

**PRACTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA
METALÚRGICA EN APOYO A LAS ACTIVIDADES DEL
AREA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE LA EMPRESA
KER INGENIERÍA**

CESAR DUBBIER CASTRO HERNANDEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-QUÍMICAS
BUCARAMANGA**

2019

**PRACTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA
METALÚRGICA EN APOYO A LAS ACTIVIDADES DEL
AREA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE LA EMPRESA
KER INGENIERÍA**

CESAR DUBBIER CASTRO HERNANDEZ

**Trabajo de grado, (Modalidad, práctica empresarial) para optar al título de
Ingeniero Metalúrgico**

Director(a)

**CARLOS GALAN PINILLA
M.Sc Ingeniería de Materiales**

Codirector(a)

**CARLOS EDUARDO RUIZ NAVARRO
Ingeniero civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-QUÍMICAS
BUCARAMANGA**

2019

DEDICATORIA

A Dios y A la vida. Por darme tanto, los atardeceres, amaneceres, las tristezas y alegrías.

A mi padre Augusto, mi madre Juliana, mi hermana Daniela, abuelos y tíos por ser las estrellas que alimentan mi existencia, quienes siempre me acompañaron, dándome la valentía y firmeza en los momentos difíciles y demostrándome la importancia de la familia y el amor como instrumento para alcanzar mis metas. A mi amiga Adriana Cáceres y a toda su familia quienes me acogieron como un miembro más y fueron un apoyo constante en el camino hacia este logro.

A José Gregorio Hernández, Freddy Hernández, Karen Fierro, por su apoyo incondicional y motivación a lo largos de estos años, de ellos aprendí que por las metas se suspira y se trabaja.

Al tiempo, por volverse mí aliado con el pasar de los años y mostrarme que cada acontecimiento tiene su lugar en la tierra, más tarde o más temprano, las metas se alcanzan, las almas se encuentran, los años llegan y las prioridades cambian.

A Yeilly Smith y Oscar Calixto, por todos sus consejos, cariño y apoyo.

A Luis Orlando Aguirre, por su inspiración y enseñanzas

AGRADECIMIENTOS

A mi director Carlos Galán por confiar en mis capacidades, por orientarme durante este proceso con su conocimiento y a los profesores de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica quienes hicieron parte de mi formación como Ingeniero Metalúrgico.

A mis compañeros; Gina, Sebastián, Juan, Ferchales y Leidy, por acogerme en su escuadra de trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	13
1. OBJETIVOS	15
1.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	16
2.1 REVISION BIBLIOGRAFICA	16
2.2 CAPACITACION EN EL MANEJO DE EQUIPOS Y SOFTWARE DE KER INGENIERIA.....	16
2.3 CARACTERIZACION DE LAS FALLAS Y PROBLEMAS DEL SOFTWARE WIN UPV	17
2.4 APOYAR EN EL ÁREA DE END DE LA EMPRESA KER INGENIERIA	17
2.5 PARTICIPAR EN PROYECTOS DE INSPECCION DE LA EMPRESA.....	18
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	19
3.1 ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS CON EL SOFTWARE WIN UPV	19
3.2 DESARROLLO DE LA GUIA TECNICA DE SELECCIÓN DE END	21
3.3 PARTICIPACION EN PROYECTOS DE INSPECCION DE LA EMPRESA.....	24
4. CONCLUSIONES	31
5. RECOMENDACIONES.....	32
BIBLIOGRAFÍA.....	33
ANEXOS	35

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Problemas encontrados en el manejo software Win UPV.....	20
Tabla 2. Selección de END para la detección de defectos específicos, según elemento estudiado.....	21
Tabla 3. Metodología de análisis de datos de END tomados en campo basados en la norma ACI 228-2R	23
Tabla 4. Datos de Esclerometría obtenidos en campo	26
Tabla 5. Resultados provenientes de la toma de datos haciendo uso del esclerómetro..	27
Tabla 6. Resultados pruebas VPU	28

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Calibración, adquisición y análisis de datos de VPU Calibración.	19
Figura 2. Procedimiento seguido para realizar pruebas de Esclerometría	20
Figura 3. .Espectro de Ensayo mediante la técnica de Velocidad de Pulso Ultrasónico	30

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Ejemplos de ejecución de END en concreto.	35
Anexo B. .Patologías estructurales.....	35
Anexo C. Procedimientos de ejecución de los END según la ACI 228 (sección 1R-2R).....	38

RESUMEN

TÍTULO: PRACTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA METALÚRGICA EN APOYO A LAS ACTIVIDADES DEL AREA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE LA EMPRESA KER INGENIERÍA

AUTORES: CESAR DUBBIER CASTRO HERNANDEZ

PALABRAS CLAVES: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, PATOLOGÍA ESTRUCTURAL, VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO (VPU).

DESCRIPCIÓN:

El aumento demográfico es cada año más notorio demandando lugares e infraestructura aptos y seguros para ser habitados y poder desarrollar sus actividades industriales, comerciales, agrícolas, entre otras, con altas exigencias estructurales y estéticas.

Dichas estructuras de concreto presentan un deterioro constante durante su periodo de servicio, debido a factores ambientales, cargas vivas, asentamientos, y a posibles defectos inducidos durante sus procesos constructivos, baja calidad de los materiales utilizados y la ubicación geográfica, entre otras. Como consecuencia, se presentan daños físicos como son las grietas, vacíos y desprendimiento del material; daños químicos como son la carbonatación del concreto, pérdida de resistencia del material, corrosión del refuerzo y pérdidas de adherencia, entre otras; todas catalogadas como patologías estructurales. Debido a estos antecedentes, surge la necesidad de localizar estos defectos mediante Ensayos No Destructivos, END, que, sin afectar la estructura, permitan detectar de manera oportuna estas patologías estructurales, actividades que ha venido realizando la empresa KER INGENIERÍA desde hace varios años. Sin embargo, los empleados han reportado problemas al momento de seleccionar los ensayos más apropiados a realizar de acuerdo con cada estructura y tipo de daño a evaluar, y por otra parte el software de análisis de datos Win UPV presenta problemas que dificultan el proceso de obtención y análisis de resultados fiables de manera rápida por parte de la empresa.

