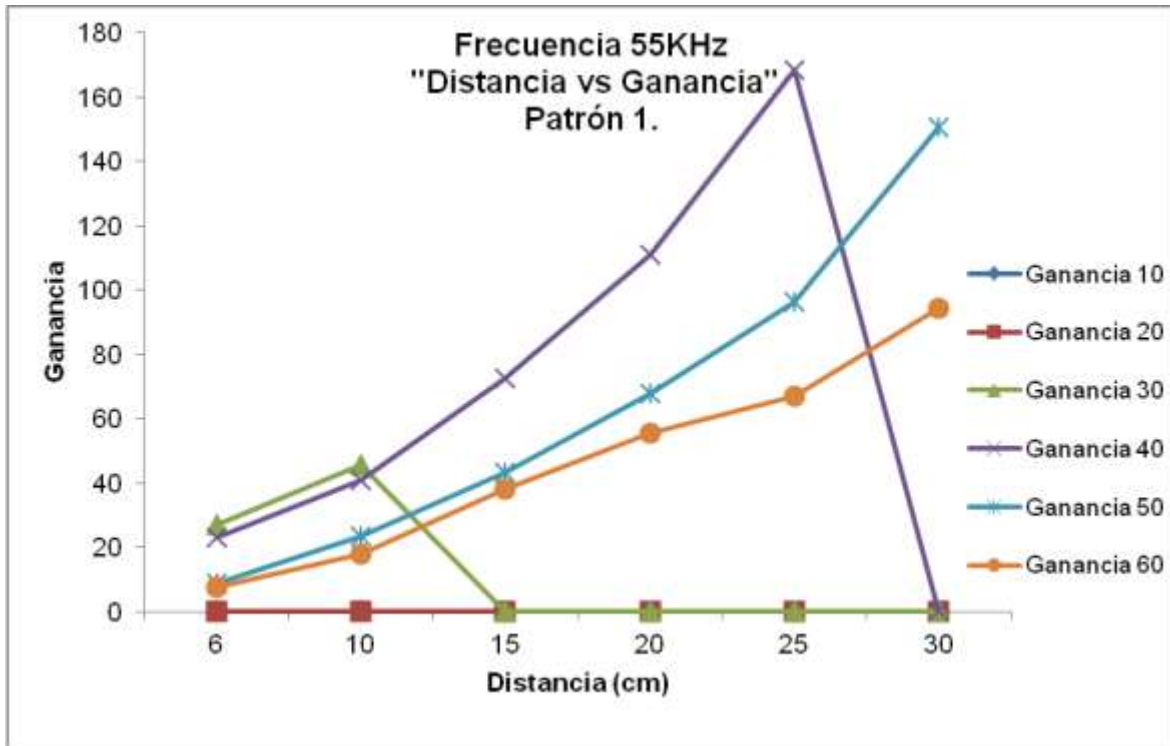


Figura 53: Obtención del tiempo de vuelo en el patrón 1 a una frecuencia de 55KHz



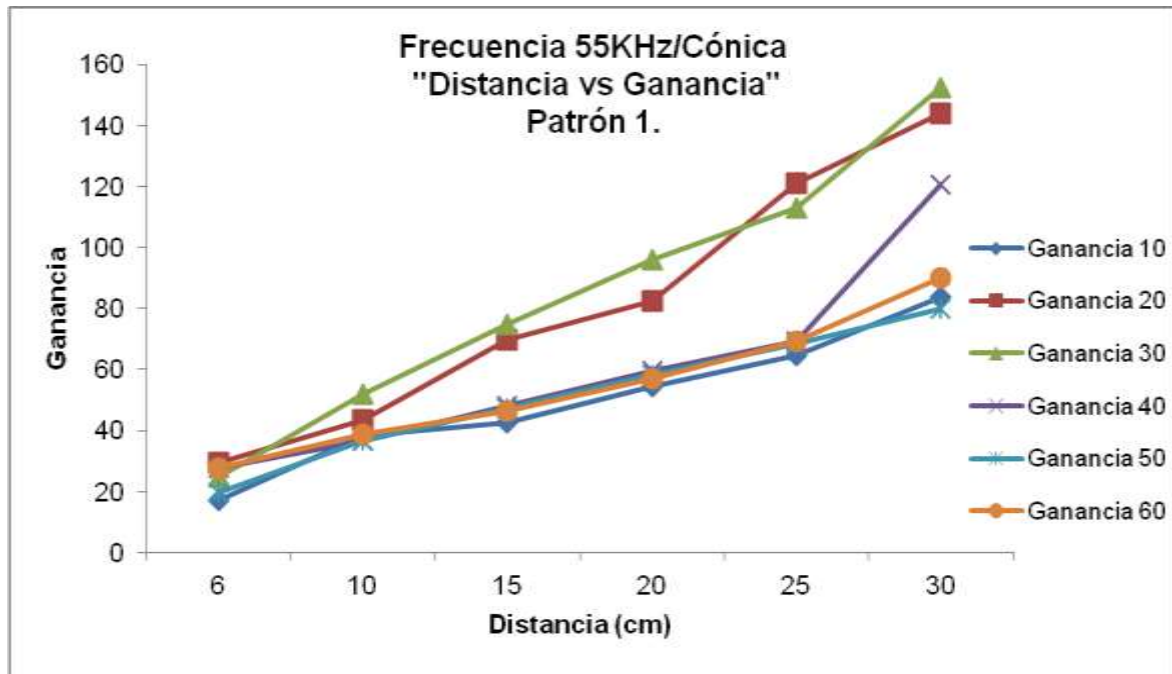


Figura 54: Obtención del tiempo de vuelo en el patrón 1 a una frecuencia de 55KHz/Cónica.

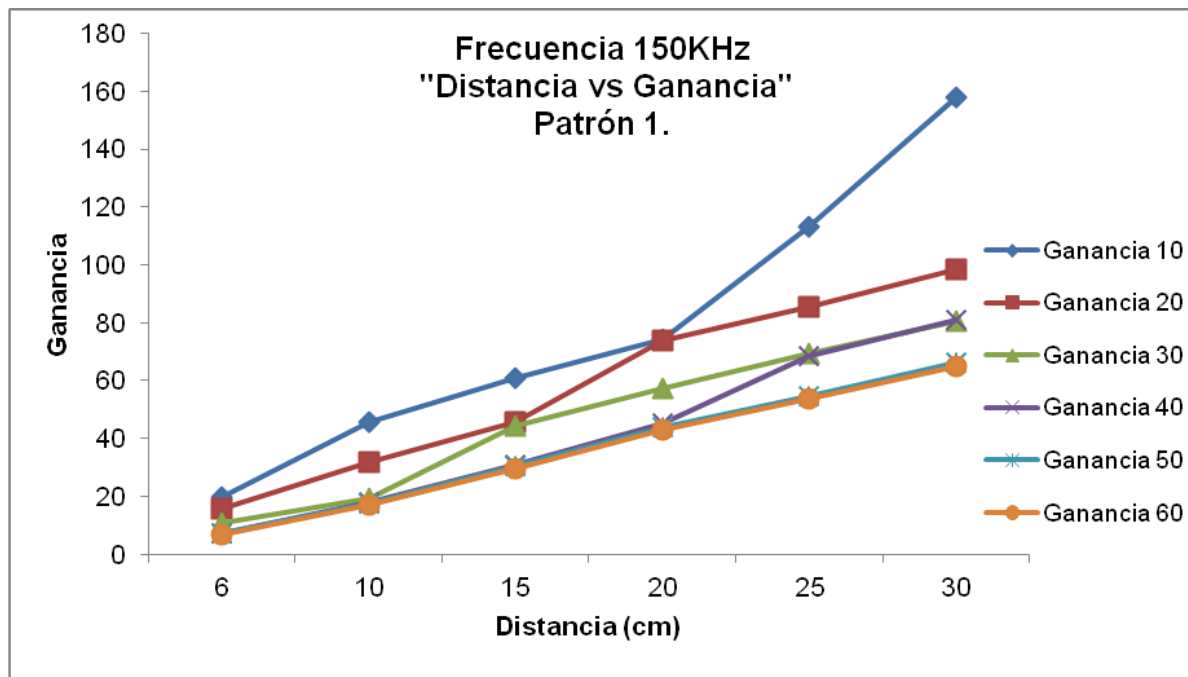


Figura 55: Obtención del tiempo de vuelo en el patrón 1 a una frecuencia de 150KHz.

# Comparación de resistencia de compresión

Se analiza el comportamiento de los respectivos ensayos de fallas de cilindro, y esclerómetro a 28 días para comparar si el diseño de mezcla que se estableció y compartió está en el rango esperado de resistencia.

La resistencia a compresión del concreto es una propiedad mecánica y de durabilidad, con la cual el diseño de mezcla se realiza. La empresa constructora FCC quien desarrolló el proyecto de la ampliación del tramo carretero de Cañas-Liberia, realizó el diseño de mezcla, esperando obtener una resistencia a la compresión del concreto a 28 días de 441.6 Kg/cm<sup>2</sup>, esto se calculó por medio de la fórmula que involucra al módulo de ruptura, que ya en campo esperaban un rango de 380 a 400 Kg/cm<sup>2</sup> para que la infraestructura cumpliera lo establecido. Se realizó el cuadro 5 con su respectiva gráfica donde se muestran los datos adquiridos con el ensayo que se obtuvo por medio del ensayo de falla de cilindros y el uso de esclerómetro.

<b>CUADRO 5. RESISTENCIA DE COMPRESIÓN DE LOS PATRONES</b>								
<b>Fundición</b>	0 días	Resistencia (± 0,1 Kg/cm <sup>2</sup> )	7 días	Resistencia (± 0,1 Kg/cm <sup>2</sup> )	14 días	Resistencia (± 0,1 Kg/cm <sup>2</sup> )	28 días	Resistencia (± 0,1 Kg/cm <sup>2</sup> )
Patrón 1	x	380-400	X	358.00	x	387.00	x	479.00
Patrón 2	x	380-400	X	402.00	x	432.00	x	457.00
Patrón 3	x	380-400	X	387.00	x	417.00	x	479.00
Patrón 4	x	380-400	X	357.00	x	421.00	x	495.00
Patrón 5	x	380-400	X	403.00	x	447.00	x	463.00
Patrón 6	x	380-400	X	344.00	x	417.00	x	445.00
Patrón 7	x	380-400	X	342.00	-	387.00	x	463.00
Muestra 1	x	380-400	X	332.00	x	-	-	-
Muestra 2	x	380-400	-	-	x	372.40	-	-
Muestra 3	x	380-400	-	-	x	-	x	403.28
Viga	x	380-400	-	-	-	-	x	3,093 Kg
	Resistencia Esperada		75% Resistencia Esperada		90% Resistencia Esperada		99% Resistencia Esperada	

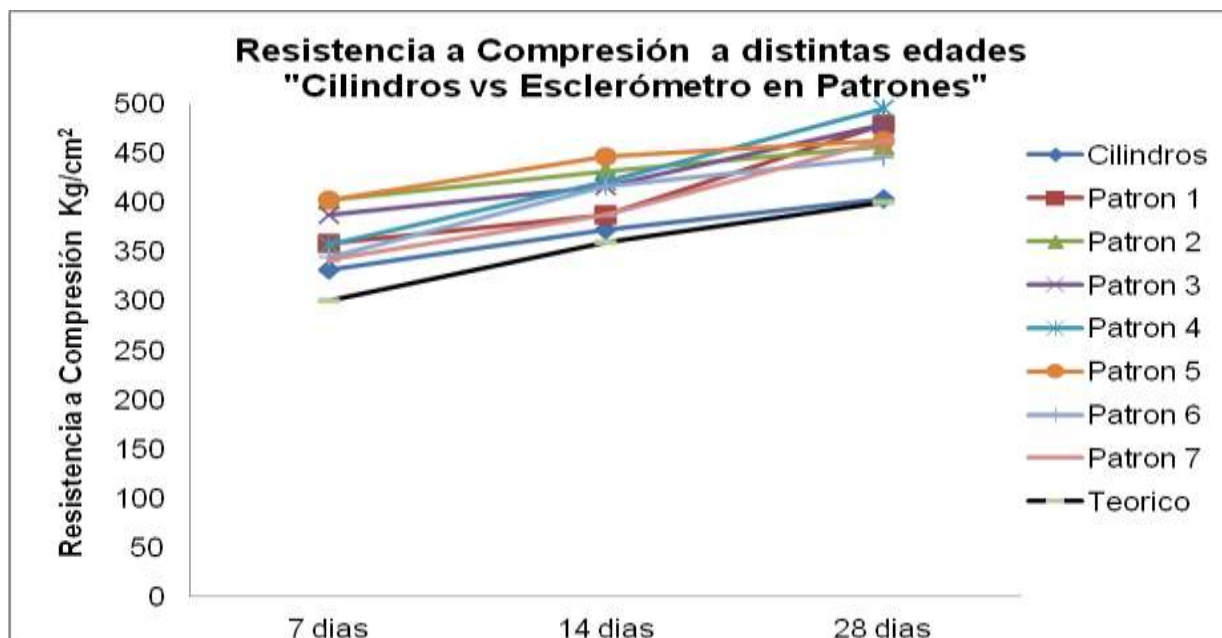


Figura 56: Comparación de la Resistencia a Compresión vs Edad de los patrones.

CUADRO 6. RESISTENCIA A COMPRESIÓN MEDIDOS CON ESCLERÓMETRO			
Esclerómetro ( $\pm 0.01 \text{ Kg/cm}^2$ )	7 días	14 días	28 días
Patrón 1	358.00	387.00	479.00
Patrón 2	402.00	432.00	457.00
Patrón 3	387.00	417.00	479.00
Patrón 4	357.00	421.00	495.00
Patrón 5	403.00	447.00	463.00
Patrón 6	344.00	417.00	445.00
Patrón 7	342.00	387.00	463.00

CUADRO 7. RESISTENCIA A COMPRESIÓN CON MÁQUINA PARA FALLA DE CILINDROS			
Cilindros	7 días	14 días	28 días
Resistencia a Compresión ( $\pm 0.01 \text{ Kg/cm}^2$ )	332	372.4	403.28

# Determinación de resistencia a la flexión

Para poder elaborar un concreto con cierta resistencia a la compresión, se debe diseñar con respecto al módulo de flexión, donde se evidencia la resistencia a la tracción del concreto. Este ensayo se realiza según la norma ASTM C78 si las cargas están en L/3 y ASTM C293 si la carga está ubicada en el punto medio. El módulo de Ruptura se puede realizar en vigas o losas de concreto no reforzada, la viga que se utilizó es de 6x6 pulgadas y la luz mínimo debe ser tres veces el espesor. El módulo de ruptura al que estaba diseñado el tramo de Cañas-Liberia por la empresa FCC es de 4.9MPa o 50Kg/cm<sup>2</sup>. Como requisito mínimo en un diseño de pavimentos rígidos, se debe tomar en cuenta la importancia de conocer e identificar el módulo de ruptura de la mezcla de trabajo.

<b>CUADRO 8. MÓDULO DE RUPTURA DE LA VIGA</b>		
<b>MR = PL/bd<sup>2</sup></b>	<b>MR</b>	<b>MR</b>
P =	30310.00 N	3093.00Kg
b=	155.50mm	15.50cm
d=	157.50mm	15.75cm
L=	628.00mm	62.80cm
L/3=	185.60mm	18.56cm
Luz=	557.00mm	55.70cm
	<b>4.40 N/mm<sup>2</sup></b>	<b>45.00 Kg/cm<sup>2</sup></b>

# Evaluación de patrones

La evaluación del Patrón 5 conformado por losa de 70 x 50 x 20 cm, con presencia de defectología inducida, con refuerzo y varilla corroída, se muestra las evaluaciones y resultados por medio del ultrasonido.

<b>CUADRO 13. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 5 UTILIZANDO PALPADORES DE 55 KHz</b>										
No. de análisis: 5		No. de elemento: 5		PATRÓN 5						
Ganancia: 40		Frecuencia (KHz): 55		Evaluación-Ultrasonido						Descripción
Coordenadas ( $\pm 0,1$ cm)		Tiempo de vuelo ( $\pm 0,1$ $\mu$ s)	Distancia entre palpadores ( $\pm 0,1$ cm)	Densidad (Kg/ m <sup>3</sup> )	Velocidad ( $\pm 0.01$ m/s)	Longitud medida por el equipo ( $\pm 0.01$ cm)	Variación de la velocidad ( $\pm 0.01$ %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada	
R	T									
(10, 5)	(10, 35)	120.90	30.00	2,281.00	2480.00	29.95	15.07	Sí		
(10, 5)	(10, 35)	120.70	30.00	2,281.00	2480.00	30.06				
(10, 5)	(10, 35)	120.90	30.00	2,281.00	2480.00	30.03				
(30, 5)	(30, 35)	142.60	30.00	2,281.00	2100.00	30.02	28.08	Sí		
(30, 5)	(30, 35)	141.90	30.00	2,281.00	2100.00	29.98				
(30, 5)	(30, 35)	142.70	30.00	2,281.00	2100.00	30.01				
(10, 15)	(10, 45)	103.10	30.00	2,281.00	2910.00	30.07	0.34	No		
(10, 15)	(10, 45)	102.40	30.00	2,281.00	2910.00	30.01				
(10, 15)	(10, 45)	102.90	30.00	2,281.00	2910.00	29.99				
(30, 15)	(30, 45)	163.30	30.00	2,281.00	1840.00	29.99	36.99	Sí		
(30, 15)	(30, 45)	162.70	30.00	2,281.00	1840.00	29.99				
(30, 15)	(30, 45)	163.40	30.00	2,281.00	1840.00	29.97				
(30, 10)	(60, 10)	117.70	30.00	2,281.00	2550.00	30.10	12.67	Sí		
(30, 10)	(60, 10)	117.41	30.00	2,281.00	2550.00	29.99				
(30, 10)	(60, 10)	117.10	30.00	2,281.00	2550.00	30.00				
(10, 25)	(40, 25)	102.60	30.00	2,281.00	2910.00	29.98	0.34	No		
(10, 25)	(40, 25)	102.40	30.00	2,281.00	2910.00	29.99				
(10, 25)	(40, 25)	102.70	30.00	2,281.00	2910.00	30.07				
(30, 25)	(60, 25)	103.10	30.00	2,281.00	2940.00	30.02	0.68	No		
(30, 25)	(60, 25)	12.10	30.00	2,281.00	2940.00	29.99				
(30, 25)	(60, 25)	101.70	30.00	2,281.00	2940.00	30.02				
(10, 35)	(40, 35)	103.70	30.00	2,281.00	2940.00	29.99	0.34	No		
(10, 35)	(40, 35)	103.40	30.00	2,281.00	2920.00	30.10				
(10, 35)	(40, 35)	103.10	30.00	2,281.00	2930.00	30.03				
(30, 35)	(60, 35)	103.80	30.00	2,281.00	2910.00	30.10	0.34	No		
(30, 35)	(60, 35)	104.00	30.00	2,281.00	2910.00	30.10				
(30, 35)	(60, 35)	103.60	30.00	2,281.00	2910.00	30.10				

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30 cm es de

2920.00

La evaluación del Patrón 1 diseñado con una simulación de pavimento rígido de 40 x 30 x 20 cm, sin presencia de defectología inducida y sin refuerzo se presenta en los resultados obtenidos por medio del ultrasonido

**CUADRO 9. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 1 UTILIZANDO PALPADORES DE 55 KHz**

No. de análisis: 1		No. de elemento: 1		PATRÓN 1					
Ganancia: 40		Frecuencia (KHz): 55		Evaluación-Ultrasonido					Descripción
Coordenadas ( $\pm 0,1$ cm)		Tiempo de vuelo ( $\pm 0,1$ $\mu$ s)	Distancia entre palpadores ( $\pm 0,1$ cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad ( $\pm 0.01$ m/s)	Longitud medida por el equipo ( $\pm 0.01$ cm)	Variación de la velocidad ( $\pm 0.01$ %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(5, 3.5)	(35, 3.5)	158.60	30.00	2,281.00	1,880.00	30.05	0.00	No	
(5, 3.5)	(35, 3.5)	158.60	30.00	2,281.00	1,880.00	30.04		No	
(5, 3.5)	(35, 3.5)	158.60	30.00	2,281.00	1,880.00	30.02		No	
(5, 15)	(35, 15)	189.60	30.00	2,281.00	1,390.00	30.01	26.06	Sí	
(5, 15)	(35, 15)	189.50	30.00	2,281.00	1,390.00	30.01		Sí	
(5, 15)	(35, 15)	189.70	30.00	2,281.00	1,390.00	29.98		Sí	
(5, 26.5)	(35, 26.5)	155.90	30.00	2,281.00	1,260.00	30.03	32.98	Sí	
(5, 26.5)	(35, 26.5)	156.00	30.00	2,281.00	1,260.00	30.01		Sí	
(5, 26.5)	(35, 26.5)	169.00	30.00	2,281.00	1,260.00	30.02		Sí	
(20, 5)	(20, 25)	75.60	20.00	2,281.00	2,660.00	20.03	0.00	No	
(20, 5)	(20, 25)	75.40	20.00	2,281.00	2,650.00	20.08		No	
(20, 5)	(20, 25)	75.80	20.00	2,281.00	2,660.00	20.14		No	
(3.5, 5)	(3.5, 25)	72.60	20.00	2,281.00	2,270.00	20.05	14.55	Sí	
(3.5, 5)	(3.5, 25)	72.70	20.00	2,281.00	2,270.00	20.05		Sí	
(3.5, 5)	(3.5, 25)	72.80	20.00	2,281.00	2,270.00	20.05		Sí	
(36.5, 5)	(36.5, 25)	93.10	20.00	2,281.00	2,150.00	20.05	19.07	Sí	
(36.5, 5)	(36.5, 25)	93.20	20.00	2,281.00	2,150.00	20.07		Sí	
(36.5, 5)	(36.5, 25)	93.50	20.00	2,281.00	2,150.00	20.07		Sí	

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30 cm es de

1,880

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 20 cm es de

2,656.67

**La evaluación del patrón 2 diseñado como**  
 Losa de 40 x 30 x 20 cm, sin presencia de defectología inducida y con refuerzo, se muestra en los datos tomados por el ultrasonido.

<b>CUADRO 10. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 2 UTILIZANDO PALPADORES DE 55 KHz</b>										
No. de análisis: 2		No. de elemento: 2		PATRÓN 2						
Ganancia: 40		Frecuencia (KHz): 55		Evaluación-Ultrasonido					Descripción	
Coordenadas ( $\pm 0,1$ cm)		Tiempo de vuelo ( $\pm 0,1 \mu s$ )	Distancia entre palpadores ( $\pm 0,1$ cm)	Densidad (Kg/ m <sup>3</sup> )	Velocidad ( $\pm 0,01$ m/s)	Longitud medida por el equipo ( $\pm 0,01$ cm)	Variación de la velocidad ( $\pm 0,01$ %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada	
R	T									
(5, 7.5)	(35, 7.5)	157.80	30.00	2,281.00	1,900.00	30.02	3.54	No		
(5, 7.5)	(35, 7.5)	157.90	30.00	2,281.00	1,900.00	30.01				
(5, 7.5)	(35, 7.5)	157.70	30.00	2,281.00	1,900.00	30.00				
(5, 19)	(35, 19)	172.70	30.00	2,281.00	1,770.00	30.01	3.54	No		
(5, 19)	(35, 19)	172.40	30.00	2,281.00	1,770.00	30.00				
(5, 19)	(35, 19)	172.50	30.00	2,281.00	1,770.00	30.00				
(10, 3.5)	(30, 3.5)	46.40	20.00	2,281.00	4,300.00	19.90	0.60	No		
(10, 3.5)	(30, 3.5)	46.30	20.00	2,281.00	4,300.00	19.90				
(10, 3.5)	(30, 3.5)	46.30	20.00	2,281.00	4,300.00	19.90				
(10,25)	(30, 25)	46.20	20.00	2,281.00	4,330.00	20.00	1.31	No		
(10,25)	(30, 25)	46.20	20.00	2,281.00	4,330.00	20.00				
(10,25)	(30, 25)	46.20	20.00	2,281.00	4,330.00	20.00				
(12, 5)	(12, 25)	47.30	20.00	2,281.00	4,240.00	20.00	0.80	No		
(12, 5)	(12, 25)	47.40	20.00	2,281.00	4,240.00	20.00				
(12, 5)	(12, 25)	47.30	20.00	2,281.00	4,240.00	20.00				
(20, 5)	(20, 25)	66.90	20.00	2,281.00	3,000.00	20.00	29.81	Sí		
(20, 5)	(20, 25)	66.80	20.00	2,281.00	3,000.00	20.00				
(20, 5)	(20, 25)	66.80	20.00	2,281.00	3,000.00	20.00				
(30, 5)	(30, 25)	47.40	20.00	2,281.00	4,220.00	20.04	1.11	No		
(30, 5)	(30, 25)	47.30	20.00	2,281.00	4,230.00	20.02				
(30, 5)	(30, 25)	47.40	20.00	2,281.00	4,230.00	20.02				

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30 cm es de 1,835.00

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 20 cm es de 4,274.17

**La evaluación del patrón 3 diseñado como**  
 Losa de 50 x 35 x 20 cm, sin presencia de defectología inducida y sin refuerzo, se muestran en los datos obtenidos por el ultrasonido.