Como respuesta a lo anterior surgió la presente práctica empresarial, en la cual se brindó apoyo en las labores desarrolladas por los profesionales de la empresa KER INGENIERIA, evaluando los fallos presentados por el software de análisis de datos provenientes de la técnica de Velocidad de Pulso Ultrasónico.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingeniería fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Director: MsC. Carlos Galán. Codirector: Ing. Carlos Ruiz

ABSTRACT

TITLE: IMPLEMENTTION OF NON-DESTRUCTIVE TESTING AND TECHNICAL SUPERVISION DURING A PROFESSIONAL INTERSHIP AT THE COMPANY KER INGENIERIA

AUTHORS: CESAR DUBBIER CASTRO HERNANDEZ

KEY WORDS: NON-DESTRUCTIVE TEST, CONCRETE, STRUCTURAL PATHOLOGIES, ULTRASONIC PULSE VELOCITY (UPV).

DESCRIPTION:

Every year, the demographic growth is increasing considerably. Such increase in population demands for safe and inhabitable infrastructure suitable to develop industrial, commercial and agricultural activities, while keeping high structural and esthetic requirements.

During their lifespan, concrete structures undergo progressive deterioration due to environmental factors, load capacity and failure in settlement of their foundations. Additionally, defects originated during the building of the structure, poor quality of the raw materials used, and the topology of the terrain can also contribute to the structural wear of a building. As a consequence, these factors promote physical and chemical structural pathologies such as cracks, voids, fissures, carbonation of concrete, loss of resistance of the material, corrosion of the reinforcement and loss of adhesion. As a result, there is a constant need to localize such defects before hand through the implementation of Non-Destructive Testing approaches, which without affecting the structure of the building allow the detection of various structural pathologies. Precisely, these types of structural testing encompass some of the activities that the company KER INGENIERIA has been carrying out for several years. Along these lines, with the idea of refining the current process for selecting appropriate testing methods and to improve the process of data collection and data analysis, the company KER INGENIERIA envisioned an optimization of their current protocols.

In response to the above-mentioned challenges this professional internship emerged, in which technical support was provided to experts working at the company KER INGENIERIA.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingeniería físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Directores: MsC. Carlos Galán Codirector: Ing. Carlos Ruíz

INTRODUCCIÓN

El concreto es un material compuesto que es utilizado para la fabricación de estructuras civiles por sus propiedades físicas, mecánicas, facilidad de construcción y bajos costos ¹. Lo anterior se logra siguiendo procesos de fundición en moldes, teniendo en cuenta normas y diseños de concretos específicos, según el elemento a fabricar, ya sean: pilotes, caissons, placas, pantallas, columnas, entre otras ².

Durante los procesos de construcción y durante el servicio las estructuras pueden presentar defectos derivados de los moldes, de los materiales empleados, de las malas prácticas de construcción, entre otras. Esto ha propiciado la aparición de múltiples fallas, además, de siniestros lamentables, evidenciados en múltiples estructuras colombianas y a nivel mundial, lo cual ha generado cuantiosas pérdidas humanas y materiales, como los presentados en los casos SPACE, HISGAURA, Puente GENOVA, entre otros.

Los casos mencionados son ejemplo de la necesidad de realizar constantes supervisiones técnicas, las cuales se enfocan en garantizar la calidad en el proceso constructivo, contribuyendo al óptimo desarrollo de las etapas que se llevan a cabo durante la edificación y su posterior mantenimiento. Sin embargo, es necesario a su vez evaluar las patologías que evidencian las deficiencias mencionadas previamente, como daños y fallas en las edificaciones. Para la identificación y caracterización oportuna de estas patologías se recurre al uso de Ensayos No Destructivos, END, que permiten obtener información, sin alterar la estructura, funcionamiento y apariencia, actividades que realiza desde hace varios años la empresa KER INGENIERIA. Los ensayos empleados para la evaluación de elementos de concreto están basados en los principios del ultrasonido, el

¹ KER INGENIERIA S.A.S., [en línea] [Citado 20 de Julio de 2018] Disponible en: <https://www.keringeneria.com/>

² Ibíd.

magnetismo, la energía de rebote, entre otros. Sin embargo, la empresa ha venido presentando múltiples dificultades en el análisis de resultados mediante el uso del software adquirido junto con los equipos, lo cual ha limitado el alcance de las pruebas y ha restringido la posibilidad de emitir conceptos sobre elementos evaluados, aspectos exigidos por las normas que rigen la construcción ^{3.4}. Por otra parte, KER INGENIERIA. no cuenta con criterios que permitan seleccionar el o los END a aplicar, ni con los procedimientos a seguir con base en el elemento⁵ o defecto a evaluar, siendo estos los objetivos abordados en el presente trabajo de grado.

³ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Bogotá, Ministerio de Minas, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010.

⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC), Norma Técnica Colombiana NTC 396, Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto (ASTM C 143), Bogotá, Ministerio de desarrollo económico, 1992

⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC), Norma Técnica Colombiana NTC 454, Ingeniería Civil y Arquitectura. Concretos. Concreto fresco. Toma de muestras (ASTM C 172), Bogotá, Ministerio de desarrollo económico, 1998

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Apoyar el área de Ensayos No Destructivos en la empresa KER INGENIERÍA S.A.S. mediante la modalidad de práctica empresarial.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la causa de los problemas presentados por el software Win UPV de análisis de resultados para la técnica de inspección a partir de Velocidad de Pulso Ultrasónico (UPV).
- Establecer una Guía técnica para selección, ejecución y análisis de los Ensayos No Destructivos que deben aplicarse en los elementos a evaluar.
- Apoyar a los profesionales del grupo KER INGENIERIA en las actividades diarias de la empresa en el área de END.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en 5 etapas, las cuales se describen a continuación.

2.1 REVISION BIBLIOGRAFICA

Durante el desarrollo del presente proyecto se consultaron fuentes de literatura; como las normas que rigen los procedimientos generales de la construcción, análisis de datos e inspección de obras civiles, como la ACI, ASTM, NTC, entre otras⁶, y búsqueda en bases de datos de los temas relacionados en artículos científicos, al igual que información y formatos de la empresa, software de análisis de resultados, manuales de equipos, entre otros, referenciados a lo largo del documento.⁷.

2.2 CAPACITACIÓN EN EL MANEJO DE EQUIPOS Y SOFTWARE DE KER INGENIERIA.

Debido a las implicaciones legales y económicas generadas por errores cometidos durante una mala aplicación de los ensayos, en la presente etapa se recibió capacitación por parte de los profesionales de KER INGENIERIA en el manejo de los equipos; seguidamente, se realizó un estudio detallado de la información proporcionada en los manuales, las normas que los rigen e información en la bibliografía consultada de cada técnica. Para el presente proyecto, se incluyó la capacitación del software WinUPV 2.4.1 (2012) empleado para analizar los resultados obtenidos mediante la técnica de inspección de Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU). Adicionalmente, se recibió capacitación en los siguientes

⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC), Norma Técnica Colombiana NTC 550, Concretos. Elaboración y curado de especímenes. Concreto en obra de muestras (ASTM C 470), Bogotá, Ministerio de desarrollo económico, 2000

⁷ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Op. Cit.

equipos de inspección con su respectivo software: NDE 360 de Olson Instruments usado para los ensayos Sonic Echo, Impact Echo; escáner PROCEQ-PROFOMETER 650, y el esclerómetro de la marca PROCEQ (Original Schmidt Live). Los resultados de la presente etapa fueron tenidos en cuenta para el desarrollo de una guía técnica para selección, ejecución y análisis de los Ensayos No Destructivos presentada en el siguiente capítulo. ⁸.

2.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS FALLAS Y PROBLEMAS DEL SOFTWARE WIN UPV

Con base en la información de la empresa y a los problemas del software Win UPV (2012), se tomó un dato obtenido sobre el bloque de calibración y se realizó el protocolo completo de análisis, detectando el o los problemas presentados en el proceso y se concluyó para cada error si correspondía a un problema de configuración, de funcionamiento o de incompatibilidad del software con el sistema operativo del computador y programas secundarios requeridos. Lo anterior se realizó teniendo en cuenta la gráfica de calibración de referencia esperada y las proporcionados por el fabricante; los resultados de la presente etapa se presentan en el siguiente capítulo⁹.

2.4 APOYAR EN EL ÁREA DE END DE LA EMPRESA KER INGENIERIA.

Con el objetivo de facilitar la selección de la o las técnicas más adecuadas a emplear, y dependiendo del tipo de elemento a evaluar, según si son placas, pilotes, caissons o pantallas, y de acuerdo a los defectos que se esperan detectar, entre ellos: vacíos, grietas, falta de adherencia con el refuerzo, carbonatación y descascaramientos.

⁸ KER INGENIERIA S.A.S., Op. Cit.

⁹ Ibíd.

2.5 PARTICIPAR EN PROYECTOS DE INSPECCIÓN DE LA EMPRESA.

En el desarrollo de la presente práctica empresarial se participó en múltiples proyectos de análisis y servicios de inspección colaborando en la aplicación de los ensayos, toma de datos, traslado de equipos, registros fotográficos y análisis de resultados con el grupo de ingenieros.


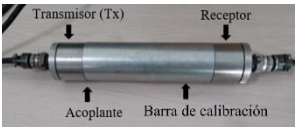
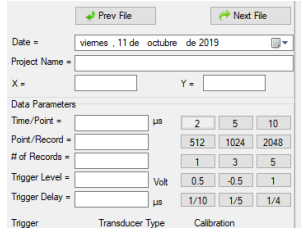
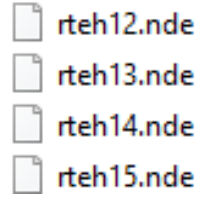
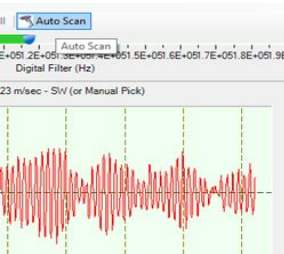
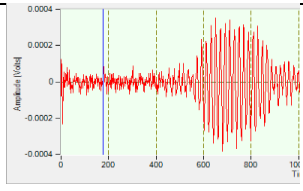
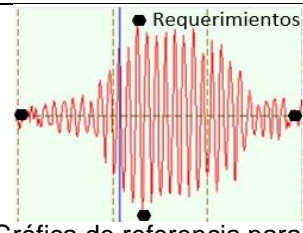
En el siguiente capítulo se presenta un caso de estudio en el cual se participó. Este consistió en evaluar una estructura que está en proceso de construcción, que cuenta con placas, pantallas y losas que hacen parte de la cimentación y el soporte de una edificación de veinticinco plantas, la cual presenta por su ubicación geográfica y diseño unas cargas elevadas y requería un concepto técnico por dudas sobre su integridad y resistencia mínima del concreto requerida.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS CON EL SOFTWARE WIN UPV

A continuación, se presentan las principales etapas para realizar el análisis de un dato de Velocidad de Pulso Ultrasónico, VPU, con su respectiva imagen, al evaluar barra de referencia y calibración. Se incluye en la figura 2 desde la toma del dato (ver anexo c) hasta la interpretación del resultado con el software correspondiente, con el objetivo de detectar y analizar todas las anomalías del software, las imágenes fueron tomadas por el autor.