<b>CUADRO 11. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 3 UTILIZANDO PALPADORES DE 55 KHz</b>									
No. de análisis: 3		No. de elemento: 3		PATRÓN 3					
Ganancia: 40		Frecuencia (KHz): 55		Evaluación-Ultrasonido					Descripción
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1 μs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01 m/s)	Longitud medida por el equipo (± 0.01 cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(10, 3.5)	(40, 3.5)	142.50	30.00	2,281.00	2,116.00	29.99	0.89	Sí	
(10, 3.5)	(40, 3.5)	142.30	30.00	2,281.00	2,110.00	29.97			
(10, 3.5)	(40, 3.5)	142.30	30.00	2,281.00	2,110.00	30.01			
(10, 17.5)	(40, 17.5)	140.20	30.00	2,281.00	2,150.00	30.09	0.89	Sí	
(10, 17.5)	(40, 17.5)	139.90	30.00	2,281.00	2,150.00	30.02			
(10, 17.5)	(40, 17.5)	139.50	30.00	2,281.00	2,150.00	30.10			
(10, 31.5)	(40, 31.5)	109.00	30.00	2,281.00	2,800.00	30.01	31.39	No	
(10, 31.5)	(40, 31.5)	109.00	30.00	2,281.00	2,800.00	30.01			
(10, 31.5)	(40, 31.5)	109.00	30.00	2,281.00	2,800.00	30.03			
(10, 9.5)	(40, 9.5)	216.20	30.00	2,281.00	1,390.00	30.02	34.77	Sí	
(10, 9.5)	(40, 9.5)	216.20	30.00	2,281.00	1,390.00	30.03			
(10, 9.5)	(40, 9.5)	216.50	30.00	2,281.00	1,390.00	30.06			
(10, 2)	(10, 32)	103.40	30.00	2,281.00	2,950.00	29.74	38.43	Sí	
(10, 2)	(10, 32)	103.50	30.00	2,281.00	2,950.00	29.92			
(10, 2)	(10, 32)	102.70	30.00	2,281.00	2,950.00	30.04			
(25, 2)	(25, 32)	111.40	30.00	2,281.00	2,690.00	29.96	26.54	No	
(25, 2)	(25, 32)	110.90	30.00	2,281.00	2,700.00	29.90			
(25, 2)	(25, 32)	111.70	30.00	2,281.00	2,700.00	30.04			
(40, 2)	(40, 32)	120.10	30.00	2,281.00	2,530.00	30.07	18.57	Sí	
(40, 2)	(40, 32)	120.60	30.00	2,281.00	2,530.00	30.03			
(40, 2)	(40, 32)	120.00	30.00	2,281.00	2,520.00	30.02			
(10, 10)	(40, 10)	110.00	30.00	2,281.00	2,750.00	30.06	29.05	No	
(10, 10)	(40, 10)	109.00	30.00	2,281.00	2,750.00	30.06			
(10, 10)	(40, 10)	110.00	30.00	2,281.00	2,750.00	30.04			
(10, 25)	(40, 25)	109.00	30.00	2,281.00	2,760.00	30.00	29.52	No	
(10, 25)	(40, 25)	108.80	30.00	2,281.00	2,760.00	30.00			
(10, 25)	(40, 25)	108.80	30.00	2,281.00	2,760.00	30.00			

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30 cm es de

2,131.00



La evaluación del patrón 4 diseñado como una Losa de 50 x 35 x 20 cm, con refuerzo y varilla corroída, se muestra en los datos obtenidos por el ultrasonido.

<b>CUADRO 12. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 4 UTILIZANDO PALPADORES DE 55 KHz</b>										
No. de análisis: 4		No. de elemento: 4		PATRÓN 4						
Ganancia: 40		Frecuencia (KHz): 55		Evaluación-Ultrasonido					Descripción	
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1 µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.1 m/s)	Longitud medida por el equipo (± 0.01 cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada	
R	T									
(10, 3.5)	(40, 3.5)	143.90	30.00	2,281.00	2,100.00	29.97	1.41	No		
(10, 3.5)	(40, 3.5)	143.30	30.00	2,281.00	2,100.00	29.99				
(10, 3.5)	(40, 3.5)	143.20	30.00	2,281.00	2,100.00	30.03				
(10, 17.5)	(40, 17.5)	139.40	30.00	2,281.00	2,140.00	30.00	0.63	No		
(10, 17.5)	(40, 17.5)	139.40	30.00	2,281.00	2,150.00	29.99				
(10, 17.5)	(40, 17.5)	139.20	30.00	2,281.00	2,140.00	29.96				
(10, 31.5)	(40, 31.5)	139.20	30.00	2,281.00	2,140.00	30.03	0.78	No		
(10, 31.5)	(40, 31.5)	139.60	30.00	2,281.00	2,150.00	29.92				
(10, 31.5)	(40, 31.5)	139.80	30.00	2,281.00	2,150.00	30.01				
(10, 2)	(10, 32)	102.00	30.00	2,281.00	2,960.00	30.02	38.18	Si		
(10, 2)	(10, 32)	102.30	30.00	2,281.00	2,920.00	29.94				
(10, 2)	(10, 32)	102.50	30.00	2,281.00	2,950.00	30.01				
(25, 2)	(25, 32)	101.20	30.00	2,281.00	2,960.00	30.10	38.65	Si		
(25, 2)	(25, 32)	101.90	30.00	2,281.00	2,960.00	30.08				
(25, 2)	(25, 32)	101.40	30.00	2,281.00	2,940.00	30.05				
(40, 2)	(40, 32)	122.40	30.00	2,281.00	2,450.00	29.99	15.02	Si		
(40, 2)	(40, 32)	122.50	30.00	2,281.00	2,450.00	29.96				
(40, 2)	(40, 32)	122.00	30.00	2,281.00	2,450.00	30.01				

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30 cm es de

2,130.00

La evaluación del patrón 6 su diseño losa de 100 x 70 x 20 cm, con presencia de defectología inducida y con refuerzo de 3/8 de pulgada sin corrosión. La defectología mostrada consta de un tubo de PVC de 30 cm de longitud y 1 cúmulo de segregación consta de un vacío transversal de 35 cm de longitud y 1 cúmulo de segregación. Se muestran los resultados de la evaluación por medio del ultrasonido.

<b>CUADRO 14. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 6 UTILIZANDO PALPADORES DE 55 KHz</b>										
No. de análisis:		No. de elemento:		PATRÓN 6						
Ganancia: 40		Frecuencia (KHz): 55		Evaluación-Ultrasonido					Descripción	
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1 µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01 m/s)	Longitud medida por el equipo (± 0.01 cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada	
R	T									
(65,65)	(95,65)	88.10	30.00	2,281.00	3,400.00	29.96	1.96	No		
(65,35)	(95,35)	91.40	30.00	2,281.00	3,290.00	29.95	1.34	No		
(65,5)	(95,5)	123.20	30.00	2,281.00	2,440.00	30.05	26.83	Sí		
(65,65)	(35,65)	88.90	30.00	2,281.00	3,380.00	29.02	1.36	No		
(65,65)	(35,65)	87.90	30.00	2,281.00	3,420.00	30.00	2.56	No		
(5,65)	(35,65)	90.90	30.00	2,281.00	3,310.00	30.00	0.74	No		
(35,35)	(65,35)	87.70	30.00	2,281.00	3,430.00	29.98	2.86	No		
(35,5)	(65,5)	88.10	30.00	2,281.00	3,410.00	29.98	2.26	No		
(5,5)	(35,5)	88.70	30.00	2,281.00	3,380.00	29.95	1.36	No		
(35,5)	(35,35)	89.80	30.00	2,281.00	3,340.00	29.94	0.16	No		
(5,5)	(5,35)	87.20	30.00	2,281.00	3,440.00	29.93	3.16	No		
(5,35)	(5,65)	95.30	30.00	2,281.00	3,170.00	29.95	4.93	No		
(35,5)	(35,35)	88.90	30.00	2,281.00	3,390.00	29.97	1.66	No		
(35,35)	(35,65)	90.90	30.00	2,281.00	3,310.00	30.03	0.74	No		
(65,5)	(65,35)	89.90	30.00	2,281.00	3,340.00	30.00	0.16	No		
(65,35)	(65,65)	86.50	30.00	2,281.00	3,470.00	29.98	4.06	No		
(95,5)	(95,35)	92.60	30.00	2,281.00	3,250.00	29.98	2.54	No		
(95,35)	(95,65)	91.00	30.00	2,281.00	3,290.00	30.45	1.34	No		

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30.00 cm es de 3,334.55

La evaluación del patrón 7 su diseño de Losa de 100 x 70 x 15 cm, con defectología inducida y sin refuerzo. Presenta una serie incisiones cortantes transversales y diagonales simulando el comportamiento de grietas. Los datos obtenidos por el ultrasonido se muestran en la evaluación

<b>CUADRO 15. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 7 UTILIZANDO PALPADORES DE 55 KHZ</b>									
No. de análisis:		No. de elemento:		PATRÓN 7					Descripción
Ganancia: 1		Frecuencia (KHz): 24		Evaluación-Ultrasonido					
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1 µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01 m/s)	Longitud medida por el equipo (± 0.01 cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(10,10)	(30,10)	60.80	20.00	2,281.00	3,300.00	20.02	0.68	No	
(10,30)	(30,30)	61.00	20.00	2,281.00	3,270.00	19.97	1.58	No	
(30,30)	(30,10)	61.20	20.00	2,281.00	3,270.00	19.97	1.58	No	

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30.00 cm es de 3,280.00

Dado que la variación es superior a un 10% se concluye que en este punto de análisis se presenta una discontinuidad del material, este corresponde a la presencia de la segregación característica del patrón

Si supera una variación de 5% se considera que existe la presencia de una discontinuidad, esto basado en el estándar de error científico para repetitividad de experimentos.

<b>CUADRO 16. EVALUACIÓN DE PALPADORES DE 24 KHz A GANANCIA 1</b>									
No. de análisis: 8		No. de elemento:		PATRÓNES 1,2,3,4,5,6,7					Descripción
Ganancia: 1		Frecuencia (KHz): 24		Evaluación-Ultrasonido					
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1 µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01 m/s)	Longitud medida por el equipo (± 0.01 cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(35,15)	(5,15)	122.20	30.00	2,281.00	2,460.00	29.98			
(5,15)	(35,15)	143.70	30.00	2,281.00	2,090.00	29.97			
(10,17.5)	(40,17.5)	214.10	30.00	2,281.00	1,410.00	30.04			
(40,17.5)	(10,17.5)	144.90	30.00	2,281.00	2,070.00	29.93			
(20,25)	(50,25)	145.20	30.00	2,281.00	2,070.00	30.04			
(35,35)	(65,35)	147.30	30.00	2,281.00	2,040.00	30.02			
(65,35)	(35,35)	158.20	30.00	2,281.00	1,900.00	30.02			

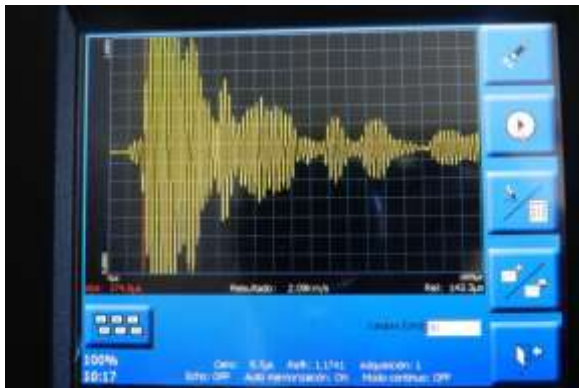
La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30 cm es de 2,005.71



**Figura 57:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 1 en los puntos (35, 5) y (5,15). Zona de material uniforme.



**Figura 60:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 4 en los puntos (40,17.5) y (40,17.5). Zona de material uniforme.



**Figura 58:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (5,15) y (35,15). Zona de material uniforme.



**Figura 61:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (35,35) y (65,35). Zona de material uniforme.



**Figura 59:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 3 en los puntos (10,17.5) y (30,17.5). Zona de material uniforme.



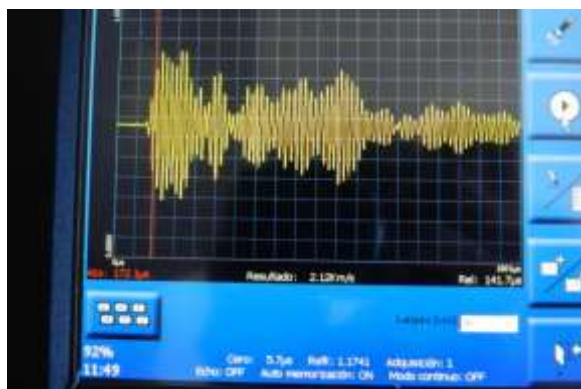
**Figura 62:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 7 en los puntos (65,35) y (65,35). Zona de material con presencia de defectología inducida correspondiente a la simulación de grietas.

### CUADRO 17. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 1 UTILIZANDO PALPADORES DE 24 KHz

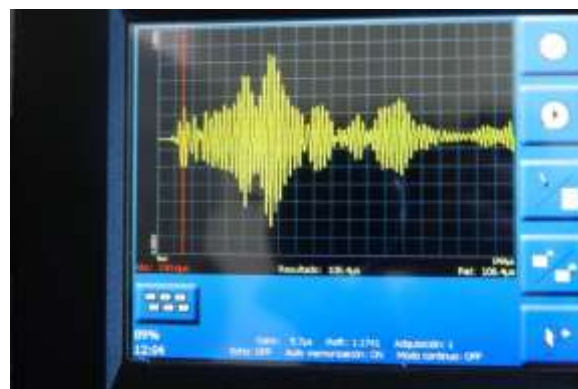
No. de análisis: 9		No. de elemento:		PATRÓN 1					
Ganancia: 1		Frecuencia (KHz): 24		Evaluación-Ultrasonido					Descripción
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (± 0.01cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(5,5)	(35,5)	141.80	30.00	2,281.00	2,120.00	30.02	0.93	No	
(5,25)	(35,25)	138.90	30.00	2,281.00	2,160.00	29.98	0.93	No	
(5,5)	(5,25)	83.70	20.00	2,281.00	2,390.00	19.95	0.00	No	
(35,5)	(35,25)	325.80	20.00	2,281.00	1,064.00	20.00	55.48	Sí	

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30 cm es de 2,140.00

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 20 cm es de 2,390.00



**Figura 63:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 1 en los puntos (5,5) y (35,5). Zona de material uniforme.



**Figura 64:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 1 en los puntos (35, 5) y (35, 25). Zona de material con presencia de defectología.

## CUADRO 18. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 2 UTILIZANDO PALPADORES DE 24 KHZ

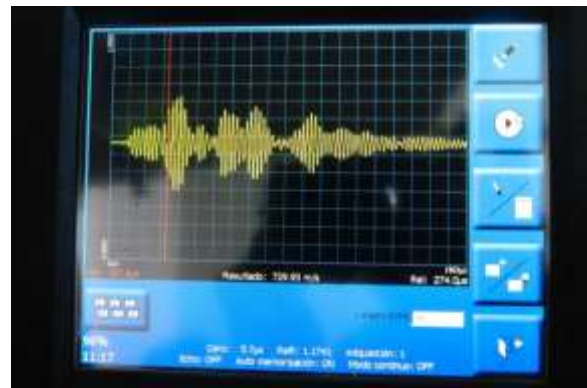
No. de análisis: 10		No. de elemento:		PATRÓN 2					
Ganancia: 1		Frecuencia (KHz): 24		Evaluación-Ultrasonido					Descripción
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1 µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (±0.01 cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(5,5)	(5,25)	112.40	20.00	2,281.00	1,780.00	20.01	23.11	Sí	
(10,5)	(10,25)	103.60	20.00	2,281.00	2,280.00	19.98	1.51	No	
(30,5)	(30,25)	84.30	20.00	2,281.00	2,360.00	19.96	1.94	No	
(35,5)	(35,25)	292.40	20.00	2,281.00	729.93	20.00	68.47	Sí	
(5,5)	(35,5)	233.80	30.00	2,281.00	1,280.00	29.90	14.55	Sí	
(10,5)	(30,5)	85.70	20.00	2,281.00	2,340.00	19.93	1.08	No	
(10,25)	(30,25)	105.50	20.00	2,281.00	1,900.00	20.01	17.93	Sí	
(5,25)	(35,25)	314.50	30.00	2,281.00	954.80	30.00	14.55	Sí	

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30 cm es de 1,117.40

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 20 cm es de 2,315.00



**Figura 65:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (5,5) y (5,25). Zona de material uniforme.



**Figura 66:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (35, 5) y (35, 25). Zona con presencia de refuerzo de acero longitudinal a los palpadores.

## CUADRO 19. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 3 UTILIZANDO PALPADORES DE 24 KHz

No. de análisis: 12		No. de elemento:		PATRÓN 3					
Ganancia: 1		Frecuencia (KHz): 24		Evaluación-Ultrasonido					Descripción
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (±0,1µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (±0.01cm)	Variación de la velocidad (± 0.01%)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(10, 2.5)	(10, 32.5)	143.30	30.00	2,281.00	2,090.00	29.95	1.21	No	
(40, 2.5)	(40, 32.5)	142.00	30.00	2,281.00	2,110.00	29.95	2.18	No	
(10, 2.5)	(40, 2.5)	149.10	30.00	2,281.00	2,010.00	29.95	2.66	No	
(10, 32.5)	(40, 32.5)	146.50	30.00	2,281.00	2,050.00	29.96	0.73	No	

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30 cm es de

2,065.00



**Figura 67:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 3 en los puntos (40,2.5) y (40,32.5). Zona de material uniforme.



**Figura 68:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 3 en los puntos (10,2.5) y (40,2.5). Zona de con comportamiento de onda influenciado por defectología, mas esta no aparece según la variación de la velocidad.

## CUADRO 20. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 4 UTILIZANDO PALPADORES DE 24 KHz

No. de análisis: 13		No. de elemento:		PATRÓN 4					
Ganancia: 1		Frecuencia (KHz): 24		Evaluación-Ultrasonido					Descripción
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (±0,1µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1cm)	Densidad (Kg/m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (±0.01cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(10, 2.5)	(40, 2.5)	148.20	30.00	2,281.00	2020.00	29.96	3.81	No	
(10, 32.5)	(40, 32.5)	127.30	30.00	2,281.00	2360.00	29.98	12.38	Sí	
(10, 2.5)	(10, 32.5)	140.80	30.00	2,281.00	2130.00	29.98	1.43	No	
(40, 2.5)	(40, 32.5)	139.50	30.00	2,281.00	2150.00	29.97	2.38	No	

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30 cm es de

2100.00



**Figura 69:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 4 en los puntos (10, 32.5) y (40, 32.5). Zona de con presencia de defectología.



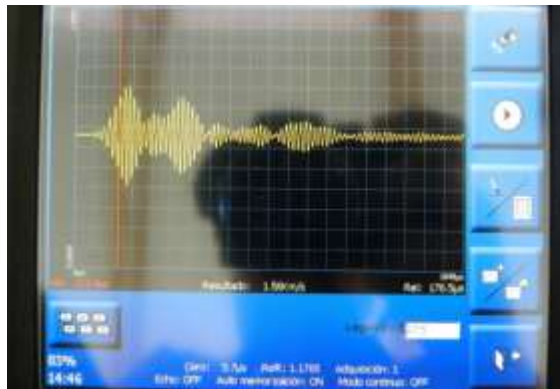
**Figura 70:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 4 en los puntos (10,2.5) y (10,32.5). Zona de material uniforme.



## CUADRO 21. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 5 UTILIZANDO PALPADORES DE 24 KHz

No. de análisis: 14		No. de elemento:		PATRÓN 5					
Ganancia: 1		Frecuencia (KHz): 24		Evaluación-Ultrasonido					Descripción
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (±0,1µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (±0.01cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(5,10)	(5,40)	455.1	30	2,281.00	659.35	30.00	66.1	Si	
(35,10)	(35,40)	148.1	30	2,281.00	2,030.00	30.00	4.3	No	
(62.5,10)	(62.5,40)	169.8	30	2,281.00	1,770.00	30.00	9.0	Si	
(62.5,40)	(35,40)	139.9	30	2,281.00	2,000.00	30.00	2.8	No	
(65,10)	(35,10)	176.6	30	2,281.00	1,560.00	27.47	19.8	Sí	
(5,10)	(35,10)	161.9	30	2,281.00	1,860.00	30.03	4.4	No	
(5,40)	(35,40)	145.3	30	2,281.00	2,070.00	29.99	6.4	Sí	

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30 cm es de 1,946.00



**Figura 71:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 5 en los puntos (65,10) y (35, 10). Zona de material con presencia de defectología inducida correspondiente a la segregación.

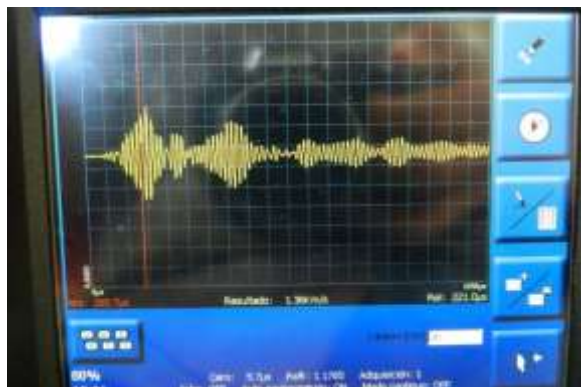


**Figura 72:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 5 en los puntos (62.5, 40) y (35, 40). Zona de material uniforme.

## CUADRO 22. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 6 UTILIZANDO PALPADORES DE 24 KHZ

No. de análisis: 15		No. de elemento:		PATRÓN 6					
Ganancia: 1		Frecuencia (KHz): 24		Evaluación-Ultrasonido					Descripción
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (±0,1µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (±0.01cm)	Variación de la velocidad (± 0.01%)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(5,5)	(35,5)	240.00	30.00	2,281.00	1360.00	30.03	34.15	Sí	
(5,50)	(35,50)	143.00	30.00	2,281.00	2090.00	29.91	1.19	No	
(5,65)	(35,65)	149.90	30.00	2,281.00	2010.00	30.00	2.68	No	
(65,5)	(35,5)	145.40	30.00	2,281.00	2060.00	29.92	0.26	No	
(35,35)	(65,35)	172.10	30.00	2,281.00	1750.00	30.00	15.27	Sí	
(35,65)	(65,65)	148.50	30.00	2,281.00	2020.00	30.01	2.20	No	
(65,65)	(95,65)	251.90	30.00	2,281.00	1200.00	30.01	41.90	Sí	
(65,35)	(95,35)	146.80	30.00	2,281.00	2050.00	30.05	0.75	No	
(65,5)	(95,5)	240.60	30.00	2,281.00	1250.00	30.05	39.48	Sí	
(95,35)	(95,5)	172.80	30.00	2,281.00	1740.00	30.05	15.76	Sí	
(95,35)	(95,65)	146.10	30.00	2,281.00	2050.00	29.98	0.75	No	
(65,35)	(65,65)	141.70	30.00	2,281.00	2120.00	30.03	2.64	No	
(65,35)	(65,5)	145.70	30.00	2,281.00	2060.00	29.98	0.26	No	
(35,35)	(35,5)	141.70	30.00	2,281.00	2120.00	29.99	2.64	No	
(35,35)	(35,65)	147.80	30.00	2,281.00	2030.00	29.95	1.72	No	
(5,35)	(5,65)	165.50	30.00	2,281.00	1820.00	30.04	11.88	Sí	
(5,35)	(5,5)	142.30	30.00	2,281.00	2110.00	29.98	2.16	No	

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30.00 cm es de 2065.45



**Figura 73:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (5, 5) y (35, 5). Zona de material con presencia de defectología.