Figura 1. Calibración, adquisición y análisis de datos de VPU Calibración.

 <p>a) Equipo y accesorios Olson Instruments</p>	 <p>b) Configuración para la adquisición de un dato.</p>	 <p>c) Interfaz del Software Win UPV 2012.2.1</p>																																										
 <p>d) Cargar los datos</p>	<p>Enter Calibrations Start Excel Worksheet Save Excel Worksheet Close Excel Worksheet</p> <p>e) Abrir hoja de Excel</p>	<table border="1" data-bbox="1079 1312 1372 1438"> <thead> <tr> <th>filename</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Time</th> <th>Distance</th> <th>Energy</th> <th>Velocity</th> </tr> <tr> <td></td> <td>(m)</td> <td>(m)</td> <td>(micro-sec)</td> <td>(m)</td> <td>(V.sec)</td> <td>(m/s)</td> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table> <p>f) Tablas de registro</p>	filename	X	Y	Time	Distance	Energy	Velocity		(m)	(m)	(micro-sec)	(m)	(V.sec)	(m/s)																												
filename	X	Y	Time	Distance	Energy	Velocity																																						
	(m)	(m)	(micro-sec)	(m)	(V.sec)	(m/s)																																						
 <p>g) "AutoScan"</p>	 <p>h) Análisis de la gráfica</p>	 <p>i) Gráfica de referencia para comparación.</p>																																										

Para realizar el análisis del dato se inició aplicando grasa acoplante recomendada por el fabricante (Lubriplate-115), seguidamente se acopla el transductor transmisor (Tx) y receptor (Rx) a la barra de calibración, se adquiere el dato con el equipo y accesorios mostrados en la figura 1a y se adquiere el dato con la configuración indicada en la figura 1b, posteriormente, se presentan los pasos que incluyen cargar el dato tomado por el equipo al software, crear una hoja de Excel para guardar los resultados y graficas obtenidas. Seguidamente se realiza un auto escaneó de la gráfica, que permite establecer las variables a medir (Tiempo, distancia y frecuencia), como se presenta en la figura 1c, 1d, 1e, 1f. Finalmente, se toman los datos a partir de la gráficas mostradas en las figuras 1g y 1h y se comparan con la figura 1i, apreciando una gran similitud entre ellas, donde, la amplitud máxima y mínima deben tener la misma magnitud, la onda debe iniciar en el punto (0,0) desde el eje y ser continua durante toda su trayectoria, cumpliendo con los requisitos establecidos por el proveedor; de ésta manera se adquiere y se analiza un dato concluyendo que el equipo se encuentra calibrado, en caso de no, debe enviarse a la casa matriz del fabricante para su calibración.

En la tabla 1 se registraron los problemas detectados al realizar el proceso de adquisición y análisis de un dato proveniente del bloque patrón y datos de campo según el procedimiento seguido en la figura 1, de los cuales, ninguno de los problemas encontrados ha sido reportados en el manual de uso del año 2012 o en las actualizaciones de la página del proveedor.

Tabla 1. Problemas encontrados en el manejo Software *Win UPV*

PROBLEMAS SOFTWARE WIN UPV
1) El Software presenta problemas para abrir y reconocer los datos recolectados en campo (ver figura 3 c-f) cuando el Excel empleado no corresponde al año de la versión del software. Se genera retraso en el análisis de resultados, este problema de compatibilidad se soluciona haciendo coincidir las versiones del Excel con la del año de adquisición del software.
2) El software despliega una hoja adicional de Excel cuando se realiza el análisis de datos, que al cerrarse origina que el software se detenga perdiendo la totalidad de los datos analizados.

3) A pesar de poder cargar más de cien datos, el software no permite analizar datos que no sean subsecuentes, esto impide que el análisis se pueda realizar de manera continua, provocando pérdidas de tiempo al operador. En caso de intentar realizar un salto en el análisis de datos, el programa se bloquea y se cierra de manera automática, perdiendo completamente los análisis.

Solo es posible realizar un análisis continuo de datos, es decir todos los datos tendrán que ser analizados de una sola vez, en caso de realizar una pausa, guardar el Excel y luego abrirlo para retomar, el software se bloquea. La única opción es crear un documento nuevo de Excel y luego pegar las partes para formar un solo documento final. Lo anterior provoca un retraso en el análisis de elementos con muchos datos.

4) El software no permite mantener criterios específicos para analizar un grupo de datos (tiempo, distancia), sino que se deben establecer los criterios para cada dato analizado dentro del grupo, retrasando el proceso (ver figura 3f).

Posteriormente se envió un documento al proveedor Olson Instruments U.S.A especificando los problemas y fallas que presenta el software al cual ellos manifestaron que verificaron los problemas y se resolverán en la versión de este año.

3.2 DESARROLLO DE LA GUÍA TÉCNICA DE END

Siguiendo la metodología planteada y con base en la información revisada, se presenta en la tabla 2 una guía para la selección de los END disponibles en la empresa KER INGENIERIA, especificando las normas que aplican, las aplicaciones, junto con los defectos que pueden ser detectados y/o evaluados, entre ellos, concreto con apariencia de hormiguero, baja resistencia a la compresión, descascaramientos, reducciones de área, vacíos, grietas, baja calidad del concreto, entre otros.

Tabla 2. Selección de END para la detección de defectos específicos, según el elemento estudiado.

ENSAYO	APLICACIÓN Y DEFECTOS DETECTADOS	SUPERFICIE Y ACCESO REQUERIDO
--------	----------------------------------	-------------------------------

<p><i>Impact Echo</i></p> 	<p>Determinar el espesor o longitud de un elemento en concreto.</p> <p>Detectar y evaluar defectos internos, vacíos, grietas y calidad de las reparaciones.</p>	<p>- Acceso a un solo lado del elemento de hormigón a inspeccionar.</p> <p>-Superficie pulida y seca</p> <p>Norma: ASTM C1383-15</p>
<p>Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU)</p> 	<p>Determinar indirectamente la resistencia a la compresión y calidad relativa del concreto.</p> <p>Localizar y evaluar defectos internos entre ellos vacíos y grietas.</p>	<p>Requiere dos superficies planas de acceso, frontales, laterales o en un plano, con un área lisa y pulida de cinco (5) centímetros de diámetro para cada transductor.</p> <p>Normas: ASTM C597-16, ASTM E494-95, ACI 228.R, NTC4325-97.</p>
<p><i>Sonic Echo</i></p> 	<p>Esta prueba es empleada para evaluar la integridad y determinar la longitud de los diversos cimientos, cambio de área a manera de reducciones.</p>	<p>-Se requiere acceso en la parte superior para pruebas de cimientos.</p> <p>-Superficie pulida y seca</p> <p>Norma: ASTM D5882-07, ACI 228.R</p>
<p>Esclerómetro</p> 	<p>Los ensayos se ejecutan en estructuras de concreto para medir su resistencia a la compresión superficial de manera indirecta.</p>	<p>-Se realiza en estructuras con espesores mayores a los cien (100) mm.</p> <p>-Superficie lisa, seca y sin pintura.</p> <p>-Acceso por una cara.</p> <p>Norma: ASTM C 805-18, ACI 228.1R4.</p>
<p>Escáner de refuerzos</p> 	<p>Se realiza para detectar la presencia de barras o varillas metálicas embebidas en el hormigón, así como su diámetro.</p>	<p>-Superficie lisa, y acceso a una cara de la estructura a analizar.</p>

La información de la tabla 2 es importante para poder realizar una selección acertada de los ensayos por parte de los empleados de KER INGENIERIA, debido

a que es necesario conocer los requerimientos en cuanto al estado, acceso a la superficie de ensayo, defectos que pueden detectarse con cada uno, para tal efecto cada una de las pruebas se basa en las normas colombianas e internacionales.

Seguidamente, en la tabla 3, se muestra la descripción resumida de la metodología que se debe seguir al realizar el respectivo análisis de datos según la prueba empleada, cada uno de estos se encuentra fundamentado en las normas emitidas por sociedades, como el Instituto Americano del Concreto y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. Esto se realizó con base en la información bibliográfica consultada sobre el principio físico de cada ensayo.

Tabla 3. Metodología de análisis de datos de END tomados en campo basados en la norma ACI 228-2R.

PRUEBA	METODOLOGÍA
<p>Impact Echo</p> $T = \frac{C_{p,plate}}{2f}$ <p>Ecuación (1). calculo espesores</p>	<p>Para realizar el análisis de los datos, se toma la onda acústica registrada por el golpe y se convierte utilizando una técnica de transformación de Fourier por medio del software, obteniendo el espectro de amplitud. Posteriormente se determina la frecuencia del pico máximo de amplitud en el espectro y mediante la ecuación 1 se determina el espesor real de la estructura.</p> <p>CP= La velocidad del pulso. T =El espesor de la placa f = la frecuencia del modo de grosor de onda P de la placa obtenida del espectro de amplitud.</p>
<p>Velocidad De Pulso Ultrasónico</p> <p>VPU</p>	<p>El análisis de datos consiste en medir el tiempo de viaje de una onda ultrasónica longitudinal a través de un espesor conocido. El tiempo de transito T es medido electrónicamente. La velocidad del pulso (Cp) es calculada dividiendo la distancia, L, recorrida entre el tiempo, T, en segundos.</p> <p>Seguidamente se emplea la ecuación extraída de la ACI 228 en la que se relaciona, el módulo de elasticidad, densidad del material, coeficiente de <i>Poisson</i>, para calcular la velocidad de pulso directamente.</p> <p>Luego al calcular las velocidades y realizar un análisis estadístico que incluye, media, varianza y la desviación estándar, se clasifican los resultados de acuerdo con la tabla que relaciona la desviación estándar y el grado de uniformidad del concreto.</p>

Sonic Echo	<p>Los registros de velocidad de onda acústica y fuerza de impacto con el tiempo permiten calcular la longitud del pilote y la velocidad de onda a través del material.</p> <p>Los datos registrados pueden ser sometidos a un análisis adicional, usando la plataforma NDE 360, para identificar los posibles defectos presentados.</p>
Esclerómetro	<p>El análisis de datos se lleva a cabo partiendo de las quince lecturas tomadas con el esclerómetro, descartando todas las mediciones que difieran en más de 6 unidades de la media. En caso tal de que existan más de dos lecturas que cumplan esta condición debe descartarse el conjunto.</p>
Escáner de refuerzos	<p>Cuando una varilla se encuentre en el centro del eje vertical de la pantalla del scanner, se procede a registrar su ubicación a través de un marcador, de forma que se señale con precisión su localización en el elemento; de este modo, se aprecia la ubicación de las varillas de refuerzo y se determina su diámetro.</p>

3.3 PARTICIPACIÓN EN PROYECTOS DE INSPECCIÓN DE LA EMPRESA

Siguiendo el planteamiento metodológico, se presenta el caso de estudio seleccionado, donde la empresa KER INGENIERIA fue contratada con el objetivo de evaluar las posibles fallas o defectos presentes en la estructura que se encuentra en construcción, debido a dudas existentes sobre la integridad, resistencia del concreto y a las catastróficas consecuencias que traería en caso de no cumplir con los requisitos. Para este fin, se elaboró un plan de inspección, que incluyó el estudio tres (3) placas, una (1) cimentación, una (1) losa y una (1) pantalla. En su orden se aplicaron las siguientes técnicas. Escáner de refuerzos, Esclerometría y Velocidad de Pulso Ultrasónico, seleccionadas con base en la guía elaborada en el presente proyecto de grado y en las necesidades del cliente.