**Figura 74:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (5, 50) y (35, .50). Zona de material uniforme (Ver Apéndice 5)).

### CUADRO 23. EVALUACIÓN DEL PATRÓN 7 UTILIZANDO PALPADORES DE 24 KHz

No. de análisis: 16		No. de elemento:		PATRÓN 7					
Ganancia: 1		Frecuencia (KHz): 24		Evaluación-Ultrasonido				Descripción	
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (±0,1µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (± 0.01cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(40,10)	(10,10)	455.10	30.00	2,281.00	2070.00	30.00	67.52	Sí	
(40,10)	(40,40)	148.10	30.00	2,281.00	2030.00	30.00	0.00	No	
(10,40)	(40,40)	169.80	30.00	2,281.00	2110.00	30.00	12.81	Sí	

La velocidad promedio de los puntos de análisis a distancias de 30.00 cm es de

2070.00

**CUADRO 24. COMPORTAMIENTO DE LA RESPUESTA DEL EQUIPO SOBRE EL PATRÓN 6 A DIFERENTES DISTANCIAS ENTRE PALPADORES CON FRECUENCIA DE 24 KHz Y GANANCIA 1**

No. de análisis: 15		No. de elemento: 6		PATRÓN 6					
Ganancia: 1		Frecuencia (KHz): 24		Evaluación-Ultrasonido					Descripción
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (± 0.01cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(10,50)	(5,50)	23.90	5.00	2,281.06	2100.00	4.99			
(15,50)	(5,50)	45.50	10.00	2,281.06	2200.00	9.98			
(20,50)	(5,50)	66.50	15.00	2,281.06	2260.00	14.98			
(25,50)	(5,50)	88.20	20.00	2,281.06	2280.00	20.00			
(30,50)	(5,50)	122.90	25.00	2,281.06	2040.00	25.03			
(35,50)	(5,50)	147.90	30.00	2,281.06	2070.00	29.98			
(40,50)	(5,50)	164.60	35.00	2,281.06	2130.00	34.95			
(45,50)	(5,50)	185.00	40.00	2,281.06	2160.00	40.00			
(50,50)	(5,50)	205.40	45.00	2,281.06	2190.00	44.99			
(55,50)	(5,50)	271.40	50.00	2,281.06	1840.00	49.95			
(60,50)	(5,50)	248.10	55.00	2,281.06	2230.00	55.04			
(65,50)	(5,50)	474.40	60.00	2,281.06	1260.00	59.97			
(70,50)	(5,50)	309.70	65.00	2,281.06	2100.00	64.96			
(75,50)	(5,50)	-	70.00	2,281.06	-	-			
(80,50)	(5,50)	-	75.00	2,281.06	-	-			
(85,50)	(5,50)	-	80.00	2,281.06	-	-			
(90,50)	(5,50)	453.30	85.00	2,281.06	1880.00	85.04			
(95,50)	(5,50)	449.60	90.00	2,281.06	2100.00	89.97			

La velocidad promedio del concreto uniforme es este cuadro es de:

2155.00

**CUADRO 25. COMPORTAMIENTO DE LA RESPUESTA DEL EQUIPO SOBRE EL PATRÓN 6 A DIFERENTES DISTANCIAS ENTRE PALPADORES CON FRECUENCIA DE 24 KHz Y GANANCIA 40**

No. de análisis: 16		No. de elemento: 6		PATRON 6					
Ganancia: 40		Frecuencia (KHz): 24		Evaluación-Ultrasonido					Descripción
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (± 0.01cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(10,50)	(5,50)	10.80	5.00	2,281.00	4740.00	4.95			
(15,50)	(5,50)	23.90	10.00	2,281.00	4200.00	10.01			
(20,50)	(5,50)	37.20	15.00	2,281.00	4050.00	15.03			
(25,50)	(5,50)	50.60	20.00	2,281.00	3970.00	19.97			
(30,50)	(5,50)	79.20	25.00	2,281.00	3160.00	25.00			
(35,50)	(5,50)	91.70	30.00	2,281.00	3270.00	29.98			
(40,50)	(5,50)	103.80	35.00	2,281.00	3370.00	34.97			
(45,50)	(5,50)	117.50	40.00	2,281.00	3400.00	40.00			
(50,50)	(5,50)	131.10	45.00	2,281.00	3430.00	45.05			
(55,50)	(5,50)	143.40	50.00	2,281.00	3490.00	50.05			
(60,50)	(5,50)	157.00	55.00	2,281.00	3510.00	54.96			
(65,50)	(5,50)	169.90	60.00	2,281.00	3530.00	59.97			
(70,50)	(5,50)	181.20	65.00	2,281.00	3590.00	64.99			
(75,50)	(5,50)	196.00	70.00	2,281.00	3570.00	69.99			
(80,50)	(5,50)	209.70	75.00	2,281.00	3580.00	74.98			
(85,50)	(5,50)	223.60	80.00	2,281.00	3590.00	80.05			
(90,50)	(5,50)	234.30	85.00	2,281.00	3620.00	85.05			
(95,50)	(5,50)	276.30	90.00	2,281.00	3620.00	90.00			

La velocidad promedio del concreto uniforme es este cuadro es de:

3649.44

**CUADRO 26. COMPORTAMIENTO DE LA RESPUESTA DEL EQUIPO SOBRE EL PATRÓN 6 A DIFERENTES DISTANCIAS ENTRE PALPADORES CON FRECUENCIA DE 55 KHz Y GANANCIA 1**

No. de análisis: 17		No. de elemento: 6		PATRON 6					
Ganancia: 1		Frecuencia (KHz): 55		Evaluación-Ultrasonido					Descripción
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (± 0.01cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(10,50)	(5,50)	49.90	5.00	2,281.06	4740.00	4.95			
(15,50)	(5,50)	51.30	10.00	2,281.06	4200.00	10.01			
(20,50)	(5,50)	92.70	15.00	2,281.06	4050.00	15.03			
(25,50)	(5,50)	112.20	20.00	2,281.06	3970.00	19.97			
(30,50)	(5,50)	194.00	25.00	2,281.06	3160.00	25.00			
(35,50)	(5,50)	-	30.00	2,281.06	-	-			
(40,50)	(5,50)	-	35.00	2,281.06	-	-			
(45,50)	(5,50)	-	40.00	2,281.06	-	-			
(50,50)	(5,50)	-	45.00	2,281.06	-	-			
(55,50)	(5,50)	-	50.00	2,281.06	-	-			
(60,50)	(5,50)	-	55.00	2,281.06	-	-			
(65,50)	(5,50)	-	60.00	2,281.06	-	-			
(70,50)	(5,50)	-	65.00	2,281.06	-	-			
(75,50)	(5,50)	-	70.00	2,281.06	-	-			
(80,50)	(5,50)	-	75.00	2,281.06	-	-			
(85,50)	(5,50)	-	80.00	2,281.06	-	-			
(90,50)	(5,50)	-	85.00	2,281.06	-	-			
(95,50)	(5,50)	-	90.00	2,281.06	-	-			

La velocidad promedio del concreto uniforme es este cuadro es de:

4024.00

**CUADRO 27. COMPORTAMIENTO DE LA RESPUESTA DEL EQUIPO SOBRE EL PATRÓN 6 A DIFERENTES DISTANCIAS ENTRE PALPADORES CON FRECUENCIA DE 55 KHz Y GANANCIA 40**

No. de análisis: 18		No. de elemento: 6		PATRON 6					Descripción
Ganancia: 40		Frecuencia (Hz): 55		Evaluación-Ultrasonido					
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (±0.01cm)	Variación de la velocidad (± 0.01%)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(10,50)	(5,50)	8.30	5.00	2,281.06	6170.00	4.99			
(15,50)	(5,50)	22.30	10.00	2,281.06	4480.00	9.95			
(20,50)	(5,50)	35.70	15.00	2,281.06	4230.00	15.05			
(25,50)	(5,50)	60.80	20.00	2,281.06	3290.00	20.00			
(30,50)	(5,50)	76.20	25.00	2,281.06	3280.00	24.96			
(35,50)	(5,50)	87.10	30.00	2,281.06	3450.00	30.01			
(40,50)	(5,50)	100.70	35.00	2,281.06	3480.00	34.97			
(45,50)	(5,50)	114.40	40.00	2,281.06	3500.00	40.00			
(50,50)	(5,50)	129.00	45.00	2,281.06	3480.00	45.05			
(55,50)	(5,50)	141.50	50.00	2,281.06	3540.00	50.02			
(60,50)	(5,50)	154.70	55.00	2,281.06	3570.00	54.97			
(65,50)	(5,50)	195.20	60.00	2,281.06	3080.00	59.97			
(70,50)	(5,50)	209.50	65.00	2,281.06	3100.00	64.95			
(75,50)	(5,50)	225.50	70.00	2,281.06	3110.00	69.99			
(80,50)	(5,50)	235.00	75.00	2,281.06	3190.00	74.95			
(85,50)	(5,50)	288.50	80.00	2,281.06	2770.00	80.05			
(90,50)	(5,50)	258.80	85.00	2,281.06	3290.00	85.04			
(95,50)	(5,50)	268.90	90.00	2,281.06	3350.00	89.96			

La velocidad promedio del concreto uniforme es este cuadro es de:

3622.94

**CUADRO 28. COMPORTAMIENTO DE LA RESPUESTA DEL EQUIPO SOBRE EL PATRÓN 6 A DIFERENTES DISTANCIAS ENTRE PALPADORES CON FRECUENCIA DE 150 KHz Y GANANCIA 1**

No. de análisis: 19		No. de elemento: 6		PATRON 6					Descripción
Ganancia: 1		Frecuencia (KHz): 150		Evaluación-Ultrasonido					
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (±0,1µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (± 0.01cm)	Variación de la velocidad (± 0.01%)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(10,50)	(5,50)	25.50	5.00	2,281.06	1960.00	4.98			
(15,50)	(5,50)	48.80	10.00	2,281.06	2050.00	9.98			
(20,50)	(5,50)	91.90	15.00	2,281.06	1630.00	14.98			
(25,50)	(5,50)	96.40	20.00	2,281.06	2080.00	20.03			
(30,50)	(5,50)	140.90	25.00	2,281.06	1770.00	25.02			
(35,50)	(5,50)	167.50	30.00	2,281.06	1800.00	30.05			
(40,50)	(5,50)	187.40	35.00	2,281.06	1870.00	35.02			
(45,50)	(5,50)	212.90	40.00	2,281.06	1880.00	40.02			
(50,50)	(5,50)	239.30	45.00	2,281.06	1880.00	44.95			
(55,50)	(5,50)	-	50.00	2,281.06	-	-			
(60,50)	(5,50)	-	55.00	2,281.06	-	-			
(65,50)	(5,50)	-	60.00	2,281.06	-	-			
(70,50)	(5,50)	-	65.00	2,281.06	-	-			
(75,50)	(5,50)	-	70.00	2,281.06	-	-			
(80,50)	(5,50)	-	75.00	2,281.06	-	-			
(85,50)	(5,50)	-	80.00	2,281.06	-	-			
(90,50)	(5,50)	-	85.00	2,281.06	-	-			
(95,50)	(5,50)	-	90.00	2,281.06	-	-			

La velocidad promedio del concreto uniforme es este cuadro es de:

1911.25



**CUADRO 29. COMPORTAMIENTO DE LA RESPUESTA DEL EQUIPO SOBRE EL PATRÓN 6 A DIFERENTES DISTANCIAS ENTRE PALPADORES CON FRECUENCIA DE 150 KHz Y GANANCIA 40**

No. de análisis: 20		No. de elemento: 6		PATRON 6					Descripción
Ganancia: 40		Frecuencia (KHz): 150		Evaluación-Ultrasonido					
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1 μs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (±0.01cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
(10,50)	(5,50)	6.00	5.00	2,281.06	8500.00	5.01			
(15,50)	(5,50)	20.20	10.00	2,281.06	4950.00	9.99			
(20,50)	(5,50)	33.10	15.00	2,281.06	4550.00	14.99			
(25,50)	(5,50)	46.30	20.00	2,281.06	4310.00	20.02			
(30,50)	(5,50)	74.70	25.00	2,281.06	3350.00	25.00			
(35,50)	(5,50)	86.30	30.00	2,281.06	3480.00	30.03			
(40,50)	(5,50)	98.80	35.00	2,281.06	3540.00	34.97			
(45,50)	(5,50)	112.80	40.00	2,281.06	3550.00	40.00			
(50,50)	(5,50)	126.30	45.00	2,281.06	3580.00	42.02			
(55,50)	(5,50)	140.10	50.00	2,281.06	3580.00	50.03			
(60,50)	(5,50)	152.00	55.00	2,281.06	3620.00	55.00			
(65,50)	(5,50)	164.30	60.00	2,281.06	3650.00	59.95			
(70,50)	(5,50)	177.70	65.00	2,281.06	3660.00	64.04			
(75,50)	(5,50)	192.50	70.00	2,281.06	3640.00	70.00			
(80,50)	(5,50)	204.70	75.00	2,281.06	3670.00	75.04			
(85,50)	(5,50)	249.60	80.00	2,281.06	3210.00	80.05			
(90,50)	(5,50)	260.50	85.00	2,281.06	3260.00	84.96			
(95,50)	(5,50)	270.70	90.00	2,281.06	3330.00	90.05			

La velocidad promedio del concreto uniforme es este cuadro es de:

3968.33

**CUADRO 30. MEDICIÓN SOBRE EL PUENTE RÍO VIRILLA A UNA DISTANCIA DE 30cm ENTRE PALPADORES.**

No. de análisis: 20		No. de elemento: 8		RECTANGULO ALEATORIO					Descripción
Ganancia: 40		Frecuencia (KHz): 24		Evaluación-Ultrasonido					
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1µs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01m/s)	Longitud medida por el equipo (± 0.01cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
<b>Transversal</b>									
(0,30)	(0,0)	101.70	30.00	-	2950.00	30.01	18.28	Si	
(0,60)	(0,30)	143.80	30.00	-	2100.00	30.01	15.80	Si	
(30,30)	(30,0)	104.40	30.00	-	2890.00	30.01	15.87	Si	
(30,60)	(30,30)	120.70	30.00	-	2500.00	29.99	0.23	No	
(60,30)	(60,0)	128.20	30.00	-	2350.00	30.03	5.78	Si	
(60,60)	(60,30)	90.30	30.00	-	3330.00	29.99	33.51	Si	
<b>Longitudinal</b>									
(0,30)	(0,0)	140.10	30.00	-	2900.00	29.97	16.27	Si	
(0,60)	(0,30)	152.00	30.00	-	1630.00	29.95	34.65	Si	
(30,30)	(30,0)	164.30	30.00	-	1660.00	30.03	33.44	Si	
(30,60)	(30,30)	177.70	30.00	-	3150.00	29.98	26.29	Si	
(60,30)	(60,0)	192.50	30.00	-	2590.00	30.05	3.84	No	
(60,60)	(60,30)	204.70	30.00	-	1880.00	30.01	24.62	Si	

La velocidad promedio del concreto uniforme es este cuadro es de:

2494.17

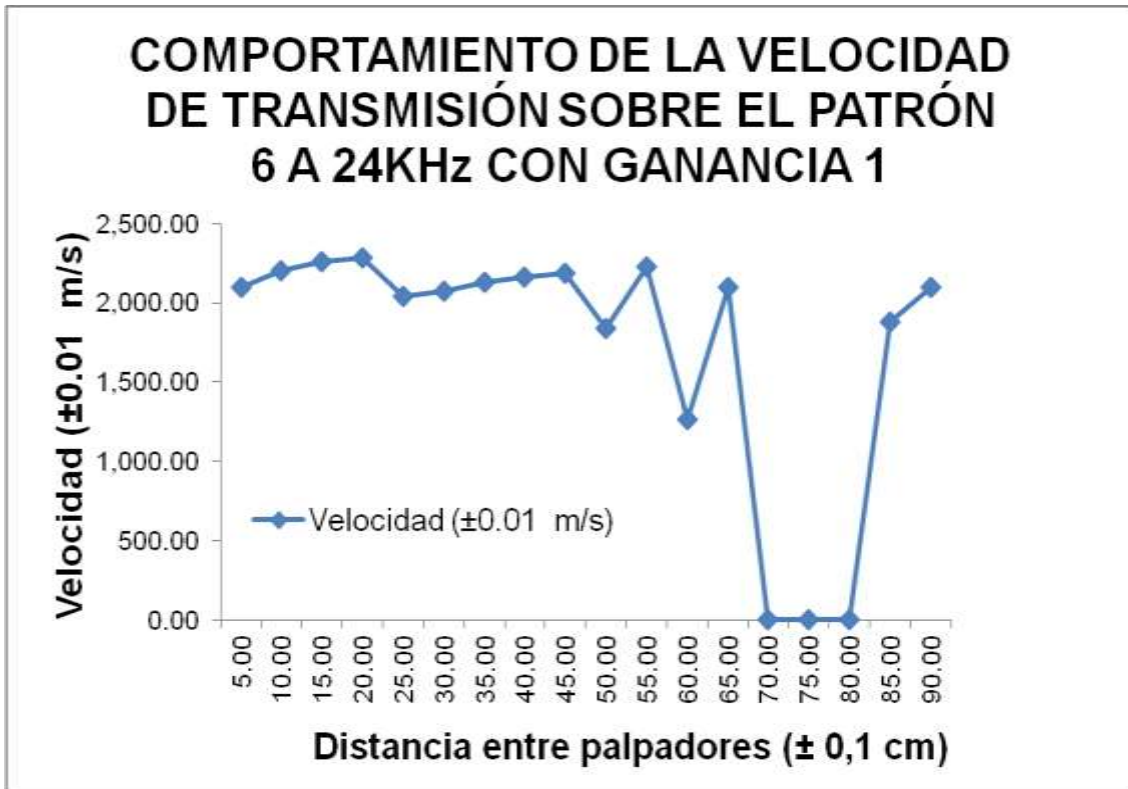


Figura 75: Comportamiento de la velocidad de transmisión sobre el patrón 6 a 24KHz con ganancia 1.

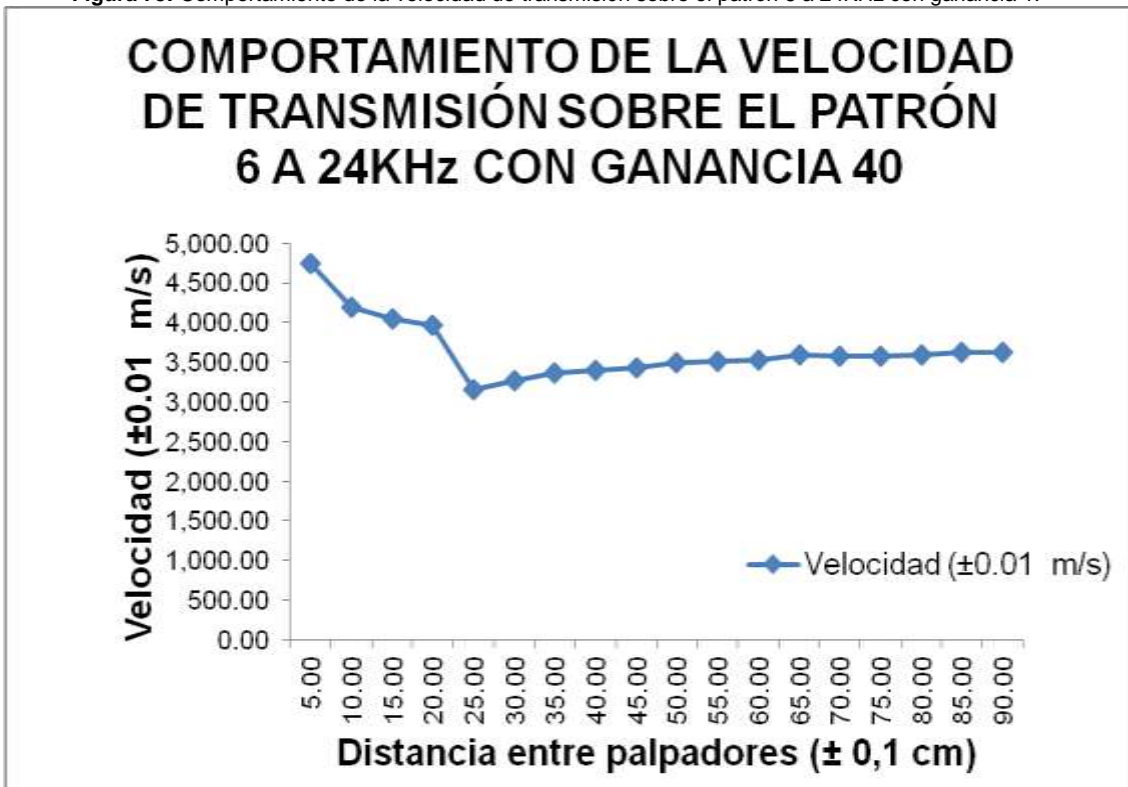


Figura 76: Comportamiento de la velocidad de transmisión sobre el patrón 6 a 24KHz con ganancia 40.

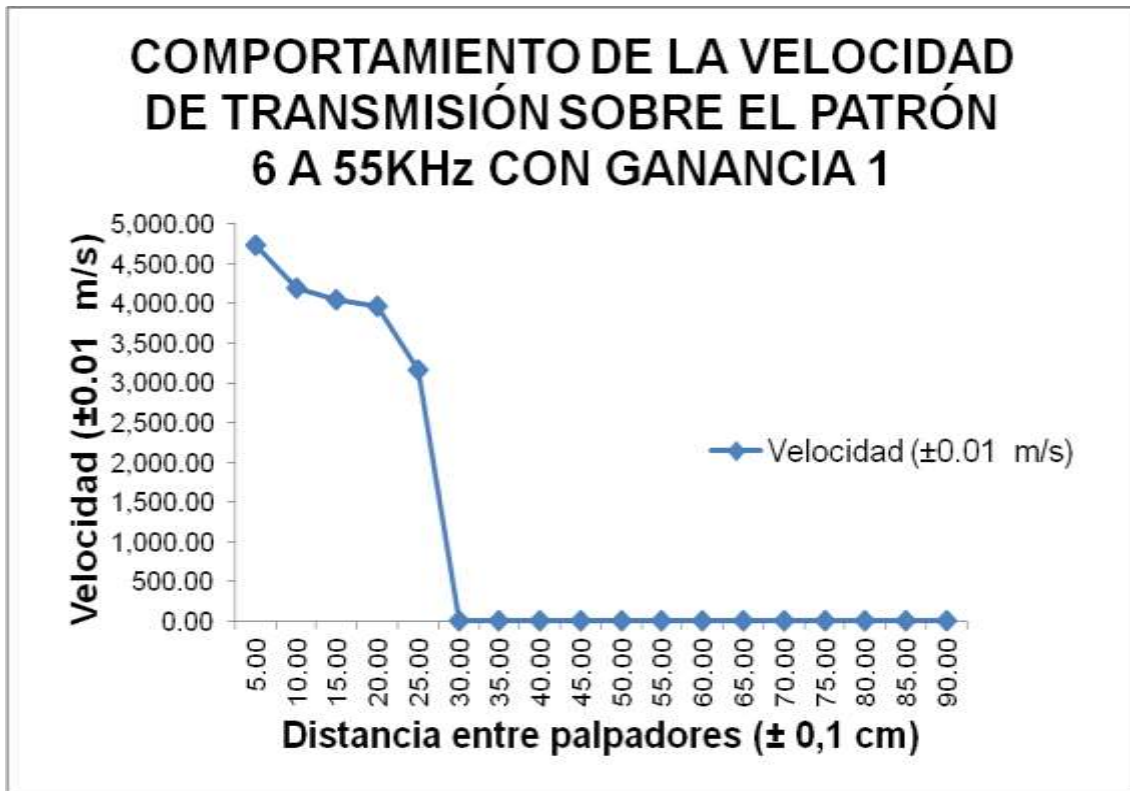


Figura 77: Comportamiento de la velocidad de transmisión sobre el patrón 6 a 55KHz con ganancia 1.