Por otra parte, la prueba de Impact Echo se descartó, dado que el espesor de los elementos no requería ser determinado. A continuación, se muestran los resultados y análisis realizados en este caso.

Se encontraron en cada uno de los elementos escaneados (placas, losas, cimentación), cuatro (4) barras de refuerzos longitudinales y una misma cantidad de

barras ubicadas de manera transversal, con diámetro de 0.5 pulgadas y separadas entre sí cada veinticinco (25 cm) por cada metro cuadrado escaneado.

Al realizar una comparación entre la ubicación y distancia entre el número de barras estipuladas en el plano proporcionado por la constructora y los datos obtenidos, se determinó que existe un desfase de 5 centímetros de espacio entre barras, ya que por diseño la separación es de 30 centímetros.

Para las pruebas siguientes fue necesario delimitar la zona de trabajo al interior del cuadrado de 25 centímetros formado por las 4 barras que se cruzan entre ellas, en forma de cuadrícula, evitando su influencia en la toma de datos, como se observa en las figuras 2a, 2b y 2c. La pantalla no cuenta con refuerzos.

Para el caso particular de este proyecto, se realizaron pruebas de Esclerometría para comprobar la resistencia del concreto al día 28 de curado¹⁰ y verificar de manera indirecta si el concreto alcanzó la resistencia esperada de 21 [MPa] respecto al diseño. Con los resultados se observó que la resistencia obtenida supera la esperada teóricamente en todas las mediciones, concluyendo que cada elemento ensayado cumple con los requisitos de resistencia especificados durante el diseño, por ende, la extracción de núcleos para determinar la resistencia a la compresión de manera directa del material fue descartada.

Por otra parte, si hubiese sido necesario la extracción de núcleos, el proceso se habría realizado siguiendo la norma NTC 3658 (ASTM C42M), de forma tal que se cumpla lo establecido en los numerales C.5.6.5.2, C.5.6.2.4 y C.5.6.3.3 pertenecientes a la norma NSR-10 (2010).

La figura 2, presenta el procedimiento para realizar las mediciones en las zonas de estudio, detectando las barras de refuerzo embebidas en el concreto como se muestra en la figura 3a y 3b, posteriormente en la figura 3c y 3e se puede observar

¹⁰ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Op. Cit.

la delimitación a manera de cuadrícula que se realiza de manera previa a la prueba de Esclerometría, finalmente las figuras 3d y 3f se aprecia la toma de datos de Esclerometría en una pantalla y una placa respectivamente mediante el esclerómetro digital.

En la Figura 2. Procedimiento seguido para realizar pruebas de Esclerometría



En la tabla 4 se muestran los datos del ensayo de Esclerometría, siguiendo la norma ASTM C-805-18, indicando el nombre del elemento al cual se le realizó el ensayo y los valores de la resistencia a la compresión obtenidos en Mega pascales [MPa.].

Tabla 4. Datos de Esclerometría obtenidos en campo.

RESULTADO DE DATOS DE ESCLEROMETRÍA			
Estructura		Mediciones realizadas	

	Fecha fundida	Unidades propias del esclerómetro (UPE)						Promedio (UPE)	Desv ..
Cimentación	11/12/2018	30	33	31	35	29	34	30.93	2.3
Placa apartamento 457	26/12/2018	30	31	28	31	32	24	30.14	2.3
Losa apartamento 458	27/12/2018	36	37	39	39	24	36	35.25	2.1
Placa torre 8	14/12/2018	37	35	39	33	32	35	35.43	1.87

En la tabla 5 se realiza una comparación entre la resistencia de diseño y la resistencia calculada a partir de los datos obtenidos en campo por medio del esclerómetro, para ello se aplicó un factor de conversión de acuerdo con la orientación (tabla proporcionada por el proveedor del equipo), en este caso vertical¹¹ y horizontal, de cada prueba ejecutada, asimismo se aprecia la edad de curado que tiene la estructura ensayada, y para finalizar el resultado de cumplimiento o rechazo.

Tabla 5 Resultados provenientes de la toma de datos haciendo uso del esclerómetro.

Estructura	Media (UPE)	f'c Diseño [MPa]	Edad (días) al ensayar	f'c obtenido [MPa]	% f'c obtenido	Resultado
Cimentación	30.93	21	120	22.1	105.20	Cumple
Placa 457	30.14	21	105	21.8	103.80	Cumple
Losa 458	35.21	21	104	23.2	110.50	Cumple
Placa torre 8	35.43	21	117	25	119	Cumple

Se concluye que cada una de las estructuras ensayadas cumple con la resistencia mínima de diseño, lo anterior se comprobó al observar que en todos los casos se supera la resistencia esperada de 21 [MPa] inicialmente, esto quiere decir que el proceso de curado con agua durante 28 días después de la fundición de la estructura fue eficiente y el diseño de mezcla el adecuado, descartando el ensayo

¹¹ OLSON INSTRUMENTS, Inc., Ultra Pulse Velocity (UPV), System Reference Manual. NDE 360

a los 56 días de curado, debido a que se cumple con los requisitos de resistencia a la compresión.

Para las pruebas de Velocidad de Pulso Ultrasónico se realizó una prueba directa de Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU) en donde se recolectaron los datos necesarios siguiendo el procedimiento del anexo C, en la placa once (11) de la torre número uno (1), debido a que esta cuenta con un espesor menor a cien (100) mm, limitando el uso del esclerómetro, en la tabla 9 se presenta el elemento evaluado, los días de curado, y la resistencia obtenida a partir de datos de VPU. Para realizar este ensayo se realizó una inspección visual y se seleccionó una zona ubicada en el centro de la placa, debido a que allí se concentran los esfuerzos máximos y es la zona crítica de fallo en una placa. Seguidamente, se midió la misma distancia desde los bordes de placa hasta el punto central de la estructura a ensayar en la cara externa e interna. Posteriormente se delimito la zona de ensayo, evitando las barras de refuerzo previamente detectadas y garantizando una superficie seca, limpia y pulida, se recolectaron y promediaron tres datos en el punto ensayado por medio de la plataforma NDE360 de Olson Instruments. (Siguiendo las etapas presentadas en el anexo A).

En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos mediante la técnica de inspección de Velocidad de Pulso Ultrasónico, además, se observa el valor teórico de resistencia a la compresión que se tiene para la placa piso 11 de la Torre 1, y finalmente el valor promedio de tres datos de resistencia a la compresión obtenido mediante VPU.

Tabla 6 Resultados pruebas VPU

Estructura	Días de curado	Resistencia. Teórica. [MPa]	Resultados de resistencia (VPU) [MPa]	Resistencia promedio obtenida [MPa]	Desviación Estándar entre datos
Placa Piso11 Torre 1	28	21	27,09	26,96	2,06
			26,90		

			26,89		
--	--	--	-------	--	--

La resistencia obtenida por medio de VPU muestra un valor superior al esperado, esto garantiza que se cumplió con la resistencia teórica de diseño, a su vez la alta calidad del concreto es evidenciada. Con base en la inspección visual, Esclerometría y VPU se concluyó que los elementos evaluados no presentaban defectos superficiales o internos y la resistencia del concreto es la adecuada.

Análisis y conclusiones de la estructura: La placa del piso 11 Torre1 Apartamento 103¹², presenta una resistencia promedio de 26,96[MPa], presentando un 28% más de la resistencia mínima requerida. Se concluye que esta estructura cumple con la resistencia mínima de diseño, razón por la cual esta estructura es aprobada para su funcionamiento. Luego de comprobar que la resistencia mínima de diseño ha sido superada, se analizan las imágenes obtenidas por medio del software Win UPV¹³ para descartar la existencia de posibles vacíos a lo largo de la placa, debido a que la existencia de estos defectos provocaría la falla del elemento con el paso del tiempo.

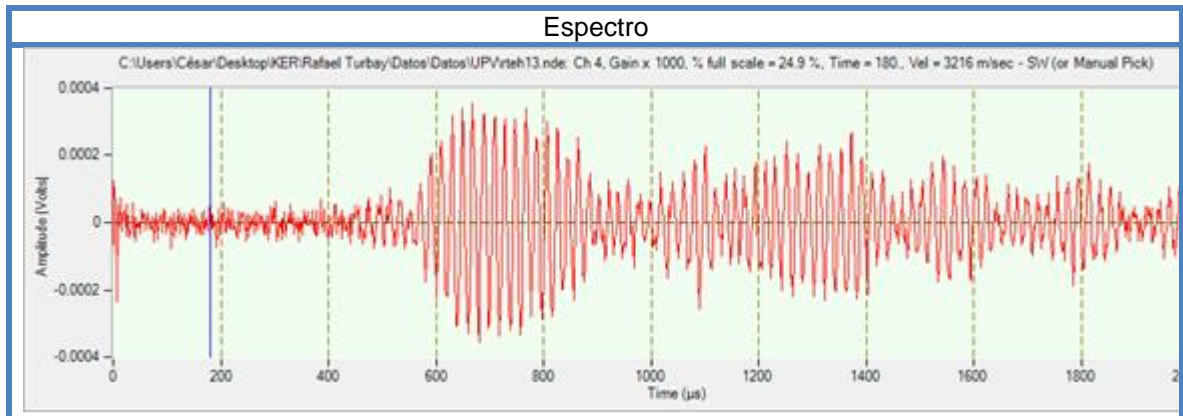
En la figura 3 se presenta el espectro de un dato obtenido, en donde se puede observar la ausencia de defectos, como vacíos, grietas o una elevada porosidad que pueda afectar la resistencia a la compresión del concreto, esto se comprobó a partir del comportamiento de la onda longitudinal, en donde se evidencia su continuidad durante todo el recorrido, una amplitud de onda de igual magnitud y finalmente una velocidad de onda 3216 m/s, calculada por el software, partiendo de la distancia que hay entre el transductor transmisor (Tx) y receptor (Rx), que en este caso fue de quinientos ochenta (580) milímetros.

¹²OLSON INSTRUMENTS, INC., Impact Echo (IE), System Reference Manual, NDE 360 PLATFORM, Wheat Ridge, Colorado, 2014.

¹³SECOP II, Colombia Compra Eficiente, [en línea] [Citado 23 de Julio de 2018]. Disponible en: <https://www.colombiacompra.gov.co/secop-ii>.

Con esto se garantiza una buena calidad del concreto ensayado. Un comportamiento similar se evidencio en el análisis espectral proveniente de cada uno de los datos de VPU tomados.

Figura 3. Espectro de Ensayo mediante la técnica de Velocidad de Pulso Ultrasónico



4. CONCLUSIONES

La práctica empresarial como auxiliar de ingeniería metalúrgica en apoyo a las actividades del área de Ensayos No Destructivos y supervisión técnica en la empresa KER INGENIERÍA, cumplió con los objetivos propuestos, a lo largo de los cuatro meses, donde se fortalecieron los conocimientos adquiridos durante el pregrado, así como también apreciar los horizontes de la ingeniería metalúrgica y de materiales.

Se logró detectar el origen de los problemas presentados en el software Win UPV de análisis de resultados de la técnica de inspección de Velocidad de Pulso Ultrasónico (UPV), estos problemas fueron evaluados y enviados al proveedor de equipos y softwares de análisis de datos, los cuales serán tenidos en cuenta en la próxima actualización de sus plataformas de tratamientos de datos.