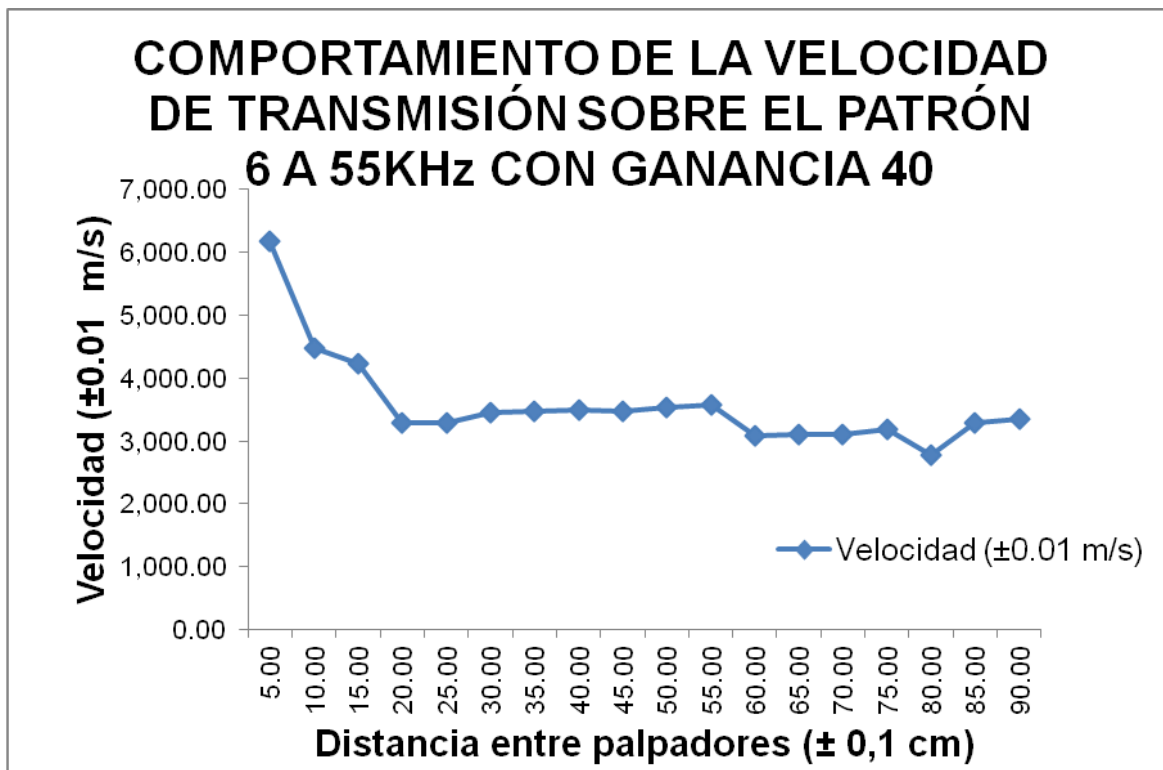


Figura 78: Comportamiento de la velocidad de transmisión sobre el patrón 6 a 55KHz con ganancia 40.

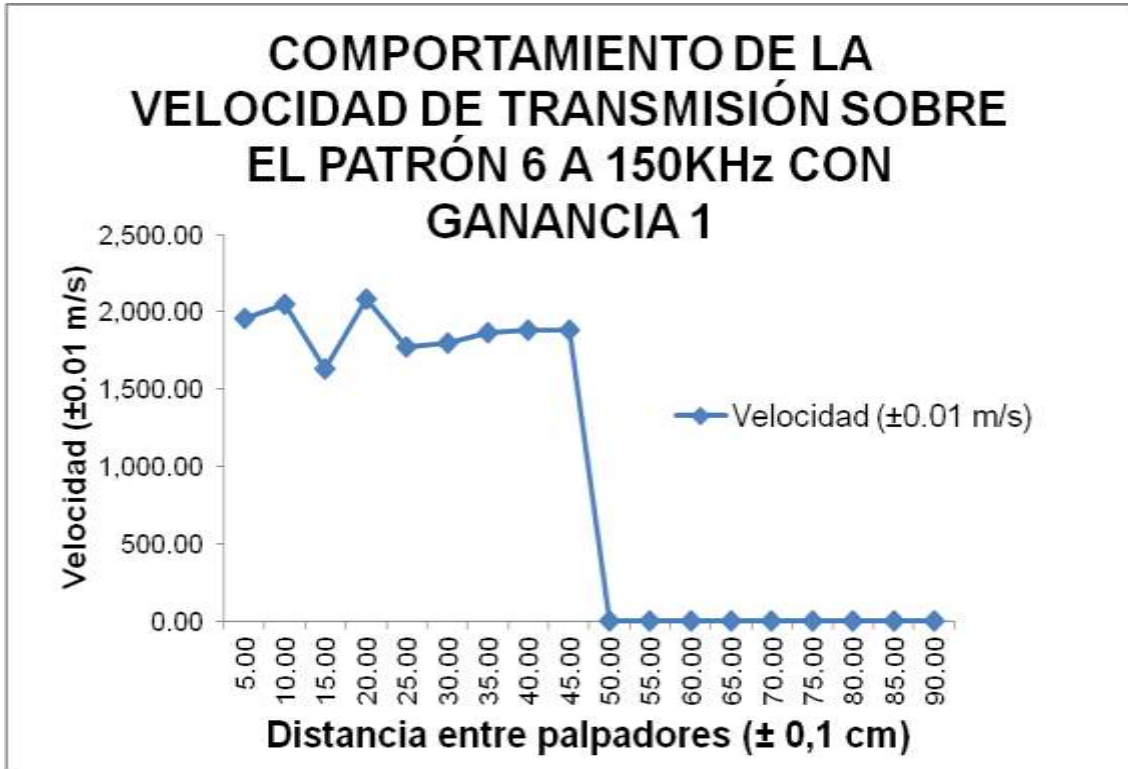
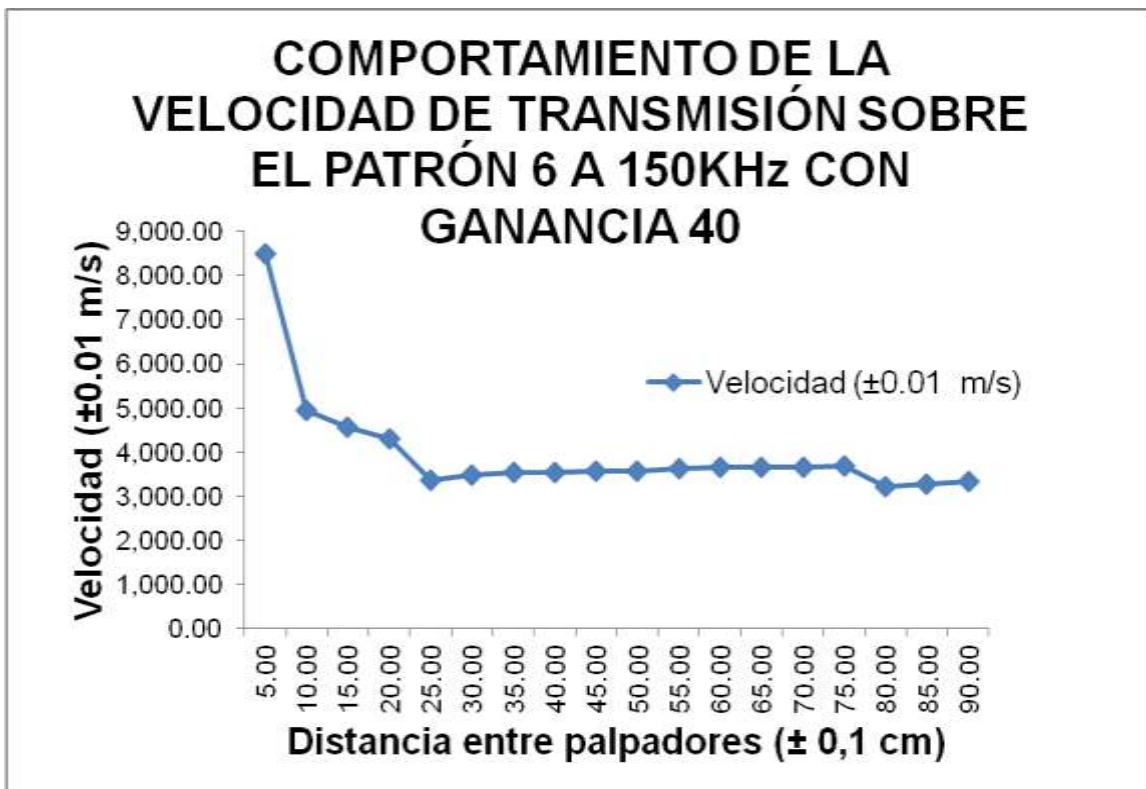


Figura 79: Comportamiento de la velocidad de transmisión sobre el patrón 6 a 150KHz con ganancia 1.



**Figura 80:** Comportamiento de la velocidad de transmisión sobre el patrón 6 a 150KHz con ganancia 40.

Con base en los análisis realizados, los procedimientos y parámetros utilizados a lo largo de las pruebas tanto en laboratorio como en campo y los manuales respectivos de los equipos se formula como un resultado final de la investigación el "Protocolo para la Evaluación de Losas de Concreto y Pavimentos Rígidos mediante el uso del Equipo Ultrasónico" (Ver Apéndice 6.)

# Análisis de los resultados

## Frecuencia y ganancia

La frecuencia y la ganancia definen el funcionamiento del equipo de ultrasonido para poder iniciar la etapa de medición sobre una losa de concreto o pavimento rígido.

Ya que en las pruebas desarrolladas en el laboratorio con los patrones que se elaboraron se realizó la calibración del equipo con cada una de las ganancias y con cada uno de los transductores de distinta frecuencia, según los cuadros 1, 2, 3 y 4 el tiempo de vuelo medido alternando en distancias desde 0cm hasta 30cm, se presentará la repetitividad de los datos para conocer la frecuencia y ganancia ideal, y con esto la certeza de que el equipo muestre una confiabilidad en su lectura.

## Comparación de resistencia a la compresión

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se llevan a cabo para determinar si la mezcla de concreto que se utilizó en la fundición del tramo de carretera Cañas-Liberia, que se especificó con una resistencia de diseño esperada, estos cumplieron al momento que realizamos los ensayos respectivos y se consideró que tenían la resistencia óptima para su uso y para lo cual se había diseñado. Las pruebas de cilindros fundidos se utilizan en su mayoría de veces para tener un control de calidad aceptable. Los cilindros se elaboran y curan siguiendo la normativa ASTM C31 Práctica Estándar para Elaborar y Curar Probetas de Ensayo de Concreto en Campo.

Los cilindros se someten al ensayo según la norma ASTM C39, Método Estándar de Prueba de Resistencia a la Compresión de

Probetas Cilíndricas de Concreto, cuando se realizaron las pruebas se encontró que las probetas cumplieron con la resistencia esperada con respecto al diseño que se utilizó en el tramo de Cañas-Liberia. Con la ayuda del esclerómetro digital marca Matest, modelo C386N, se realizó el ensayo resistencia a la compresión sobre los patrones que se elaboraron y se obtuvieron mediciones aceptables con las que se puede decir que el diseño de mezcla para el que se estipuló, dicho concreto, tuvo una aceptación al producir esta mezcla.

El equipo de ultrasonido cuenta en su software la opción de poder desarrollar el ensayo de resistencia a la compresión. Con él que se puede llegar a conocer que aunque el equipo está preparado para implementar este tipo de prueba, los resultados en la mayoría de las mediciones, apuntaban que no se contaba con 75% de la resistencia a compresión que se obtuvo a los 28 días. Al analizar los datos obtenidos, se concluye que aunque el equipo esté capacitado para realizar la prueba de resistencia, no es recomendable realizarla pues genera confusión en la recopilación de los datos.

## Determinación de resistencia a la flexión

Para el diseño de un pavimento rígido es necesario que el módulo de ruptura, que se basa en la resistencia a la compresión, tenga un valor de 50Kg/cm<sup>2</sup>. En este caso según el cuadro 8, el dato obtenido se encuentra dentro del rango necesario para soportar las cargas de tránsito del tramo en construcción.

## Evaluación de patrones

El presente ensayo se basa en la norma ASTM C597 (ver Anexos) para la evaluación de los elementos, en este caso los patrones diseñados. Por esto al observar el cuadro 9 correspondiente a la evaluación del patrón 1 con transductores (palpadores) de 55 KHz de frecuencia y una ganancia de 40, patrón que se diseñó sin defectología, se evidencia, mediante las variaciones en las velocidades medidas, que este patrón cuenta con discontinuidades dentro del interior de su volumen.

Esto se refleja en los segmentos de análisis de (5, 15) (35, 15), (5, 26.5) (35, 26.5), (3.5, 5) (3.5, 25 ) y (36.5, 5) (36.5, 25), este análisis se realiza basándose en la construcción del patrón, ya que su estructura está compuesta únicamente por concreto; por ende, la velocidad en los puntos uniformes se asume será la máxima, siendo estas 1880 m/s para una distancia entre palpadores de 30cm y 2660 m/s para una distancia entre palpadores de 20cm .

Por consiguiente, aquellas secciones de análisis que presentan una reducción en la velocidad se identificarán como zonas con presencia de discontinuidades en el volumen de análisis. El criterio utilizado para esta determinación fue esperar variaciones de velocidad superiores a 5% en zonas con presencia de discontinuidades y viceversa; el criterio para esto se promedian aquellas velocidades que presentan un valor cercano en aquellos puntos del diseño que no presentan discontinuidades inducidas u variaciones elevadas de velocidad.

Al analizar el cuadro 10 correspondiente a la evaluación del patrón 2 con transductores (palpadores) de 55 KHz de frecuencia y una ganancia de 40, se aprecia que la mayoría de los puntos presentan velocidades muy elevadas, en el orden de las 4200 m/s. Es de resaltar que dichos puntos se encuentran sobre o muy cercanos a los refuerzos de aceros en forma paralela al eje de evaluación, de modo que la velocidad de transferencia de la onda se ve incrementada por su presencia.

Este efecto permite ubicar las secciones del material en que se localizan los refuerzos, mas como se aprecia en este caso, no permite la identificación de varillas que presentan corrosión superficial, ya que este patrón tiene dos varillas de refuerzo que cuentan con corrosión generada en cámara de niebla salina o cámara de corrosión acelerada.

A su vez la situación mostrada no permite asociar la velocidad en el segmento (20, 5) (20, 25) a la presencia de discontinuidades, si no, a la posición que presenta este segmento respecto a las varillas de refuerzo. Por otra parte, los segmentos (5, 7.5) (35, 7.5) y (5, 19) (35, 19) muestran velocidades levemente menores a las encontradas en el patrón 1 en los puntos de

material uniforme; sin embargo es en estos puntos donde se puede asegurar que no existe interferencia de otros agentes a las mediciones.

En el cuadro 11 se verifica correspondiente a la evaluación del patrón 3 con transductores (palpadores) de 55 KHz de frecuencia y una ganancia de 40, se verifica cómo las velocidades de transferencia de la onda en aquellos puntos que no se encuentran sobre o muy cercanos a los refuerzos de aceros en forma paralela al eje de evaluación, presentan valores muy similares a los vistos en patrones anteriores.

Por otro lado los segmentos de análisis (10, 31.5) (40, 31.5), (10, 2) (10, 32), (25, 2) (25, 32), (40, 2) (40, 32), (10, 10) (40, 10) y (10, 25) (40, 25) se encuentran sobre o muy cercanos a los refuerzos de aceros en forma paralela al eje de evaluación, por lo que los valores de velocidad obtenidos en estos superan lo esperado. Siendo así el segmento (10, 9.5) (40, 9.5) el único en el que puede verse la presencia de una discontinuidad en el volumen analizado.

En el cuadro 12 correspondiente a la evaluación del patrón 4 con transductores (palpadores) de 55 KHz de frecuencia y una ganancia de 40 se destacan cómo los segmentos (10, 3.5) (40, 3.5), (10, 17.5) (40, 17.5) y (10, 31.5) (40, 31.5) presentan un comportamiento muy similar al visto anteriormente en superficies uniformes de concreto.

Mientras que los otros segmentos presentan una velocidad mucho mayor a la esperada, lo que indica que existe una discontinuidad en estas zonas que, contrario a reducir la velocidad, la aumentan.

El cuadro 13 correspondiente a la evaluación del patrón 5 con transductores (palpadores) de 55 KHz de frecuencia y una ganancia de 40 muestra múltiples puntos de interés, iniciando con la velocidad promedio, la cual se eleva hasta  $2920.00 \pm 0.01$  m/s.

Seguidamente se analizan los segmentos de acuerdo a su posición: (10, 5) (10, 35) muestra una variación considerable de la velocidad lo que indica presencia de discontinuidad; (30, 5) (30, 35) y (30, 15) (30, 45) se encuentran paralelos al tubo sellado (vacío) y muestran una grave reducción de velocidad, (10, 15) (10, 45), (10, 25) (40, 25),



(30, 25) (60, 25), (10, 35) (40, 35) y (30, 35) (60, 35) estas coordenadas no presentan una variación considerable calificando como puntos uniformes, (30, 10) (60, 10) ubicado cerca de la segregación inducida mostrando leve disminución de la velocidad. De lo mencionado se destaca que aparte de la segregación y vacío inducido se encuentra en el patrón 5 una defectología cercana a los punto (30, 10).

La revisión del cuadro 14 correspondiente a la evaluación del patrón 6 con transductores (palpadores) de 55 KHz de frecuencia y una ganancia de 40 evidencia que a lo largo de toda la superficie de análisis solo fue identificado un segmento con presencia de discontinuidad, este es (65,5) (95,5) sección en la cual no se agregó ninguna defectología.

De modo que bajo estos parámetros no fue posible la ubicar ninguna de las defectologías inducidas, la segregación u el vacío (tubo sellado).

El cuadro 15 correspondiente a la evaluación del patrón 7 con transductores (palpadores) de 55 KHz de frecuencia y una ganancia de 40 sirve como comprobación de la gran influencia que ejerce el dato de la distancia entre palpadores en la velocidad que mide el equipo al trabajar con el método indirecto de ensayo ultrasónico; ya que a pesar de tener la misma composición de material y no contar con los refuerzos para incrementar la velocidad, el reducir 10 cm a la distancia entre palpadores aumenta la velocidad sobre el material hasta igualarla a la presentada en el patrón 6.

El cuadro 16 muestra cómo se comporta los datos de velocidad en los segmentos centrales de los distintos patrones. Este comportamiento se ilustra además en las figuras 57, 58, 59, 60, 61, 62.

En la figura 57 se puede apreciar una gráfica con un inicio (línea vertical color rojo) disperso y decreciente; este comportamiento se ve regularmente en segmentos de material sin presencia de defectología; de manera similar, las figuras 58, 59, 60 y 61 presentan inicios con este tipo de comportamiento. Las diferencias en las intensidades presentes en cada una de estas imágenes se debe a la reducción que sufren estas debido a la complejidad es estructura de cada patrón analizado.

Mientras que el comportamiento del gráfico en la figura 62 corresponde a una zona

con presencia de discontinuidades, en este caso una fisura simulando una grieta, el mismo presenta un inicio concentrado y creciente. Estos comportamientos son de gran ayuda para identificar previamente segmentos que abarcan defectología dentro de los elementos de inspección.

Del cuadro 17 correspondiente a la evaluación del patrón 1 con transductores (palpadores) de 24 KHz de frecuencia y una ganancia de 1 se rescata la existencia de una leve diferencia de velocidad al compararlo con el análisis previamente realizado al mismo patrón con el palpador de 55 KHz y ganancia 40. Adicionalmente se observa cómo en los segmentos (36,5, 5) (36,5, 25) y (35,5) (35,25) referentes a los cuadros 9 y 17 respectivamente, se logra la identificación de un discontinuidad en el material. El comportamiento gráfico de esta discontinuidad se observa en la figura 64, la cual presenta las características anteriormente descritas para gráficas con presencia de discontinuidades. Estas pueden ser puestas en comparación también con las que presenta la figura 63 tomada en el segmento (5,5) (35,5) el cual no muestra discontinuidad (Ver Apéndice 5).

En el cuadro 18 correspondiente a la evaluación del patrón 2 con transductores (palpadores) de 24 KHz de frecuencia y una ganancia de 1 es evidente cómo los segmentos (5,5) (5,25), (35, 5) (35, 25), (5, 5) (35, 5), (10, 25) (30, 25), (5, 25) (35, 25) presentan discontinuidades en sus respectivos trayectos.

Esto pese a que en la figura 65 el comportamiento de la gráfica (5,5) (5,25) no se muestra referente a dicha discontinuidad. Este no es el caso de la figura 66 en la cual se aprecia que el segmento (35, 5) (35, 25) presenta el comportamiento esperado al encontrar una discontinuidad (Ver Apéndice 5).

Del cuadro 19 correspondiente a la evaluación del patrón 3 con transductores (palpadores) de 24 KHz de frecuencia y una ganancia de 1 se desprende que las velocidades en los segmentos de análisis no presentan variaciones considerables por lo que no se puede determinar la presencia de discontinuidades en este elemento; sin embargo al observar las figuras 67 y 68 se nota que la primera de estas muestra una gráfica con comportamiento característico de zonas sin presencia de defectología, mientras que la

segunda muestra un comportamiento correspondiente a zonas con presencia de discontinuidades (Ver Apéndice 5).

Al analizar el cuadro 20 correspondiente a la evaluación del patrón 4 con transductores (palpadores) de 24 KHz de frecuencia y una ganancia de 1 se aprecia que la velocidad promedio sobre este elemento no es muy distinta de la vista sobre el patrón 3 que es su homónimo dimensional; además se muestra en el segmento (10, 32.5) (40, 32.5) la presencia de una discontinuidad que incrementa la velocidad al igual que en el análisis de este mismo patrón realizado previamente en el cuadro 12.

El comportamiento de la gráfica ante dicha discontinuidad se aprecia en la figura 69, mientras que la figura 70 presenta el comportamiento de la gráfica sobre un segmento de análisis que no presenta defectología (Ver Apéndice 5).

El cuadro 21 correspondiente a la evaluación del patrón 5 con transductores (palpadores) de 24 KHz de frecuencia y una ganancia de 1 muestra la presencia de la defectología inducida mediante el análisis en los segmentos (65,10) (35,10) y (5,10) (35,10); el comportamiento de este primer segmento se aprecia en la figura 71.

Es posible ubicar dos discontinuidades adicionales mediante los análisis en los segmentos (5,10) (5,40) y (62.5, 10) (62.5, 40). En la figura 72 se puede apreciar el comportamiento de la gráfica para el segmento (62.5, 40) (35, 40). Esta presenta características de zona con discontinuidades pese a que su velocidad no evidencia dicho comportamiento (Ver Apéndice 5).

La revisión del cuadro 22 correspondiente a la evaluación del patrón 6 con transductores (palpadores) de 24 KHz de frecuencia y una ganancia de 1 indica presencia de discontinuidades en los segmentos (5,5) (35, 5), (35,35) (65,35), (65,65) (95,65), (65,5) (95,5), (95,35) (95,5) y (5,35) (5,65), mas estas discontinuidades no coinciden con las defectologías inducidas en el patrón.

La figura 73 presenta la gráfica correspondiente al segmento (5, 5) (35) en la cual puede apreciarse el comportamiento característico de un segmento con defectología, mientras que la figura 74

referente al segmento (5, 50) (35, 50), muestra el comportamiento de la gráfica en una zona libre discontinuidades (Ver Apéndice 5).

En el cuadro 23 correspondiente a la evaluación del patrón 7 con transductores (palpadores) de 24 KHz de frecuencia y una ganancia de 1 se muestra una velocidad promedio muy similar a la obtenida en los análisis de los patrones anteriores manteniendo una distancia entre palpadores de  $30,00 \pm 0,1$  cm, esto pese a la presencia del armado de refuerzo y la diferencia de espesor entre este patrón y los seis anteriores.

## **Evaluación de las respuestas del equipo a distintos parámetros**

Para la realización de estas pruebas se selecciona el patrón 6 dado que es el que presenta los factores más favorables, estos son su longitud y su diseño; ya que este diseño es el más semejante a los diseños comúnmente utilizados en la construcción.

El procedimiento utilizado conlleva la selección de un eje longitudinal sobre el patrón 6; este inicia en (10,50) y sigue un movimiento en X cada  $5 \pm 0,1$  centímetros. Sobre este eje se realizará la evaluación en repetidas ocasiones, variando adicionalmente a la distancia, los parámetros de frecuencia y ganancia.

En el cuadro 24 correspondiente a la evaluación del eje sobre el patrón 6 con transductores (palpadores) de 24 KHz de frecuencia y una ganancia de 1 se aprecia cómo para los valores de distancia de 50, 60 y 85 centímetros es posible identificar discontinuidades, mientras que para las distancias de 70, 75 y 80 centímetros el equipo no fue capaz de obtener respuestas. Esto se observa gráficamente en la figura 75.

Por otro lado, el cuadro 25 correspondiente a la evaluación del eje sobre el patrón 6 con transductores (palpadores) de 24 KHz de frecuencia y una ganancia de 40, presenta un comportamiento que permite apreciar la variación de velocidad a lo largo del eje en estudio y esto se observa en la figura 76.

El análisis del cuadro 26 y la figura 77 correspondientes a la evaluación del eje sobre el patrón 6 con transductores (palpadores) de

55 KHz de frecuencia y una ganancia de 1 resulta de interés dado que permite visualizar cómo la señal por parte del equipo se pierde después de alcanzar una distancia entre palpadores de  $25 \pm 0,1$  centímetros.

Por otra parte, en el cuadro 27 y la figura 78 correspondientes a la evaluación del eje sobre el patrón 6 con transductores (palpadores) de 55 KHz de frecuencia y una ganancia de 40 se detecta que a una distancia de  $80 \pm 0,1$  centímetros una discontinuidad en el material.

En el cuadro 28 y la figura 79 correspondientes a la evaluación del eje sobre el patrón 6 con transductores (palpadores) de 150 KHz de frecuencia y una ganancia de 1 se evidencia que la señal no puede ser detectada después de alcanzar una distancia entre palpadores de  $50 \pm 0,1$  centímetros; adicionalmente, el análisis ubica discontinuidades en la distancias de 15 y 20 centímetros.

En el caso del cuadro 29 y la figura 80 correspondientes a la evaluación del eje sobre el patrón 6 con transductores (palpadores) de 150 KHz de frecuencia y una ganancia de 40 se observa el comportamiento de la variación de velocidad a lo largo del eje en estudio.

En estos análisis se aprecia el comportamiento de la velocidad. Esta presenta una pendiente decreciente entre los 5 y 25 centímetros seguida de una pendiente creciente poco pronunciada, posterior a los 25 centímetros.

## **Evaluación de la respuesta del equipo en proyecto piloto**

Con el fin de determinar si los parámetros utilizados dentro del laboratorio son funcionales en pruebas de campo, se realizaron pruebas sobre una sección de losa de concreto en el puente Río Virilla, ruta 27 kilómetro 16 (Costa Rica).

De estas se obtienen los resultados mostrados en el cuadro 30. Un análisis de las velocidades de estos segmentos permite concluir que estos materiales no cuentan con una uniformidad a lo largo del volumen evaluado, mas deja en evidencia que es posible realizar evaluaciones utilizando los parámetros del laboratorio. Además permiten

comprobar que la vibración es un factor que altera las mediciones en campo.

# Conclusiones y Recomendaciones

- Se confirmó durante la realización de este proyecto, que el método ultrasónico no es una referencia aceptable para determinar la resistencia a compresión del concreto y del módulo de Young.
  - Una vez colocados los palpadores en el punto de análisis estos no deben ser alterados de ninguna forma durante la toma de datos, por lo que se deben someter a una carga fija e igual en ambos palpadores durante este proceso para no alterar la medición.
  - Mediante el proceso de un análisis adecuado, el ensayo ultrasónico permitió la ubicación mas no identificación de discontinuidades en los patrones diseñados para el análisis con este equipo para este proyecto.
  - Para la evaluación de discontinuidades se deben utilizar las menores ganancias y frecuencias posibles, para no perder sensibilidad en el análisis.
  - Se debe trabajar con distancias entre palpadores que superen los 30 centímetros, con el fin de trabajar en un rango que no presente una alta variación, respecto a las distancias entre los mismos.
  - El ensayo no fue capaz de reconocer la defectología inducida como vacío, ni la corrosión superficial en las varillas de refuerzo.
  - Se comprobó que el efecto de la vibración al momento de aplicación del ensayo en el Puente Rio Virilla sí alteró la medición.
  - La determinación de discontinuidades debe basarse en el parámetro de variación de velocidad, ya que las gráficas en pantalla no presentan características o información relacionable a las mismas.
- Con base al procedimiento y análisis realizado durante este proyecto, se confecciona un protocolo no solo para la utilización del equipo sino también para la evaluación de elementos mediante el uso de este.
    1. Realizar el procedimiento de calibración siempre que se varíe cualquiera de los parámetros de ensayo (frecuencia, Ganancia).
    2. Utilizar el acoplante sugerido por el fabricante del equipo siempre que sea posible.
    3. Asegurar que la presión sobre los transductores sea constante durante la realización de la evaluación.
    4. Una vez ubicados los transductores sobre el punto de análisis estos no deben levantarse hasta dar por terminado el ciclo de mediciones
    5. Evitar las vibraciones cuando se realice la prueba de ensayo ultrasónico.
    6. De encontrarse altas variaciones en los datos medidos sobre el mismo punto verificar la calibración del equipo, utilizando el cilindro patrón.
    7. De ser posible utilizar el comportamiento de la gráfica para la determinación de discontinuidades, esto está limitado a las condiciones de ganancia y frecuencia utilizadas.
    8. Diseñar y evaluar patrones de distinto diseño de mezcla para estudiar el comportamiento de la velocidad sobre estos
    9. Diseñar patrones con defectología inducida que incluya varilla de refuerzo que presenten corrosiones con pérdida de volumen considerable.

# Apéndices

**Apéndice 1: Planos diseño de patrones**

**Apéndice 2: Protocolo de gira a tramo carretero Cañas-Liberia, fundición/chorreada de los patrones.**

**Apéndice 3: Protocolo para la aplicación del ensayo de ultrasonido en puente piloto sobre puente río Virilla, Ruta 27.**

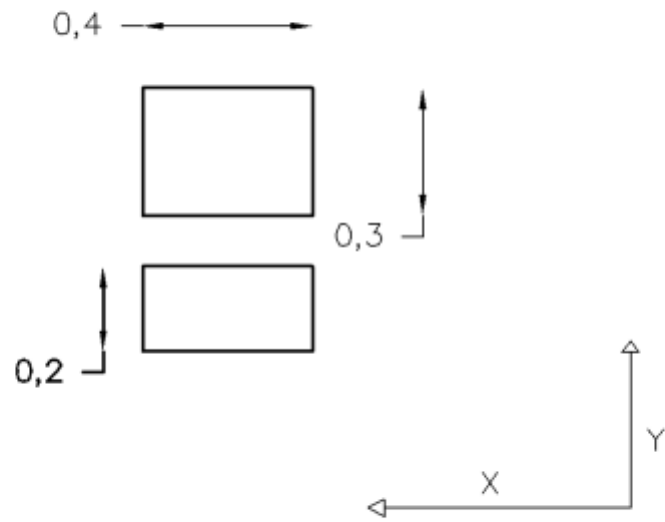
**Apéndice 4: Plantilla de inspección visual**

**Apéndice 5: Comportamiento de la onda con el palpador de 24KHz con ganancia 1 en los distintos patrones.**

**Apéndice 6: Protocolo para la evaluación de losas de concreto y pavimentos rígidos mediante el uso del equipo ultrasónico**

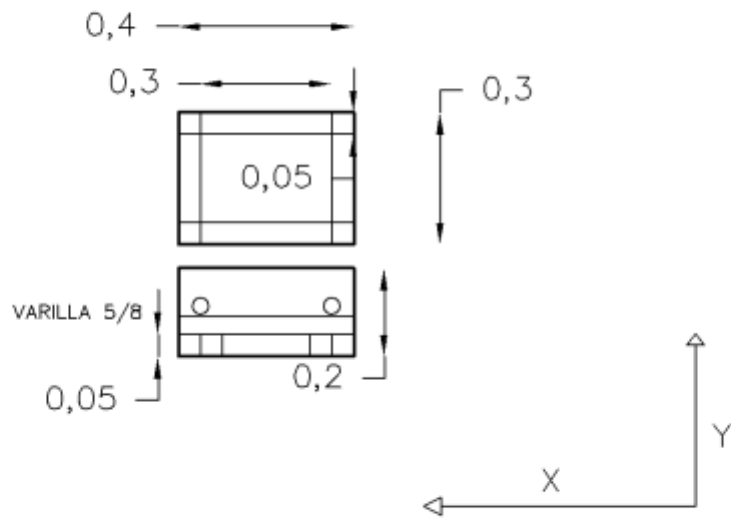
- **Apéndice 1**  
Planos diseño de patrones

PLANO DISEÑO DE PATRON



PATRON 1

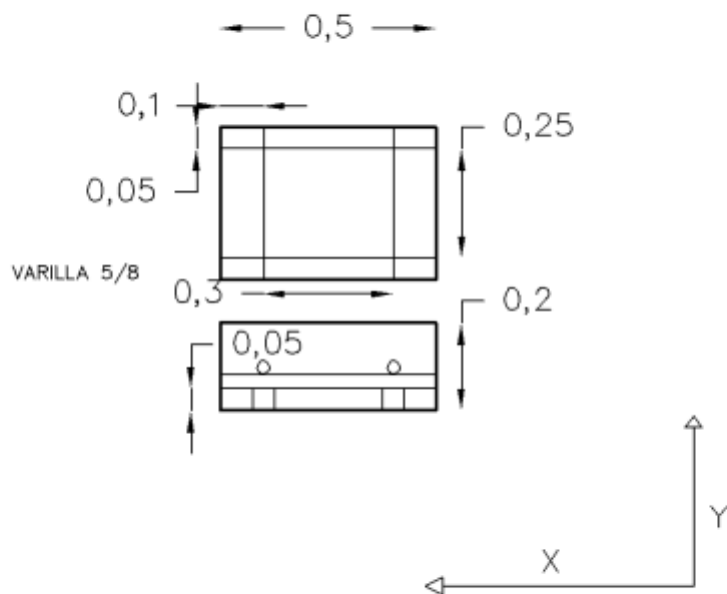
PLANO DISEÑO DE PATRON



PATRON 2

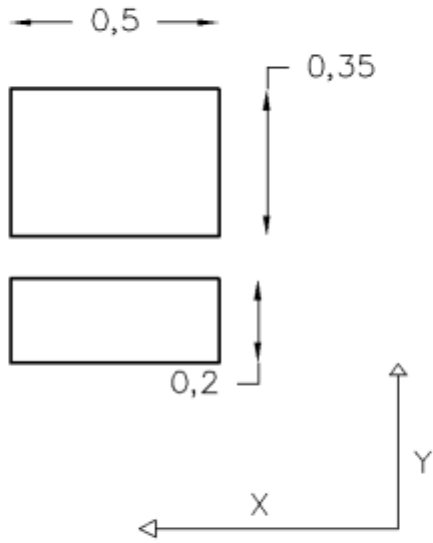


PLANO DISEÑO DE PATRON



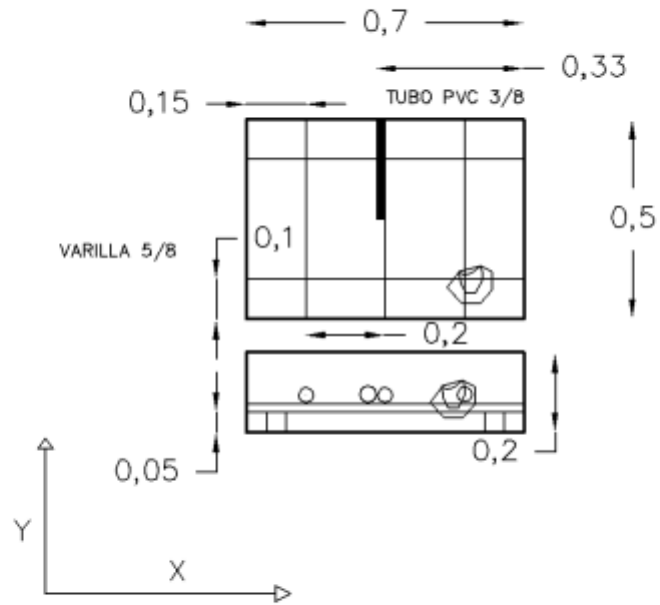
PATRON 3

PLANO DISEÑO DE PATRON

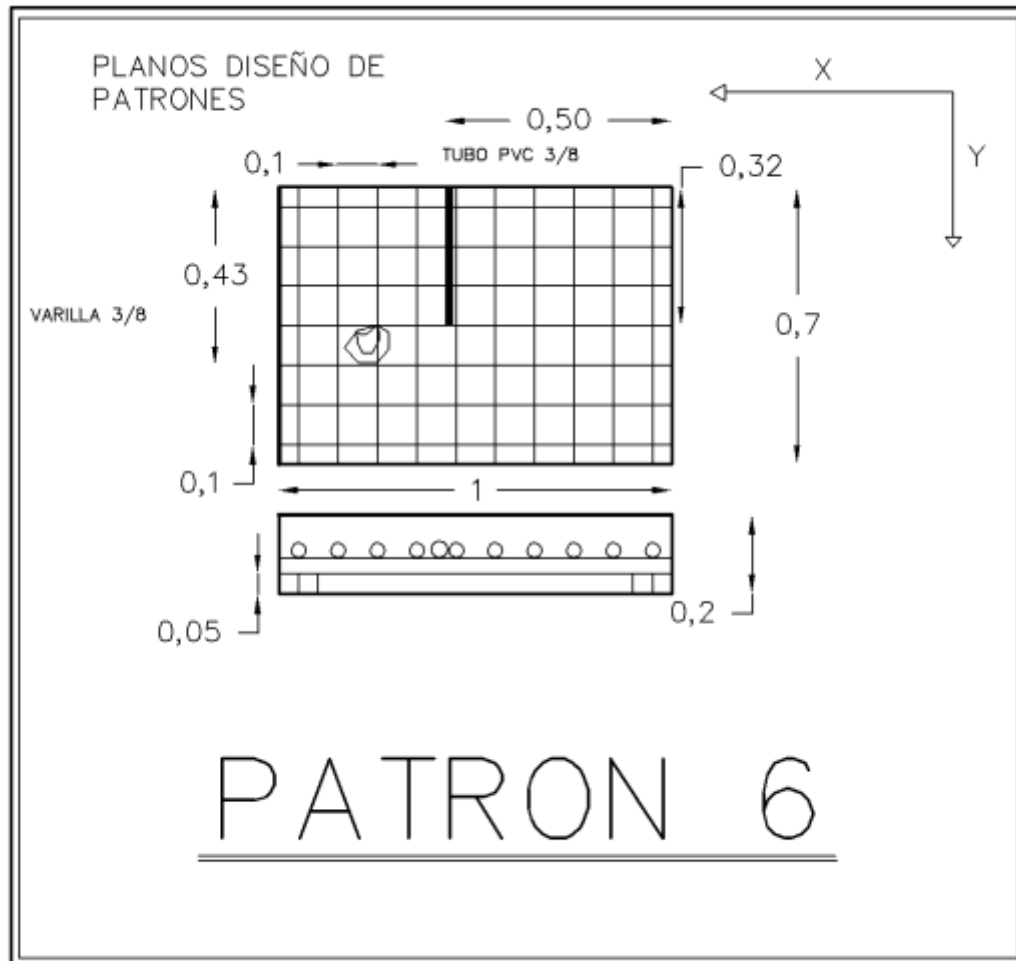


PATRON 4

PLANOS DISEÑO DE  
PATRONES



PATRON 5



- **Apéndice 2**  
Protocolo de gira a tramo  
carretero Cañas-Liberia,  
fundición/chorreada de los  
patrones.

## Protocolo de gira a tramo carretero Cañas-Liberia (12/09/2013)

- 10:00 am Chequeo de material por utilizar
  - Chequeo de lista de equipo de inspección
- 11:00 am Confirmación de las personas por asistir
- 2:00 pm Salida del TEC
  - 2 Carros disponibles
- Dormimos en Liberia
- 3:00 am , Inspección del lugar
  - Formato chequeo del lugar
  - Toma de fotos
- 4:00 am, Fundición/Chorreada de formaletas 6 patrones
  - 3 Cilindros
  - 1 Losa
  - 1 Viga
  - Toma de fotos
  - Observaciones: referencia hoja de especificaciones de formaleta, planos y esquemas
- Regreso a Cartago 11:00 am

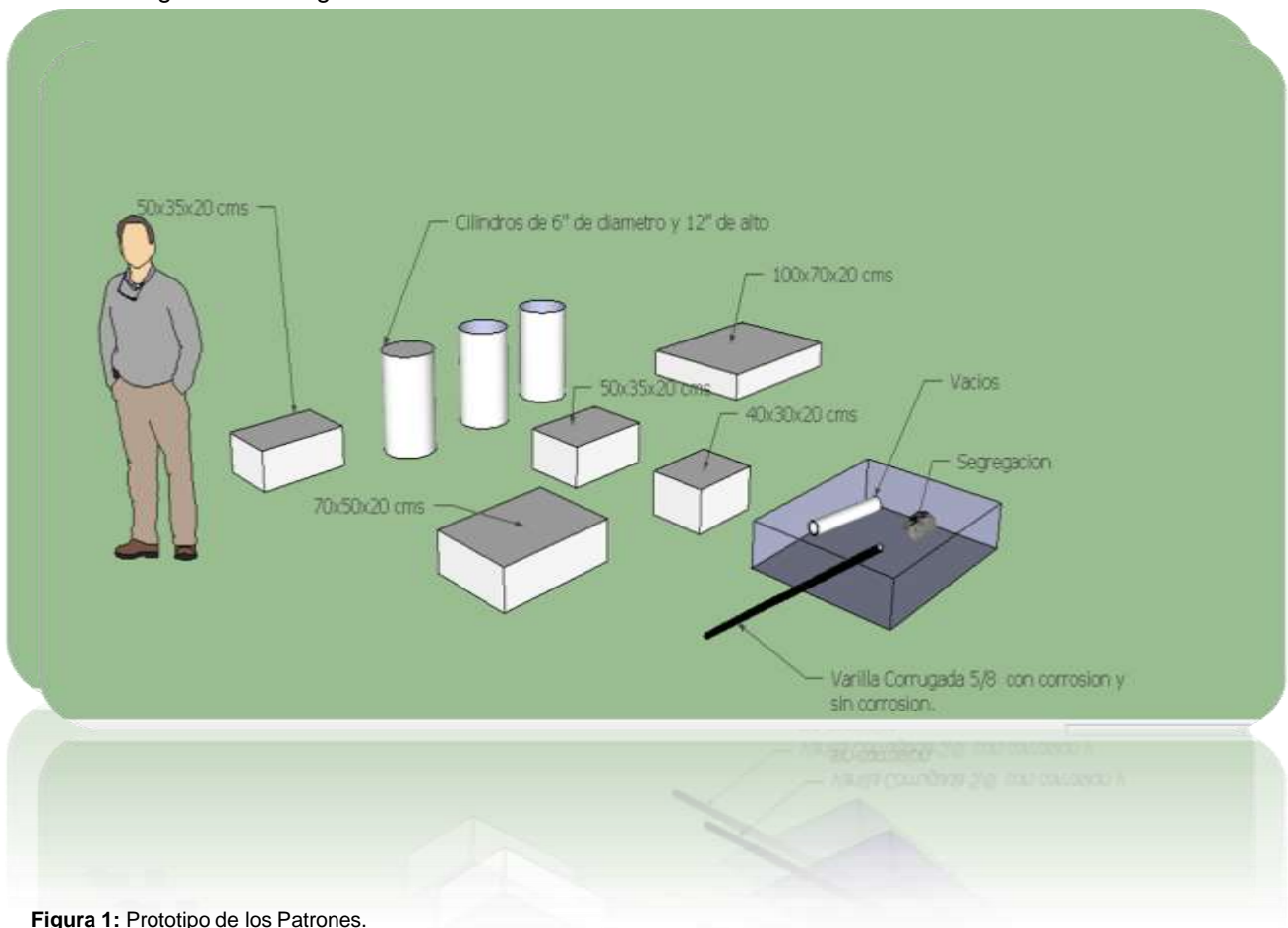


Figura 1: Prototipo de los Patrones.

## **EQUIPO DE INSPECCIÓN:**

### **Uso Personal:**

- Casco
- Chaleco
- Botas
- Guantes

### **Equipo de Medición:**

- Formato de inspección
- GPS
- Termómetro Laser / Termocupla
- Termómetro
- cronómetro
- (Medidor de humedad) extracción de núcleos
- Corre caminos / Odómetro / Bicicleta
- Cinta métrica
- Spray
- Cámara
- Porta herramientas
- Cilindros
- Carretilla
- Pala
- Martillo
- Mazo de caucho
- Bolsas plásticas o nylon
- Esferas de plástico
- Piedra pómez
- Angulares
- Alambre de amarre
- Tensores
- Clavos
- Espuma
- Desmoldantes
- Tubos de plástico

- **Apéndice 3**  
Protocolo para la aplicación del ensayo de ultrasonido en puente piloto sobre puente río Virilla, Ruta 27.



# Protocolo para la aplicación del ensayo de ultrasonido en puente piloto sobre puente río Virilla, Ruta 27.

- **8:00 a.m.** Preparación del equipo por utilizar
- **9:00 a.m.** Preparación de manuales y listados de inspección
- **1:00 p.m.** Check-List del equipo y listados de inspección completo por utilizar
- **3:00 p.m.** Salida a las oficinas centrales de Autopistas del Sol
- **7:00 p.m.** Cena
- **8:00 p.m.** Llegada a oficinas centrales de Autopistas del Sol
- **8:30 p.m.** Verificar detalles de logística
- **10:00 p.m.** Inicio de la inspección del puente río Virilla.
- **2:00 a.m.** Evaluación del puente río Virilla
- **5:00 a.m.** Finalización de evaluación de losa del puente río Virilla

## Equipo a Utilizar

- Lámparas de Iluminación
- Calculadora
- Manual de uso del equipo de ultrasonido y esclerómetro.
- Esclerómetro
- Papel higiénico
- Masking tape
- Ipad
- Normas (Esclerómetro, ensayo ultrasónico)
- Formularios electrónicos
- Vaselina

- Guantes
- Baterías
- Cepillo de alambre
- Lija

## Preparación de Equipo y Hojas de Inspección

- Cargar el esclerómetro
- Cargar el ultrasonido
- Cargar la cámara
- Cargar el ipad
- Copias de hojas
- Descargas de hojas

## Logística y Equipo brindado por Autopista del Sol

- Iluminación
- Señalización de parte de la empresa interesada
- Personal para cierre de tránsito (2 personas)
- Coordinación por parte del centro de control de Autopista del Sol
- Vehículo de transporte hasta el sitio
- Equipo de seguridad: conos, banderas, etc.