A partir de una serie de parámetros basados en las normas ACI, ASTM, NTC y bibliografía consultada, se desarrolló una guía técnica que facilita la selección de Ensayos No Destructivos a emplear para cada elemento y defecto de interés y la información que se puede obtener, para emitir conceptos confiables sobre el estado de las estructuras evaluadas

El caso de estudio de una de las estructuras analizadas empleando END para emitir un concepto debido a dudas sobre la integridad y resistencia del concreto fue realizado, seleccionando los END siguiendo un protocolo y guía desarrollada en el presente proyecto, luego de aplicar y analizar los datos obtenidos, se concluyó que no existen patologías estructurales presentes y además, el concreto presenta una resistencia superior a la esperada, eliminando las dudas de la constructora y permitiendo finalizar la construcción del proyecto.

5. RECOMENDACIONES

La supervisión técnica es una de las actividades que cobra más importancia en el entorno siempre creciente de la construcción, para ello cada profesional deberá tener a mano tablas para chequeos cotidianos, las normas vigentes, procedimientos, planos y END adecuados para una evaluación acertada, para ello se recomienda la inclusión de la tecnología en estos procesos.

BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Bogotá, Ministerio de Minas, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC), Norma Técnica Colombiana NTC 396, Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto (ASTM C 143), Bogotá, Ministerio de desarrollo económico, 1992

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC), Norma Técnica Colombiana NTC 454, Ingeniería Civil y Arquitectura. Concretos. Concreto fresco. Toma de muestras (ASTM C 172), Bogotá, Ministerio de desarrollo económico, 1998

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC), Norma Técnica Colombiana NTC 550, Concretos. Elaboración y curado de especímenes. Concreto en obra de muestras (ASTM C 470), Bogotá, Ministerio de desarrollo económico, 2000

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC), Norma Técnica Colombiana NTC 673, Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de Especímenes Cilíndricos de concreto (ASTM C 470), Bogotá, Ministerio de desarrollo económico, 2000.

KER INGENIERIA S.A.S., [en línea] [Citado 20 de agosto de 2019] Disponible en:
<https://www.keringenieria.com/>

OLSON INSTRUMENTS, INC., Impact Echo (IE), System Reference Manual, NDE 360 PLATFORM, Wheat Ridge, Colorado, 2014.

OLSON INSTRUMENTS, Inc., Ultra Pulse Velocity (UPV), System Reference Manual. NDE 360 PLATFORM., Wheat Ridge, Colorado, 2014.

SECOP II, Colombia Compra Eficiente, [en línea] [Citado 23 de Julio de 2018].
Disponible en: <https://www.colombiacompra.gov.co/secop-ii>.

ANEXOS

Anexo A. Ejemplos de ejecución de END en concreto.

 <p>NDE 360 ↑</p>	 <p>Accesorios VPU</p>	 <p>Grasa</p>
 <p>Aplicación de grasa</p>	 <p>Ubicación de transductores</p>	 <p>Toma de datos</p>
 <p>Escáner</p>	 <p>Esclerómetro</p>	 <p>Esclerómetro Concreto</p>



Anexo B. Patologías estructurales



Anexo C. Procedimientos de ejecución de los END según la ACI 228 (sección 1R-2R)

ENSAYO	Procedimiento de ejecución
<p><i>Impact Echo</i></p> <p>ASTM C1383-15(8) Numeral: 1.2</p>	<p>-Se sigue el procedimiento estipulado por la norma.</p> <p>-Se realiza un impacto en la superficie del hormigón, esto genera ondas, las cuales son llamadas ondas P, esta se propaga hacia la placa y se refleja en la superficie opuesta. Un transductor receptor, ubicado adyacentemente al punto impactado registra el desplazamiento de la superficie causado por la llegada de las ondas reflejadas.</p>
<p>VPU</p> <p>ASTM C597-16 Numeral:7 ACI 228.R</p>	<p>-Se debe verificar que el equipo esté operando adecuadamente y que pueda ejecutar el ajuste a tiempo cero</p> <p>Se debe aplicar el agente de acoplamiento a las caras de los transductores y presionar las caras una contra la otra.</p> <p>-Se toman los datos y luego se analizan.</p>
<p><i>Sonic Echo</i></p> <p>ASTM D5882-16 Numeral: 6 ACI 228.R</p>	<p>-Preparación de elementos para realizar la prueba.</p> <p>-Identificación de la pila, diámetro y longitud nominal y real de la cabeza de la pila;</p> <p>-Fecha y método de colocación del hormigón;</p> <p>-Estratigrafía del suelo;</p> <p>-Cualquier observación específica relacionada con cada cimiento probado que afecta la construcción del pilote, la excavación, la integridad, etc.</p> <p>-Ubicación de los transductores en la cabeza del pilote y mediciones correspondientes.</p> <p>Toma de mediciones:</p>
<p>Esclerómetro</p> <p>ASTM C 805-18 Numeral: 8</p>	<p>-Se verifica que la superficie esté limpia y en caso de que la superficie presente señales de rugosidad, ésta debe pulir para obtener una superficie de contacto lisa.</p> <p>-Se ubica el esclerómetro perpendicularmente a la superficie del elemento a ensayar y se genera un golpe.</p> <p>-Al apreciar el sonido del resorte interno, se procede a tomar la lectura directamente del esclerómetro y registrar el valor obtenido.</p> <p>-Por cada elemento seleccionado se realizan 15 golpes.</p>
<p>Escáner</p> <p>Norma: No aplica.</p>	<p>El trabajo consiste en desplazar el detector de metal sobre la superficie del elemento en estudio, de modo que se rastreen las varillas de refuerzo.</p> <p>Cuando una varilla se encuentre en el centro del eje vertical de la pantalla del scanner, se procede a registrar su ubicación a través de un marcador, de forma que se señale con precisión la localización del elemento; de este modo, se aprecia la ubicación de las varillas de refuerzo.</p>