- **Apéndice 4**  
Plantilla de inspección visual

# Plantilla de inspección visual

## Inspección de Pavimento por Ultrasonido

### Datos Generales

Nombre del puente			Nº	
Ubicación			Fecha	/ /
Elementos de inspección	<input type="checkbox"/> Losa (Sup.-Int.)	<input type="checkbox"/> Vigas	Longitud (m)	
Sentido	<input type="checkbox"/> 1-2	<input type="checkbox"/> 2-1		

### Descripción General

Configuración Estructural			
Material			
Geometría / Dimensiones			
Condiciones Ambientales			
<b>Superficie de ruedo</b>	<input type="checkbox"/> Concreto	<input type="checkbox"/> Asfalto	Observaciones
<b>Refuerzo</b>			
Corrosión	<input type="checkbox"/> Sí	Observaciones	
	<input type="checkbox"/> No		

Recolección Datos Campo

Cuadrante N°

*Agrietamiento*

Ancho grieta	<input type="text"/>	Ubicación	<input type="text"/>	Foto N°	<input type="text"/>
Longitud grieta	<input type="text"/>	Orientación	<input type="checkbox"/> // <input type="checkbox"/> ⊥		
Machas	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Foto N°	<input type="text"/>	Observaciones	<input type="text"/>
Oxidación	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Foto N°	<input type="text"/>	Observaciones	<input type="text"/>
Eflorescencia	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Foto N°	<input type="text"/>	Observaciones	<input type="text"/>
Patrón agrietamiento	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Foto N°	<input type="text"/>	Observaciones	<input type="text"/>

*Descaramiento (Pérdida del mortero Superficial)*

Espesor mortero	<input type="text"/>		
Agregado expuesto	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Observaciones	<input type="text"/>
Refuerzo expuesto	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Observaciones	<input type="text"/>

*Delaminación*

Espesor capas _____	Foto N° _____	Observaciones _____
---------------------	---------------	---------------------

*Astillamiento*

Espesor _____	Foto N° _____	Observaciones _____
Diámetro _____		

*Eflorescencia*

<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Foto N° _____	Observaciones _____
---	---------------	---------------------

*Panales*

<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Foto N° _____	Observaciones _____
---	---------------	---------------------

*Desgaste*

<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Foto N° _____	Observaciones _____
---	---------------	---------------------

*Abrasión*

<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Foto N° _____	Observaciones _____
---	---------------	---------------------

- **Apéndice 5:**  
Comportamiento de la onda con el palpador de 24KHz con ganancia 1 en los distintos patrones.

# Comportamiento de la onda con el palpador de 24KHz con ganancia 1 en los distintos patrones.



**Figura 2:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 1 en los puntos (35, 5) y (5,15). Zona de material uniforme.



**Figura 5:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 4 en los puntos (40,17.5) y (40,17.5). Zona de material uniforme.



**Figura 3:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (5,15) y (35,15). Zona de material uniforme.



**Figura 6:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (35,35) y (65,35). Zona de material uniforme.



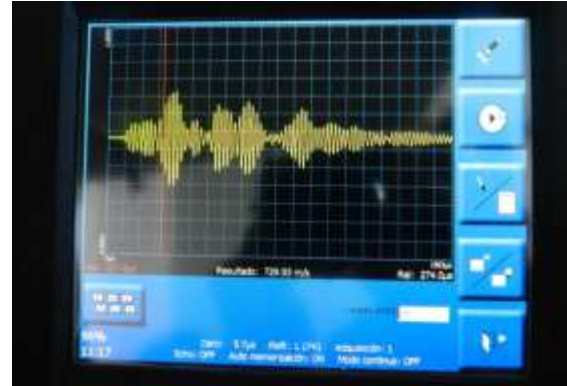
**Figura 4:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 3 en los puntos (10,17.5) y (30,17.5). Zona de material uniforme.



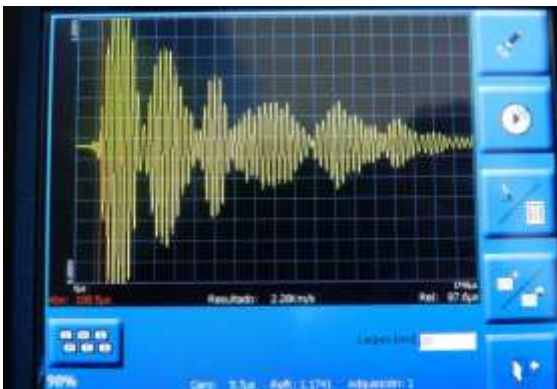
**Figura 7:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 7 en los puntos (65,35) y (65,35). Zona de material con presencia de defectología inducida correspondiente a la simulación de grietas.



**Figura 8:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (5,5) y (5,25). Zona de material con presencia de defectología.



**Figura 11:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (35,5) y (35,25). Zona de material con presencia de defectología.



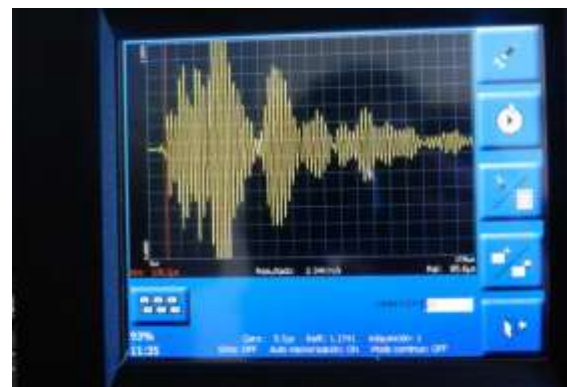
**Figura 9:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (10,5) y (10,25). Zona de material uniforme.



**Figura 12:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (5,5) y (35,5). Zona de material con presencia de defectología.

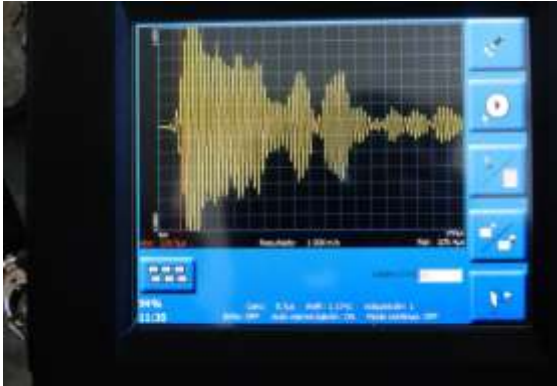


**Figura 10:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (30,5) y (30,25). Zona de material uniforme.



**Figura 13:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (10,5) y (30,5). Zona de material uniforme.





**Figura 14:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (10,25) y (30,25). Zona de material con presencia de defectología.



**Figura 17:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 1 en los puntos (5,25) y (35,25). Zona de material uniforme.



**Figura 15:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (5,25) y (35,5). Zona de material con presencia de defectología.



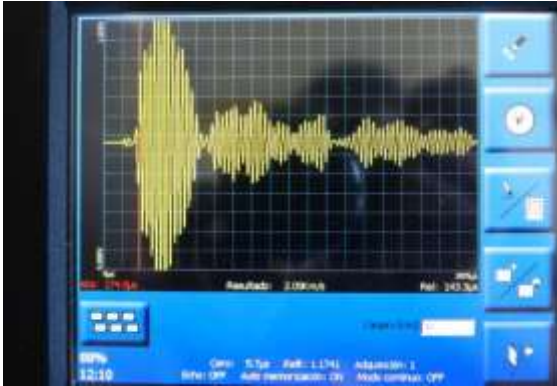
**Figura 18:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 1 en los puntos (5, 5) y (5, 25). Zona de material uniforme.



**Figura 16:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 1 en los puntos (5,5) y (35,5). Zona de material uniforme.



**Figura 19:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 1 en los puntos (35, 5) y (35, 25). Zona de material con presencia de defectología.



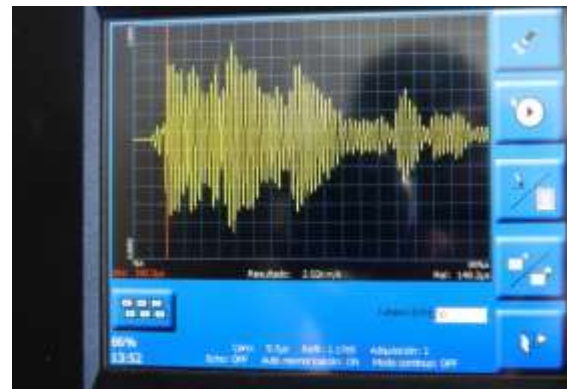
**Figura 20:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 3 en los puntos (10,2.5) y (10,32.5). Zona de material uniforme.



**Figura 23** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 3 en los puntos (10,3.25) y (40,32.5). Zona de material uniforme.



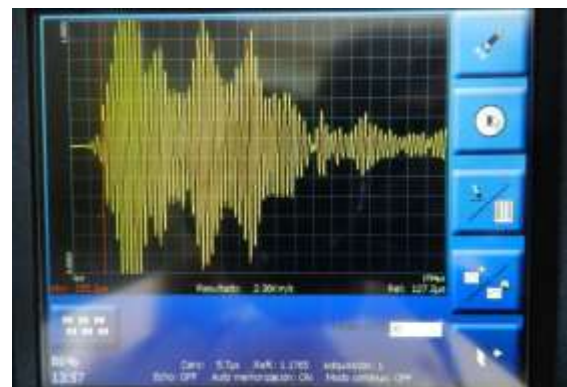
**Figura 21:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (40,2.5) y (40,32.5). Zona de material uniforme.



**Figura 24:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 4 en los puntos (10,25) y (40,2.5). Zona de material uniforme.



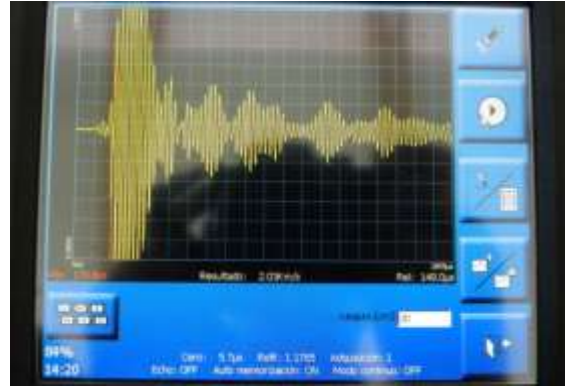
**Figura 22:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 3 en los puntos (10,2.5) y (40,2.5). Zona de material uniforme.



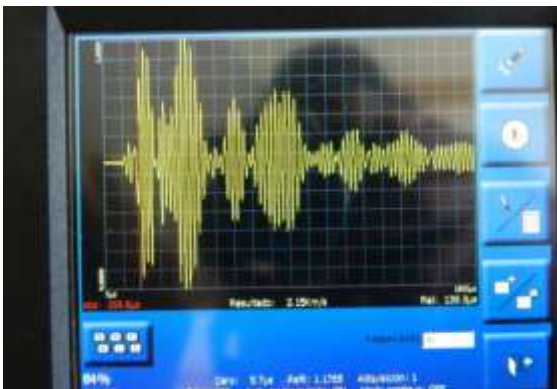
**Figura 25:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 4 en los puntos (10,32.5) y (40,32.5). Zona de material con presencia de defectología.



**Figura 26:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 4 en los puntos (10,2.5) y (10,32.5). Zona de material uniforme.



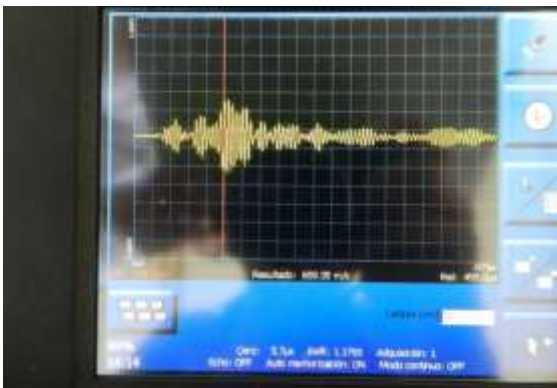
**Figura 29:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 5 en los puntos (35, 10) y (35,40). Zona de material uniforme.



**Figura 27:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 4 en los puntos (40,25) y (40,32.5). Zona de material uniforme.



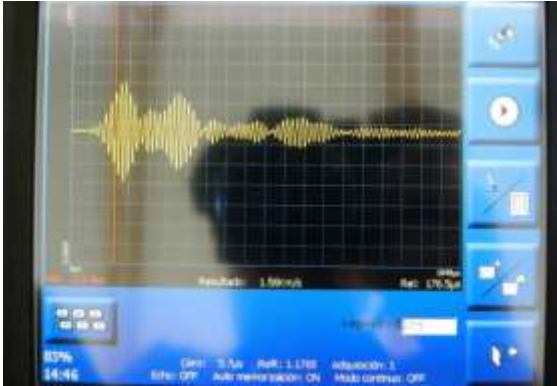
**Figura 30:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 5 en los puntos (62.5, 10) y (62.5, 40). Zona de material con presencia de defectología inducida correspondiente a la segregación



**Figura 28:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 5 en los puntos (5, 10) y (5, 40). Zona de material con presencia de defectología inducida correspondiente al cubo de mortero.



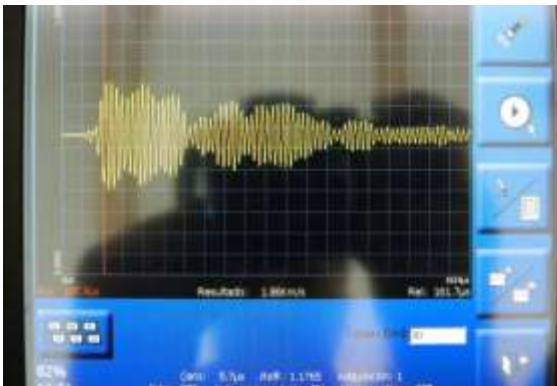
**Figura 31:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 5 en los puntos (62.5, 10) y (35, 40). Zona de material uniforme.



**Figura 32:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 5 en los puntos (65,10) y (35, 10). Zona de material con presencia de defectología inducida correspondiente a la segregación



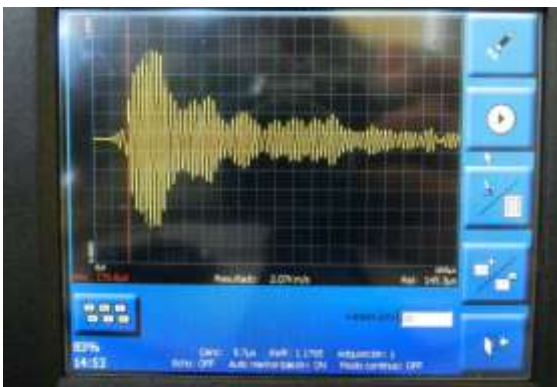
**Figura 35:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (5, 5) y (35, 5). Zona de material con presencia de defectología.



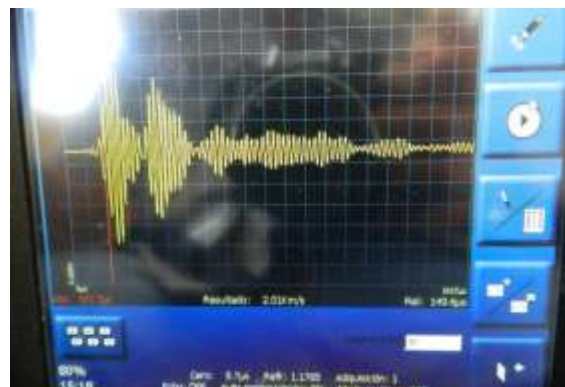
**Figura 33:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 5 en los puntos (5, 10) y (35, 10). Zona de material con presencia de defectología.



**Figura 36:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (5, 50) y (35, .50). Zona de material uniforme.



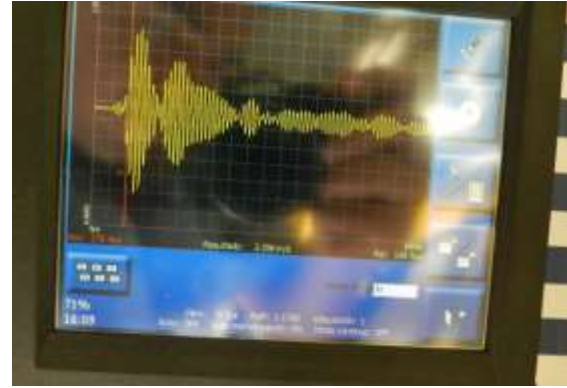
**Figura 34:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (5, 40) y (35, 40). Zona de material uniforme.



**Figura 37:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (5, 65) y (35, 65). Zona de material uniforme.



**Figura 38:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (65, 5) y (35, 5). Zona de material uniforme.



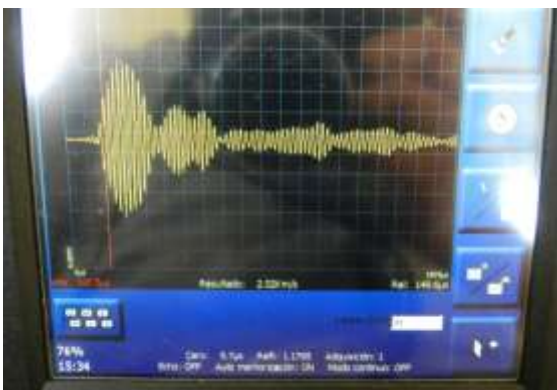
**Figura 41** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (65,35) y (95, 35). Zona que no presenta discontinuidades o defectología de acuerdo con el dato de variación de velocidad, más la gráfica muestra un comportamiento con características presentes en zonas con discontinuidades.



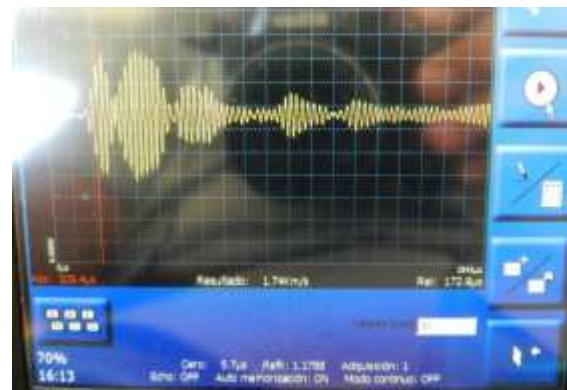
**Figura 39:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (35, 35) y (65,35). Zona de material con presencia de defectología



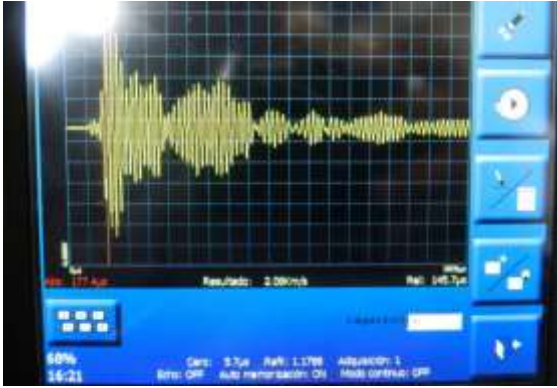
**Figura 42** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (65, 5) y (95, 5). Zona que presenta discontinuidades o defectología de acuerdo con el dato de variación de velocidad, más la gráfica muestra un comportamiento con características presentes en zonas sin discontinuidades.



**Figura 40:** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (35, 65) y (65,65). Zona que no presenta discontinuidades o defectología de acuerdo con el dato de variación de velocidad, más la gráfica muestra un comportamiento con características presentes en zonas con discontinuidades.



**Figura 43** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (45, 35) y (95, 5). Zona de material con defectología.



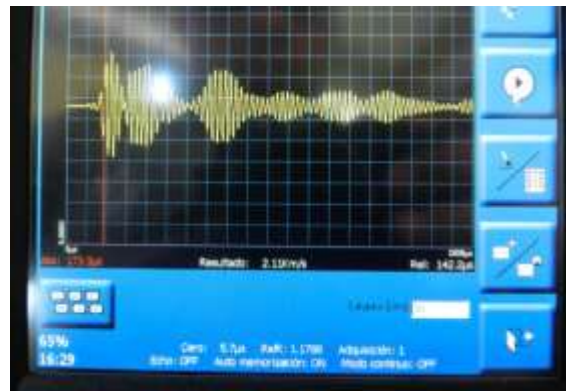
**Figura 44** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (65, 35) y (65, 5). Zona de material uniforme.



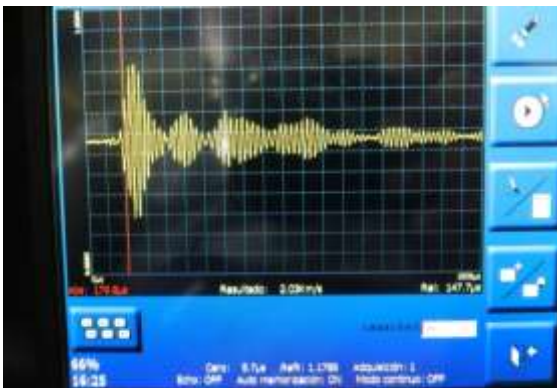
**Figura 47** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (35, 15) y (5, 15). Zona de material con defectología



**Figura 45** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (35, 35) y (35, 5). Zona de material uniforme.



**Figura 48** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (5, 35) y (5, 5). Zona de material uniforme.



**Figura 46** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 6 en los puntos (35, 35) y (35, 65). Zona de material uniforme.



**Figura 49** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (35, 15) y (5, 15). Zona de material uniforme.



**Figura 50** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (35, 15) y (5, 15). Zona de material uniforme.



**Figura 51** Comportamiento presentado por la onda en pantalla para el palpador de 24 KHz con una ganancia de 1 sobre el patrón 2 en los puntos (35, 15) y (5, 15). Zona de material uniforme.

- **Apéndice 6:**  
Protocolo para la evaluación de losas de concreto y pavimentos rígidos mediante el uso del equipo ultrasónico



# Protocolo para la Evaluación de Losas de Concreto y Pavimentos Rígidos mediante El Uso del Equipo Ultrasónico

El siguiente protocolo tiene como objetivo mostrar al operario los correctos parámetros y procedimientos para la realización de un análisis ultrasónico en losas de concreto en puentes y pavimentos rígidos mediante la adecuada utilización del equipo ultrasónico.

Este permitirá al operario ubicar la defectología en la zona de análisis, la profundidad de las grietas encontradas en el material, con la finalidad de evaluar si esta zona requiere una serie de análisis más específicos.

## 1. Consideraciones Generales

Estas deberán ser acatadas previo a la iniciación de los análisis y la utilización del equipo ultrasónico tanto dentro del laboratorio como en el campo.

1.1. Equipo. El siguiente protocolo es aplicable al contar con un Matest “High Performance” Ultrasonic Tester C372N.

1.2. Calificación. El operario deberá contar con la calificación requerida para el uso del equipo ultrasónico.

1.3. Ubicación. La zona en la cual se ha de realizar el análisis de losas o pavimentos debe encontrarse libre de fuentes de riesgo tanto para los operarios como para el equipo, fuentes como tráfico de vehículos, objetos que presenten riesgo de explosión, fuentes de vibraciones u otros.

1.4. Condiciones. El equipo debe ser operado dentro de las condiciones siguientes para garantizar su viabilidad:

- Temperaturas ambiente entre 5°C y 40°C
- Humedad relativa entre 30% y 70%
- Altura máxima sobre el nivel del mar 1000 m

1.5. Manejo. El equipo debe ser ubicado en todo momento de manera que no corra riesgos tales como caídas, golpes, presión, salpicaduras o aplicación de vibraciones.

## 2. Ensamblaje

Se describen los pasos por seguir para realizar las correctas conexiones físicas del equipo “High Performance” Ultrasonic Tester C372N.

2.1. Sacar cuidadosamente el equipo de su contenedor y ubicar las piezas necesarias para la inspección junto al mismo. Como mínimo: equipo (1a), acoplante (1b, se recomienda utilizar vaselina para pruebas de laboratorio), transductores (1c, también llamados palpadores), cilindro de calibración (1d) y cables de transmisión (1e).

2.2. Conectar los cables de transmisión (1e) a los puertos RX y RT (1g) ubicados en la sección superior del equipo (1f).

2.3. Conectar el extremo de los cables de transmisión (1e) a los transductores (1c), como se muestra en 1h.



**Figura 1:** Imagen del equipo ultrasónico, sus partes y proceso de ensamblado del mismo.

2.4. Verificar que el ensamblaje del equipo luce como el ejemplo mostrado (1i).

### 3. Calibración

En esta sección se describen los pasos que permiten asegurar la calibración adecuada del “High Performance” Ultrasonic Tester C372N.

3.1. Una vez ensamblado el equipo (Sección 2), encenderlo al presionar el botón ON/OFF (1j) y verificar que la pantalla haya encendido.

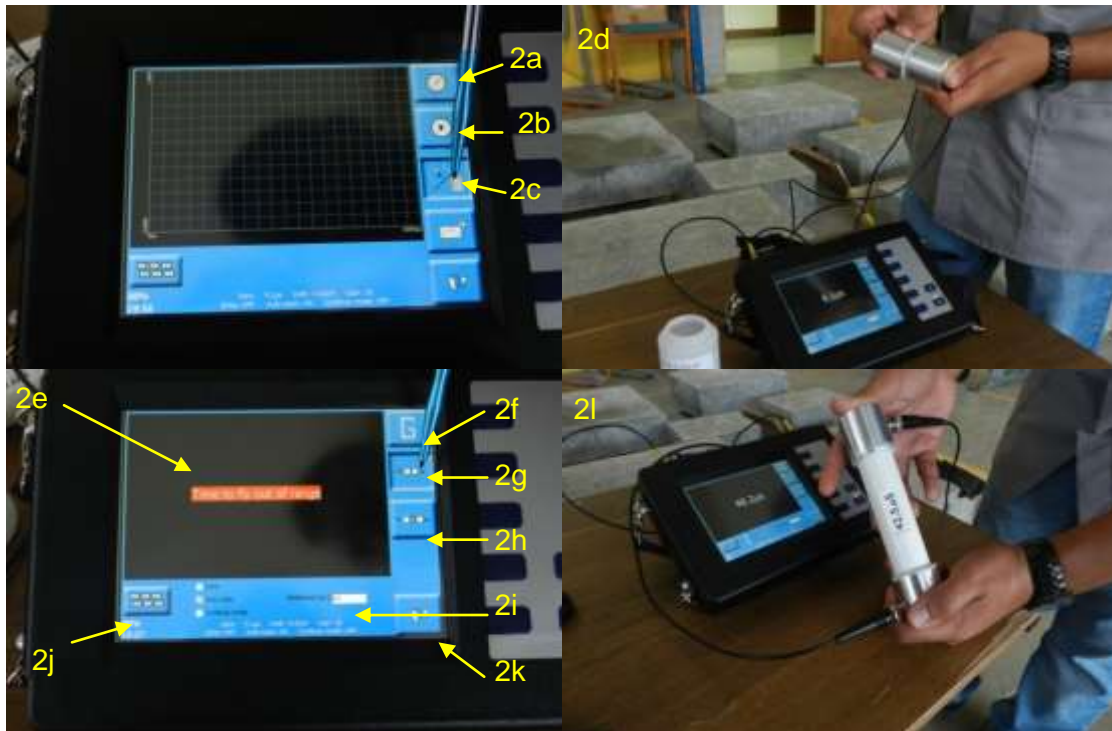
3.2. Presionar el botón de configuración y manejo de mediciones (2c) para alcanzar la pantalla de calibración (2e).

3.3. Presionar el botón 2f para incrementar la ganancia según sea requerida (se recomienda iniciar con ganancias bajas y elevar la misma según sea necesario).

3.4. Esparcir una fina capa de acoplante (1b) sobre ambos transductores (1c) y frotar estos entre sí, como se muestra en la figura 2d, esperar hasta que el valor en pantalla se estabilice y presionar el botón 2g para establecer el “cero”.

3.5. Presionar la casilla 2i e ingresar el valor de referencia al equipo, este valor corresponde al tiempo de vuelo mostrado el cilindro de calibración (1d) a utilizar. Para el ingreso de este valor aparecerá en la pantalla un teclado digital, este puede ser mostrado al presionar el botón 2j.

3.6. Esparcir una fina capa de acoplante (1b) sobre ambos transductores (1c) y frotar estos contra los extremos del cilindro de calibración (1d) como se muestra en la figura 2l, esperar hasta que el valor en pantalla se estabilice y presionar el botón 2h para establecer la calibración con referencia.



**Figura 2:** Procedimiento de calibración del equipo ultrasónico.

3.7. Presionar el botón 2k para regresar a la pantalla de toma de datos.

3.8. Ubicar los palpadores en los extremos del cilindro de calibración tal como se realizó para el paso 3.6.

3.9. Presionar el botón de inicio (2b) y mantener presión constante en los transductores mientras se espera el resultado.

3.8. Comparar el dato mostrado en la pantalla con el valor del cilindro de calibración, de no coincidir proceda a repetir los pasos de esta sección.

#### 4. Preparación de superficies por ensayar

Descripción de los pasos por seguir previo a la realización de un análisis ultrasónico en losas de puente y pavimentos rígidos.

4.1. Limpiar la sección de la losa o pavimento que se desea analizar con lijas de agua (3a, superficies muy regulares), cepillo de cerdas metálicas (3b, superficies irregulares tratables) u cepillos/ecobas (superficies irregulares no tratables).

4.2. Remover impurezas restantes con un enjuague suave, figura 3b.

4.3. Aplicar una ligera capa de acoplante (1b) en los puntos de ubicación de los transductores (1c), figura 3c.



**Figura 3:** Procedimiento de preparación de superficies para inspección ultrasónica.

## 5. Tipos de evaluaciones

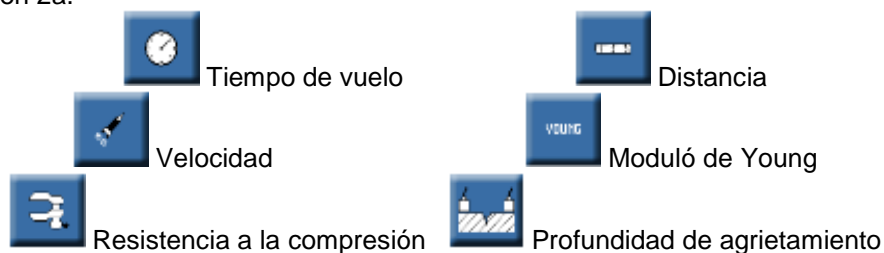
Serie de pasos que permiten la obtención de respuestas por parte del equipo “High Performance” Ultrasonic Tester C372N para cada uno de los modos de trabajo con los que este cuenta.

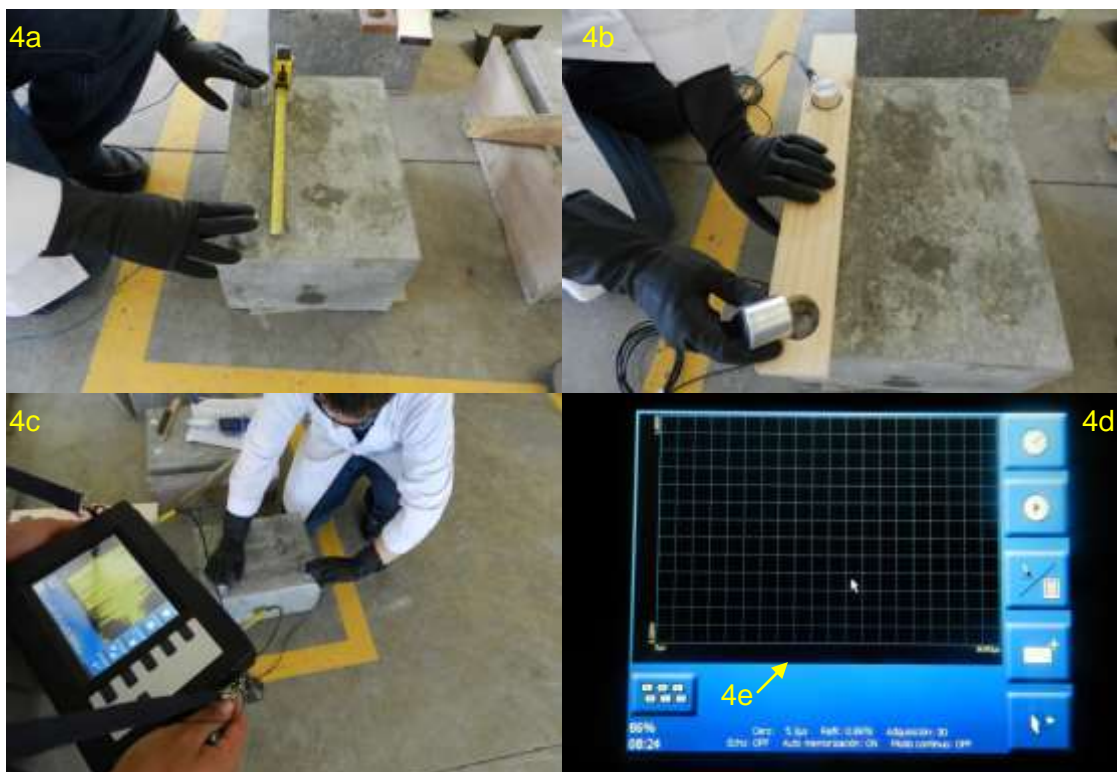
5.1. Ubicar los puntos de análisis mediante el uso de una cinta metrica (4a) o una regla marcada y aplicar una suave capa de acoplante (1b) en los mismos.

5.2. Colocar los transductores (1c) en la posición de análisis deseada, frotar suavemente y presionar levemente en forma constante para asegurar que no se presenten burbujas de aire o falta de contacto (4c), este proceso debe ser repetido para todos los pasos en que se realice la toma de datos o mediciones.

5.3. Presionar en botón 2b y verificar que se presenta un patron de transmisión de onda en la pantalla (similar al visto en 4d), esta medición es descartable ya que solo sirve como verificación de que se optiene señal en ese punto.

5.4. Seleccionar en la pantalla el tipo de medición que se desea realizar al presionar el botón ubicado en 2a.





**Figura 4:** Procedimiento básico de evaluación o toma de datos mediante ultrasonido.

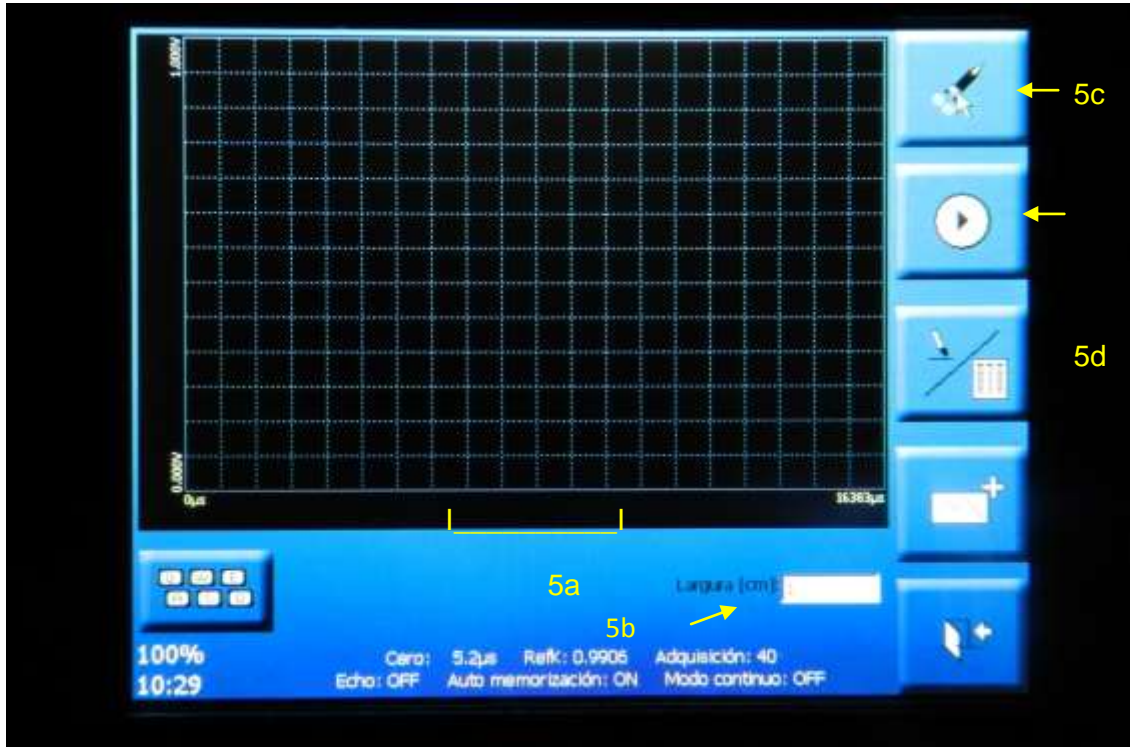
Recordar que cada una de estas mediciones presentan ciertos parámetros requeridos que se encuentran en los límites descritos a continuación:

Tamaño	Requisito	Mínimo	Máximo
Velocidad [m/s]	Distancia entre transductores [cm]	1	5000
Distancia entre transductores [cm]	Velocidad [m/s]	0,1	10000000
Módulo de Young [Pa]	Velocidad cortante[m/s]	0,1	10000000
	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1	5000
	Distancia entre transductores [cm]	1	5000
Resistencia a la compresión [N/mm <sup>2</sup> ]	Índice de compresión	1	500
	Distancia entre transductores [cm]	1	5000
Profundidad de grieta [m]	Velocidad [m/s]	0,1	10000000
	Distancia entre transductores [cm]	1	5000

#### 5.4.1. Tiempo de vuelo.

5.4.1.1. Presionar el botón 2b en la pantalla de tiempo de vuelo (4d) para iniciar la medición. Esperar a que se establezca la respuesta del equipo (4e).

#### 5.4.2. Velocidad.



**Figura 5:** Pantalla de medición de velocidad (indicada en el botón 5c).

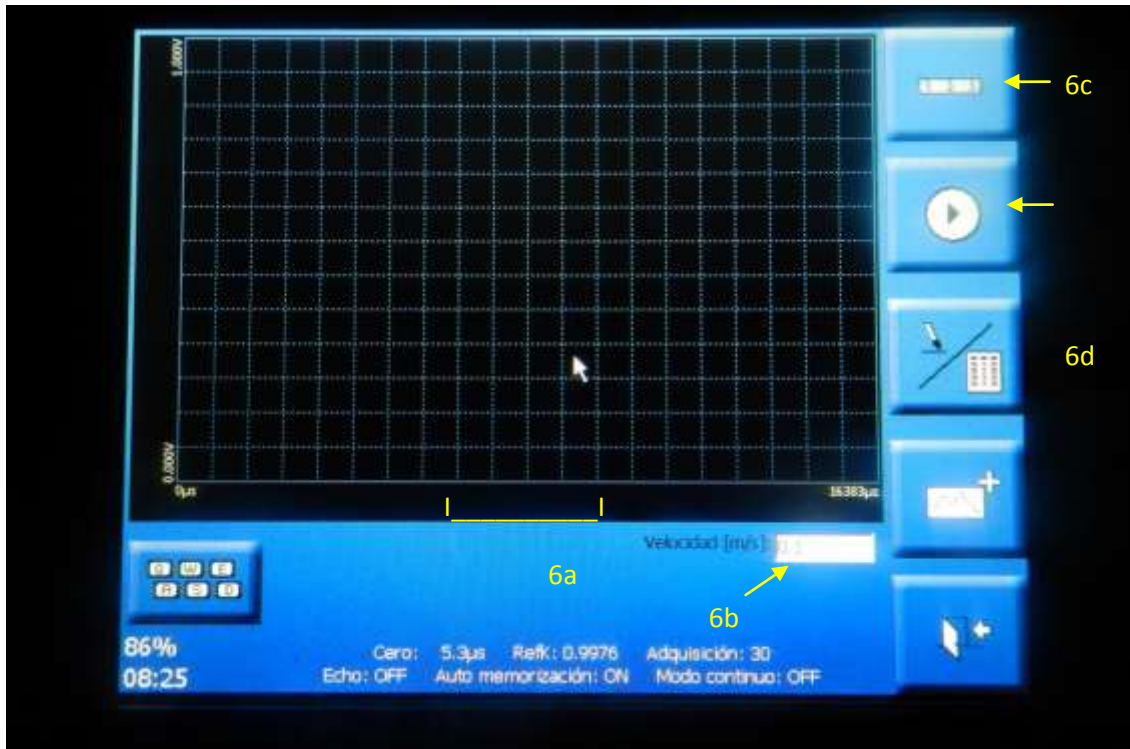
5.4.2.1. Seleccionar la casilla 5b e ingresar el valor de distancia entre los palpadores, este puede tomarse con el uso de una cinta metrica o directamente de la regla marcada.

5.4.2.2. Presionar el botón 5d (2b) en la pantalla para iniciar la medición. Esperar a que se establezca la respuesta del equipo (5a).

#### 5.4.3. Distancia entre palpadores.

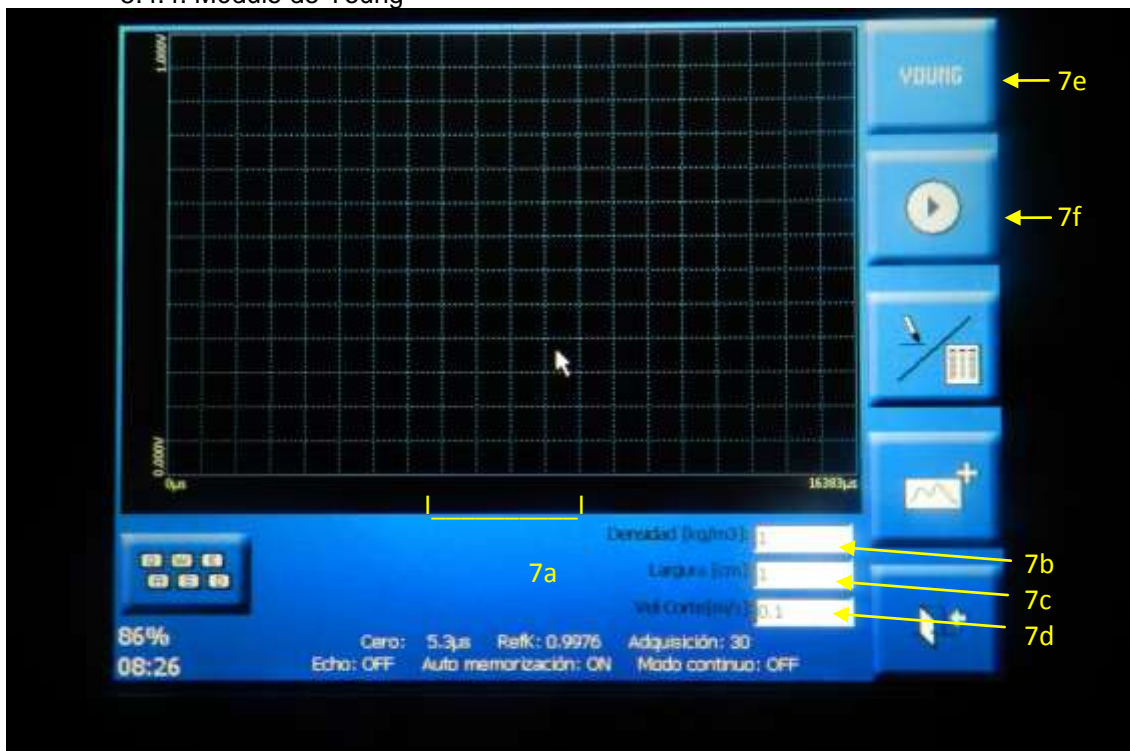
5.4.3.1. Seleccionar la casilla 6b e ingresar el valor de velocidad de transmisión de la onda para el material de análisis.

5.4.3.2. Presionar el botón 6d (2b) en la pantalla para iniciar la medición. Esperar a que se establezca la respuesta del equipo (6a).



**Figura 6:** Pantalla de medición de la distancia entre palpadores (indicada en el botón 6c).

#### 5.4.4. Módulo de Young



**Figura 7:** Pantalla de medición del módulo de Young (indicada en el botón 7e).

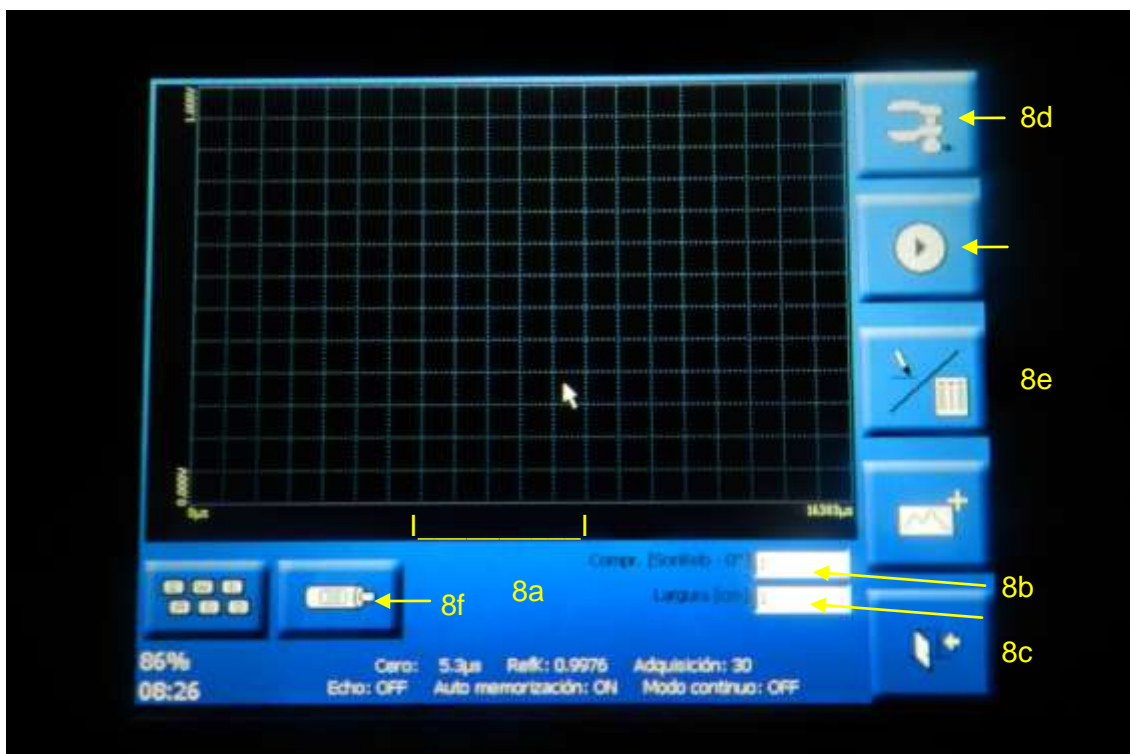
5.4.4.1. Seleccionar la casilla 7b e ingresar el valor de la densidad del concreto, esta puede tomarse de resultados de pruebas previas realizadas a dicho material o de la información de diseño del mismo.

5.4.4.2. Seleccionar la casilla 7c e ingresar el valor de distancia entre los palpadores, este puede tomarse directamente de la regla marcada o con el uso de una cinta metrica.

5.4.4.3. Seleccionar la casilla 7d e ingresar el valor de la velocidad cortante de la onda ultrasónica en concreto.

5.4.4.4. Presionar el botón 7f (2b) en la pantalla para iniciar la medición. Esperar a que se establezca la respuesta del equipo (7a).

#### 5.4.5. Resistencia a compresión.



**Figura 8:** Pantalla de medición de la resistencia a la compresión (indicada en el botón 8d).

5.4.5.1. Seleccionar la casilla 8b e ingresar el valor del índice de compresión, esta puede tomarse del esclerómetro digital “Digital Concrete Rebound Hammer C386N” o mediante el proceso de conexión entre ambos equipos descrito a continuación..

5.4.5.1.1. Presionar el botón 8f y esperar a que el equipo ultrasónico solicite la conexión física del esclerómetro digital, realizar dicha conexión.

5.4.5.1.2. Una vez se muestre la pantalla de promedio realizar la toma de 10 datos con el esclerómetro digital y esperar que el equipo indique que es prudente desconectar el esclerómetro indicando que el ensayo finalizó correctamente.



5.4.5.1.3. Verificar que se encuentra en la pantalla de medición de la resistencia a la compresión y continuar con el análisis.

5.4.5.2. Seleccionar la casilla 8c e ingresar el valor de distancia entre los palpadores, este puede tomarse directamente de la regla marcada o con el uso de una cinta métrica.

5.4.5.3. Presionar el botón 8e (2b) en la pantalla para iniciar la medición. Esperar a que se estabilice la respuesta del equipo (8a).

#### 5.4.6. Profundidad de grieta.



**Figura 9:** Pantalla de medición de la profundidad de la grieta (indicada en el botón 9d).

5.4.6.1. Seleccionar la casilla 9b e ingresar el valor de velocidad de transmisión de la onda para el material de análisis, esta puede ser tomada de la medición del paso 5.4.2.

5.4.6.2. Seleccionar la casilla 9c e ingresar el valor de distancia entre los palpadores, este puede tomarse directamente de la regla marcada o con el uso de una cinta métrica.

5.4.6.3. Presionar el botón 9e (2b) en la pantalla para iniciar la medición. Esperar a que se estabilice la respuesta del equipo (9a).

5.5. Registrar el valor obtenido y repetir la medición si se considera necesario.

## 6. Análisis de losas de puente o pavimentos rígidos

A continuación se describen los pasos recomendados para la evaluación de los elementos mencionados, al ser recomendaciones queda a criterio del operario el cambio de las mismas para un análisis más confiable.

- 6.1. Realizar una inspección visual detallada de la zona de interés y enfatizar los puntos que se considera deben ser analizados con mayor detalle.
- 6.2. Definir un punto de origen en un plano bidimensional para cada elemento a analizar y marcarlo, este será la referencia para cada medición.
- 6.3. Realizar los pasos descritos en la sección 4.
- 6.4. Determinar las distancias por utilizar para el análisis del elemento, se recomienda utilizar una distancia entre palpadores de 25% de la longitud del elemento en el eje de análisis, realizar la medición iniciar a una distancia de 5% de la longitud del elemento desde el punto origen y distanciarse entre mediciones un valor de 30% de la longitud del elemento.



**Figura 10.** Imagen del patron con los puntos de análisis marcados respetando lo mencionado en el paso 6.4.

- 6.5. Con base en las distancia de análisis definidas anteriormente, realizar pruebas que determinen el valor de ganancia y frecuencia optimos para la realizacion de la evaluacion, se recomienda iniciar desde los valores bajos en ambos parámetros hasta alcanzar los requeridos.
- 6.6. Realizar el análisis del elemento y en cada punto seleccionado (incluidos los puntos de interés destacados en la inspeccion visual) tomar las evaluaciones mencionadas en la sección 5.

6.7. Usando como medida de 100% la velocidad obtenida en los patrones de laboratorio para los mismos parámetros de distancia, frecuencia y ganancia realizar una comparación porcentual de las velocidades en cada punto de análisis y determinar si estos presentan discontinuidades entre los palpadores.

6.8. De considerarse necesario utilizar nuevas distancias equivalentes a la mitad de las utilizadas previamente y realizar un análisis sobre los puntos que presenten las variaciones porcentuales consideradas de importancia. Repetir esta paso cuanto se considere necesario.

## 7. Reporte de resultados

Los puntos siguientes deben cumplirse en la entrega de un reporte de evaluación ultrasónica.

7.1. Una tabla como la que se muestra en la figura 11.

7.2. Un reporte escrito recomendando que análisis o pasos siguientes deben realizarse posterior a esta evaluación.

No. de análisis: __		No. de elemento: __							
Ganancia: __		Frecuencia (KHz): __		Evaluación-Ultrasonido					
Coordenadas (± 0,1 cm)		Tiempo de vuelo (± 0,1 μs)	Distancia entre palpadores (± 0,1 cm)	Densidad (Kg/ m3)	Velocidad (±0.01 m/s)	Longitud medida por el equipo (± 0.01 cm)	Variación de la velocidad (± 0.01 %)	Defectología (Si/No)	Descripción sección evaluada
R	T								
10	35	143,9	30	2,281.00	2100	29,97	0	No	

Figura 11. Muestra de resultados de evaluación ultrasónica.

# Anexos



# Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C597; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

## 1. Scope\*

1.1 This test method covers the determination of the propagation velocity of longitudinal stress wave pulses through concrete. This test method does not apply to the propagation of other types of stress waves through concrete.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

- C125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
- C215 Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens
- C823 Practice for Examination and Sampling of Hardened Concrete in Constructions
- E1316 Terminology for Nondestructive Examinations

## 3. Terminology

3.1 *Definitions*—Refer to Terminology C125 and the section related to ultrasonic examination in Terminology E1316 for definitions of terms used in this test method.

## 4. Summary of Test Method

4.1 Pulses of longitudinal stress waves are generated by an electro-acoustical transducer that is held in contact with one

surface of the concrete under test. After traversing through the concrete, the pulses are received and converted into electrical energy by a second transducer located a distance  $L$  from the transmitting transducer. The transit time  $T$  is measured electronically. The pulse velocity  $V$  is calculated by dividing  $L$  by  $T$ .

## 5. Significance and Use

5.1 The pulse velocity,  $V$ , of longitudinal stress waves in a concrete mass is related to its elastic properties and density according to the following relationship:

$$V = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1)$$

where:

- $E$  = dynamic modulus of elasticity,
- $\mu$  = dynamic Poisson's ratio, and
- $\rho$  = density.

5.2 This test method is applicable to assess the uniformity and relative quality of concrete, to indicate the presence of voids and cracks, and to evaluate the effectiveness of crack repairs. It is also applicable to indicate changes in the properties of concrete, and in the survey of structures, to estimate the severity of deterioration or cracking. When used to monitor changes in condition over time, test locations are to be marked on the structure to ensure that tests are repeated at the same positions.

5.3 The degree of saturation of the concrete affects the pulse velocity, and this factor must be considered when evaluating test results (Note 1). In addition, the pulse velocity in saturated concrete is less sensitive to changes in its relative quality.

NOTE 1—The pulse velocity in saturated concrete may be up to 5% higher than in dry concrete.<sup>3</sup>

5.4 The pulse velocity is independent of the dimensions of the test object provided reflected waves from boundaries do not complicate the determination of the arrival time of the directly transmitted pulse. The least dimension of the test object must exceed the wavelength of the ultrasonic vibrations (Note 2).

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.64 on Nondestructive and In-Place Testing.

Current edition approved Dec. 15, 2009. Published February 2010. Originally approved in 1967. Last previous edition approved in 2002 as C597-02. DOI: 10.1520/C0597-09

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup> Bungey, J. H., *Testing of Concrete in Structures*, 2nd ed., Chapman and Hall, 1989, p. 52.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

6.1.4 *Display Unit*—A display unit shall indicate the pulse transit time to the nearest 0.1  $\mu$ s.

6.1.5 *Reference Bar*—For units that use manual zero-time adjustment, provide a bar of metal or other durable material for which the transit time of longitudinal waves is known. The transit time shall be marked permanently on the reference bar. The reference bar is optional for units that perform automatic zero-time adjustment.

6.1.6 *Connecting Cables*—Where pulse-velocity measurements on large structures require the use of long interconnecting cables, use low-capacitance, shielded, coaxial cables.

6.1.7 *Coupling Agent*—A viscous material (such as oil, petroleum jelly, water soluble jelly, moldable rubber, or grease) to ensure efficient transfer of energy between the concrete and the transducers. The function of the coupling agent is to eliminate air between the contact surfaces of the transducers and the concrete. Water is an acceptable coupling agent when ponded on the surface, or for underwater testing.

## 7. Procedure

7.1 *Functional Check of Equipment and Zero-time Adjustment*—Verify that the equipment is operating properly and perform a zero-time adjustment.

7.1.1 *Units with Automatic Zero-Time Adjustment*—Apply coupling agent to the transducer faces and press the faces together. The instrument uses a microprocessor to record this delay time, which is subtracted automatically from subsequent transit time measurements.

NOTE 8—A reference bar may be used to verify that the zero-time adjustment has been performed correctly.

7.1.2 *Units with Manual Zero-Time Adjustment*—Apply coupling agent to the ends of the reference bar, and press the transducers firmly against the ends of the bar until a stable transit time is displayed. Adjust the zero reference until the displayed transit time agrees with the value marked on the bar.

7.1.3 Check the zero adjustment on an hourly basis during continuous operation of the instrument, and every time a transducer or connecting cable is changed. If zero-time adjustment cannot be accomplished, do not use the instrument until it has been repaired.

### 7.2 Determination of Transit Time:

7.2.1 For testing existing construction, select test locations in accordance with Practice C823, or follow the requirements of the party requesting the testing, whichever is applicable.

7.2.2 For best results, locate the transducers directly opposite each other. Because the beam width of the vibrational pulses emitted by the transducers is large, it is permissible to measure transit times across corners of a structure but with some loss of sensitivity and accuracy. Measurements along the same surface shall not be used unless only one face of the structure is accessible since such measurements may be indicative only of surface layers, and calculated pulse velocities will not agree with those obtained by through transmission (Note 9).

NOTE 9—One of the sources of uncertainty in surface tests is the lengths of the actual travel paths of the pulses. Hence, individual readings are of little value. Surface tests, however, have been used to estimate the depth of a lower quality surface layer by making multiple measurements of

transit time with varying distances between the transducers. From the plot of travel time versus spacing, it may be possible to estimate the depth of the lower quality concrete.<sup>5</sup>

7.2.3 Apply an appropriate coupling agent (such as water, oil, petroleum jelly, grease, moldable rubber, or other viscous materials) to the transducer faces or the test surface, or both. Press the faces of the transducers firmly against the surfaces of the concrete until a stable transit time is displayed, and measure the transit time (Note 10). Determine the straight-line distance between centers of transducer faces.

NOTE 10—The quality of the coupling is critically important to the accuracy and maximum range of the method. Inadequate coupling will result in unstable and inaccurate time measurements, and will significantly shorten the effective range of the instrument. Repeat measurements should be made at the same location to minimize erroneous readings due to poor coupling.

## 8. Calculation

8.1 Calculate the pulse velocity as follows:

$$V = L/T \quad (2)$$

where:

$V$  = pulse velocity, m/s,

$L$  = distance between centers of transducer faces, m, and

$T$  = transit time, s.

## 9. Report

9.1 Report at least the following information:

9.1.1 Location of test or identification of specimen.

9.1.2 Location of transducers.

9.1.3 Distance between centers of transducer faces, reported to a precision of at least 0.5 % of the distance.

9.1.4 Transit time, reported to a resolution of at least 0.1  $\mu$ s.

9.1.5 Pulse velocity reported to the nearest 10 m/s.

## 10. Precision and Bias

### 10.1 Precision:

10.1.1 Repeatability of results have been investigated using devices with CRT displays. It is expected that the repeatability with digital display devices will be better than stated as follows.

10.1.2 Tests involving three test instruments and five operators have indicated that for path lengths from 0.3 to 6 m through sound concrete, different operators using the same instrument or one operator using different instruments will achieve repeatability of test results within 2 %. For longer path lengths through sound concrete, attenuation of the signal will decrease the absolute repeatability of the transit-time measurement, but the longer transit time involved will result in a calculation of velocity having the same order of accuracy.

10.1.3 In the case of tests through badly cracked or deteriorated concrete, the variation of the results are substantially increased. Attenuation is affected by the nature of the deterioration and the resonant frequency of the transducers. Differences between operators or instruments may result in differences in test results as large as 20 %. In such cases, however,

<sup>5</sup> Chong, H. W., and Law, K. S., "Assessing Fire Damage of Concrete by the Ultrasonic Pulse Technique," *Cement, Concrete, and Aggregates*, CCAGDP, Vol. 7, No. 2, Winter, 1985, pp. 84–88.

NOTE 2—The wavelength of the vibrations equals the pulse velocity divided by the frequency of vibrations. For example, for a frequency of 54 kHz and a pulse velocity of 3500 m/s, the wavelength is  $3500/54000 = 0.065$  m.

5.5 The accuracy of the measurement depends upon the ability of the operator to determine precisely the distance between the transducers and of the equipment to measure precisely the pulse transit time. The received signal strength and measured transit time are affected by the coupling of the transducers to the concrete surfaces. Sufficient coupling agent and pressure must be applied to the transducers to ensure stable transit times. The strength of the received signal is also affected by the travel path length and by the presence and degree of cracking or deterioration in the concrete tested.

NOTE 3—Proper coupling can be verified by viewing the shape and magnitude of the received waveform. The waveform should have a decaying sinusoidal shape. The shape can be viewed by means of outputs to an oscilloscope or digitized display inherent in the device.

5.6 The results obtained by the use of this test method are not to be considered as a means of measuring strength nor as an adequate test for establishing compliance of the modulus of elasticity of field concrete with that assumed in the design. The longitudinal resonance method in Test Method C215 is recommended for determining the dynamic modulus of elasticity of test specimens obtained from field concrete because Poisson's ratio does not have to be known.

NOTE 4—When circumstances permit, a velocity-strength (or velocity-modulus) relationship may be established by the determination of pulse velocity and compressive strength (or modulus of elasticity) on a number of samples of a concrete. This relationship may serve as a basis for the estimation of strength (or modulus of elasticity) by further pulse-velocity tests on that concrete. Refer to ACI 228.1R<sup>4</sup> for guidance on the procedures for developing and using such a relationship.

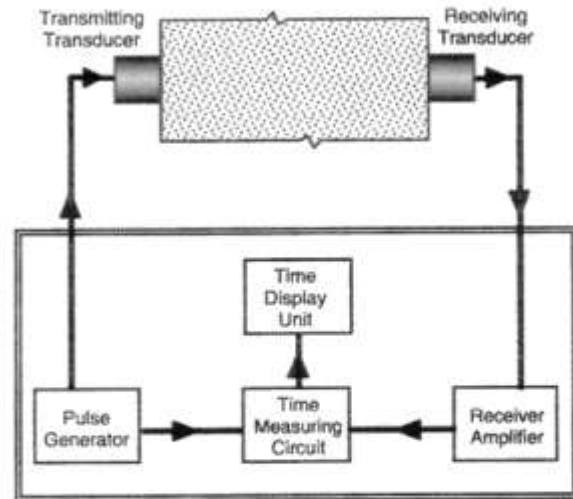
5.7 The procedure is applicable in both field and laboratory testing regardless of size or shape of the specimen within the limitations of available pulse-generating sources.

NOTE 5—Presently available test equipment limits path lengths to approximately 50-mm minimum and 15-m maximum, depending, in part, upon the frequency and intensity of the generated signal. The upper limit of the path length depends partly on surface conditions and partly on the characteristics of the interior concrete under investigation. A preamplifier at the receiving transducer may be used to increase the maximum path length that can be tested. The maximum path length is obtained by using transducers of relatively low resonant frequencies (20 to 30 kHz) to minimize the attenuation of the signal in the concrete. (The resonant frequency of the transducer assembly determines the frequency of vibration in the concrete.) For the shorter path lengths where loss of signal is not the governing factor, it is preferable to use resonant frequencies of 50 kHz or higher to achieve more accurate transit-time measurements and hence greater sensitivity.

5.8 Since the pulse velocity in steel is up to double that in concrete, the pulse-velocity measured in the vicinity of the reinforcing steel will be higher than in plain concrete of the same composition. Where possible, avoid measurements close to steel parallel to the direction of pulse propagation.

6. Apparatus

6.1 The testing apparatus, shown schematically in Fig. 1, consists of a pulse generator, a pair of transducers (transmitter



NOTE 1—It is advantageous to incorporate the pulse generator, time measuring circuit, receiver amplifier, and time display into one unit.  
 FIG. 1 Schematic of Pulse Velocity Apparatus

and receiver), an amplifier, a time measuring circuit, a time display unit, and connecting cables.

6.1.1 *Pulse Generator and Transmitting Transducer*—The pulse generator shall consist of circuitry for generating pulses of voltage (Note 6). The transducer for transforming these electronic pulses into wave bursts of mechanical energy shall have a resonant frequency in the range from 20 to 100 kHz (Note 7). The pulse generator shall produce repetitive pulses at a rate of at least 3 pulses per second. The time interval between pulses shall exceed the decay time for the transmitting transducer. The transducer shall be constructed of piezoelectric, magnetostrictive, or other voltage-sensitive material, and housed for protection. A triggering pulse shall be produced to start the time measuring circuit.

NOTE 6—The pulse voltage affects the transducer power output and the maximum penetration of the longitudinal stress waves. Voltage pulses of 500 to 1000 V have been used successfully.

NOTE 7—Transducers with higher resonant frequencies have been used successfully in relatively small laboratory specimens.

6.1.2 *Receiving Transducer and Amplifier*—The receiving transducer shall be similar to the transmitting transducer. The voltage generated by the receiver shall be amplified as necessary to produce triggering pulses to the time-measuring circuit. The amplifier shall have a flat response between one half and three times the resonant frequency of the receiving transducer.

6.1.3 *Time-Measuring Circuit*—The time-measuring circuit and the associated triggering pulses shall be capable of providing an overall time-measurement resolution of at least 1 μs. Time measurement is initiated by a triggering voltage from the pulse generator, and the time measuring circuit shall operate at the repetition frequency of the pulse generator. The time-measuring circuit shall provide an output when the received pulse is detected, and this output shall be used to determine the transit time displayed on the time-display unit. The time-measuring circuit shall be insensitive to operating temperature in the range from 0 to 40°C and voltage changes in the power source of ± 15 %.

<sup>4</sup> "In-Place Methods to Estimate Concrete Strength," ACI 228.1R, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

calculated velocities will be sufficiently low as to indicate clearly the presence of distress in the concrete tested.

10.2 *Bias*—Bias of this test method has not been determined.

## 11. Keywords

11.1 concrete; longitudinal stress wave; nondestructive testing; pulse velocity ; ultrasonic testing

## SUMMARY OF CHANGES

Committee C09 has identified the location of selected changes to this test method since the last issue, C597-02, that may impact the use of this test method. (Approved December 15, 2009)

- (1) Revised 6.1.1 by adding a requirement that the time interval between pulses has to exceed the decay time of the transmitter, and the listing of transducer materials was deleted.
- (2) Revised the requirements for the display unit in 6.1.4 and deleted reference to cathode ray tubes.
- (3) Revised the reporting requirement for transit time in 9.1.4 to a resolution of at least 0.1  $\mu$ s.

- (4) Revised the description of the reference bar in 6.1.5 to clarify that the bar is not required with units that use automatic zero-time adjustment.
- (5) Revised the procedure in 7.1 to address units that use automatic zero-time adjustment and units that use manual zero-time adjustment.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT/).*



	<b>LGC INGENIERÍA DE PAVIMENTOS S.A.</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b>	RC-30 V. 14
		Aprobado: 2013-07-30
		Firma: <i>L. J. ...</i>
		Páginas 8 de 20 N° Informe 12-46-2013

**DOSIFICACIÓN DE DISEÑO**

Cantidades secas estimadas por metro cubico de concreto	kg/m <sup>3</sup>
Cemento (kg)	460
Agregado Grueso (Piedra cuarta del Peñón de la Bajura) (kg)	592.5
Agregado Grueso (Piedra Quinta del Peñón de la Bajura) (kg)	395
Agregado Fino (Arena del Tempisque) (kg)	327.4
Agregado Fino (Polvo de Piedra pedregal) (kg)	327.5
Agua (l)	179.0
<b>Total</b>	<b>2281.6</b>

Cantidades secas estimadas por metro cubico de concreto	kg/m <sup>3</sup>
Cemento (kg)	460
Agregado Grueso (Piedra cuarta del Peñón de la Bajura) (kg)	605.3
Agregado Grueso (Piedra Quinta del Peñón de la Bajura) (kg)	403.5
Agregado Fino (Arena del Tempisque) (kg)	337.8
Agregado Fino (Polvo de Piedra pedregal) (kg)	357.8
Agua (l)	179.0
<b>Total</b>	<b>2322.8</b>



**Univista Protección Radiológica**  
  
 008-408-60-025-3006.Y

LGC Ingeniería de Pavimentos S.A.  
 Laboratorio y Control de Calidad de Materiales  
 300 m. Carretera y 75 Norte del monumento de  
 Desamparado, San José, Costa Rica.

Tel: 2218-1000  
 Tel: 2218-8018  
 Tel: 2550-6044  
 E-mail: [soportecliente@lgcsl.com](mailto:soportecliente@lgcsl.com)

Laboratorio Acreditado: NITE 1540 182 17025-2008  
 Atenciones LE-054, LE-054-AD1, LE-054-AD2. Registrado en [www.ccrs.cr](http://www.ccrs.cr)

25 / Oct / 2013

Instituto Tecnológico de Costa Rica - ITC - Apdo. 159-7050 Cartago, Costa Rica - Tel: 2550-2309 - Fax: (506) 2951-6663

Sr.  
Juan Fernando Medina.  
Presente

**INFORME FINAL**  
**Ensayos en concreto**

**MEZCLA:** Mezcla de concreto muestreada en sitio por personal del laboratorio. Dicha mezcla es utilizada para la construcción de la losa del pavimento rígido de la ruta Cañas-Liberia.

**MATERIAL:** Se muestrearon 3 cilindros de concreto para fallar a 7, 14 y 28 días y una viga de concreto para fallar a flexión a 28 días.

**ENSAYOS:** Determinación de la resistencia a la compresión según procedimientos de la norma ASTM C-39 y resistencia a la flexión de concreto según los procedimientos de la norma ASTM C-78.

**RESULTADOS:**

**Resistencia a la compresión de cilindros de concreto (ASTM C-39)**

Identificación	Fecha de moldeo	Edad (días)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
C-405-13	13 / Set / 2013	7	32,22	328,55
C-406-13		14	36,20	369,14
C-407-13		28	39,55	403,30

**Notas:**

•Un MPa = 10,197162 kg/cm<sup>2</sup>.

**Resistencia a la flexión de vigas de concreto (ASTM C-39)**

Identificación	Fecha de moldeo	Edad (días)	Carga última a flexión (kN)	Carga última a flexión (kg)
V-001-13	13 / Set / 2013	28	30,31	3093,00

Atentamente,



Eduardo Arce Mena.  
Técnico Asignado



Ing. Alonso Poveda Montoya.  
Gerente Técnico



ALP  
Ci: Archivo

-----  
FIN

# Referencias

- AASHTO Guide Manual for Bridge Element Inspection. First Edition. American Association of State and Transportation Officials AASHTO. 2011.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). *The Manual for Bridge Evaluation. Estados Unidos: AASHTO, 2011.*
- ASTM C 31 Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field
- ASTM C 39, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C 78/C 78M flexural strength of concrete ( using simple beam with third-Point Loading)
- ASTM C 597 Standard test method for Pulse Velocity Through concrete
- Bridge Inspector's Reference Manual. Publication No. FHWA NHI 03-001. National Highway Institute (NHI). U.S Department of Transportation. Federal Highway Administration. October 2002, revised December 2006.
- Calo, Diego H. ciudad de Córdoba 2008 *JORNADA DE ACTUALIZACION TECNICA DISEÑO Y CONTRUCCION DE PAVIMENTOS DE HORMIGON, Córdoba*, Diseño de pavimentos Rígidos informe diapositiva.
- Chávez García H.L, Martínez Molina W., Alonso Guzmán E.M y González F. Santoyo Empleo de técnicas no destructivas de ultrasonido para la caracterización del concreto hidráulico.
- Cubero Osvaldo, 2012. *Metodología para la determinación de las carga viva real sobre un puente utilizando instrumentación electrónica estructural y propuesta de reforzamiento puente sobre el Río Purires, Cartago Costa Rica, Informe proyecto de Graduación. Escuela de ingeniería de construcción; Tecnológico de Costa Rica.*
- Matest Spa, Instruction Manual "High Performance" Ultrasonic Tester" Italia 2009 Manual Code C372N.M01.EN.05.
- Matest Spa, Instruction Manual "Digital Concrete Matest Test Hammer" Italia 2012, Manual Code C386N.M01.EN.06.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. *El sistema de puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.* Tomado desde la página del MOPT <http://www.mopt.go.cr/planificacion/carreteras/puentes.asp>. Consultado el 26 de julio de 2012 a la 1:15 p.m.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. *Informe Final sobre el Estudio sobre el Desarrollo de Capacidad en la Planificación de Rehabilitación, Mantenimiento y Administración de Puentes basado en 29 Puentes de la Red de Carreteras Nacionales.* Agencia de Cooperación Internacional de Japón. San José, Costa Rica. Febrero, 2007.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). 2007. *Manual de Inspección de Puentes.* San José, Costa Rica.
- Proyecto E-bridge, (2012). Documentos curso monitoreo y evaluación de estructura de puentes. Cartago, Costa Rica.

- The Manual for Bridge Evaluation. Second Edition. American Association of State and Transportation Officials AASHTO. 2011.
- Vargas, Katherine. *Proyecto de Graduación: Inspección Visual; Diciembre del 2013.*
- Walter Raúl Barrios Bolaños 2007 *GUIA TEORICA Y PRACTICA DEL CURSO DE PAVIMENTOS Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS* Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala 145 páginas.

