INFORME TÉCNICO

■ Evaluación del grado de afectación del incendio del día 31 de marzo de 2017 a la Estructura de Hormigón Armado Sede de la Cámara de Senadores.

■ Proyecto de Reparación de Daños y Rehabilitación.

HONORABLE CÁMARA DE SENADORES

Agosto 2017

INFORME TÉCNICO

■ Evaluación del grado de afectación del incendio del día 31 de marzo de 2017 a la Estructura de Hormigón Armado Sede de la Cámara de Senadores.

■ Proyecto de Reparación de Daños y Rehabilitación.

Este Informe Técnico Final corresponde al Trabajo de Consultoría solicitado por la Honorable Cámara de Senadores a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción.

Consta de una Introducción y dos Secciones.

En la Introducción se presentan datos generales del trabajo.

En la Sección I se evalúan los daños y el nivel de afectación que sufrió la Estructura que sustenta el edificio de la Cámara de Senadores debido al incendio del día 31 de marzo de 2017.

En la Sección II se presenta el Proyecto de Reparación de Daños y Rehabilitación de la Estructura para que la misma recupere su operatividad total.

En la Sección III se presenta el Costo de los Trabajos.

En la Sección IV se presenta las Conclusiones Finales.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

En fecha 31 de marzo de 2017 se produjo un incendio en la Sede de la Cámara de Senadores de la República del Paraguay. Este incendio tuvo un desarrollo importante y provocó la destrucción de mobiliarios, enseres, papelería, equipos informáticos y afectó a la Arquitectura e Ingeniería del edificio, Figura 1.

Figura 1. Incendio en Sede Cámara de Senadores.

El edificio se encuentra ubicado en la intersección de la calle 14 de mayo y Avenida República, consta de varias plantas y una superficie importante pero la acción del fuego se concentró en zonas bien delimitadas de la planta baja y el primer piso.

A los efectos de evaluar el nivel de daño que sufrió la estructura de Hormigón Armado que sustenta la edificación, se efectúa este trabajo técnico con la realización de Ensayos No Destructivos y Ensayos Destructivos que permiten determinar las condiciones de afectación de la estructura.

Contexto del Trabajo.

Este Trabajo de Consultoría se desarrolla como parte del Convenio Marco firmado el día 27 de julio de 2017 entre el Senador Fernando Lugo Méndez en su carácter de Presidente del Congreso Nacional y el Ing. Pedro Ferreira Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción.

El Convenio Marco tiene los siguientes Objetivos:

- Proveer por parte de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción un Asesoramiento Técnico Especializado de Alto Nivel de Desempeño a la Cámara de Senadores y al Congreso Nacional.

- Realizar el Servicio de Consultoría Técnica.

- Llevar a cabo proyectos conjuntos que fortalezcan el desarrollo institucional del Congreso Nacional y de la Facultad de Ingeniería UNA.

Para la materialización de estos Objetivos, la Facultad de Ingeniería UNA se compromete a designar expertos nacionales e internacionales en el área específica del trabajo a desarrollar, quienes conforman un equipo de trabajo técnico especializado para la obtención de los resultados.

Asimismo, en la fecha citada precedentemente, se procedió a la Firma de los Términos de Referencia exclusivos para el trabajo de *"Evaluación del grado de afectación del incendio del día 31 de marzo a la Estructura de Hormigón Armado en la Sede de la Cámara de Senadores y Proyecto Ejecutivo de Reparación de Daños y Rehabilitación"*, cuyo objetivo específico es el de "Realizar una Evaluación Técnica de las condiciones en las que se encuentra la estructura de la Sede de la Cámara de Senadores afectada por el aumento considerable de temperatura provocado por el incendio del día 31 de marzo y proponer un Proyecto Ejecutivo de Reparación y Rehabilitación del edificio".

El Alcance de estos Términos de Referencia específicos "se circunscribe estrictamente a la determinación de los daños sufridos por la estructura de hormigón armado que sustenta el edificio, el nivel de afectación del siniestro y la propuesta de solución de los daños observados para la rehabilitación de la construcción".

Se tienen como actividades "Realizar estudios topográficos, de esclerometría, determinación de velocidad de impulso ultrasónico, relevamiento de armaduras,

medición de fisuras, ensayo de probetas testigo y avance de carbonatación en el hormigón".

Como Resultado Definitivo se espera contar con un Informe Final donde se incluyen en forma detallada los resultados de los ensayos especificados en el párrafo anterior, la evaluación de los mismos y su afectación a la estructura. Sobre la base de este diagnóstico se elabora el Proyecto Ejecutivo de reparación de daños para la rehabilitación del uso normal de la edificación.

Equipo Técnico.

A efectos de cumplir con los Objetivos del Convenio, se conforma un equipo técnico de trabajo encargado de realizar las tareas operativas necesarias. Este equipo está conformado por Instituciones y Profesionales de reconocido prestigio nacional e internacional y se cita a continuación:

Instituciones

Entidad Responsable Principal

■ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción (FIUNA)

Entidades Asesoras

■ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Itapúa (FIUNI)

Dirección de Investigación, Extensión y Posgrado (DIEP)

■ Vice Presidencia de la Asociación Sudamericana de Ingeniería Estructural (ASAEE)

■ Asociación Paraguaya de Estructuras (APE)

Profesionales

Trabajos de Campo

■ Ing. Gustavo Chávez

Maestrando Programa de Posgrado en Ingeniería Civil, FIUNA

■ Ing. Iván Semeniuk

Maestrando Programa de Posgrado en Ingeniería Civil, FIUNA

■ Ing. Julio Orrego, Asistente

■ Juan Angel Ramírez, Asistente

■ Christian Miguel Armoa, Asistente

■ Mario Orrego, Asistente

■ Esteban Caballero, Estudiante Fiuna, Participante

■ Carlos Samudio, Estudiante Fiuna, Participante

Asesores Internacionales

■ Ph.D Ing. Miguel Angel Pando

Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Carolina del Norte, Charlotte (EE UU).

Dirección General

■ MSc. Ing. José Luis Gutiérrez Dichírico

Profesor Investigador Estructuras FIUNA, FIUNI

Jefe Departamento de Construcciones y Estructuras FIUNA

SECCIÓN I
DAÑOS Y NIVEL DE AFECTACIÓN

SECCIÓN I

DAÑOS Y NIVEL DE AFECTACIÓN

I.1.- Zona de Afectación y de Trabajo.

Existen zonas bien restringidas de la Planta Baja y del Primer Piso que fueron afectadas por los Focos de Incendio. En base a la actuación del fuego se establecieron Zonas de Estudio donde se realizarán las evaluaciones del grado de afectación del incendio a la estructura del edificio, Figuras 2 y 3.

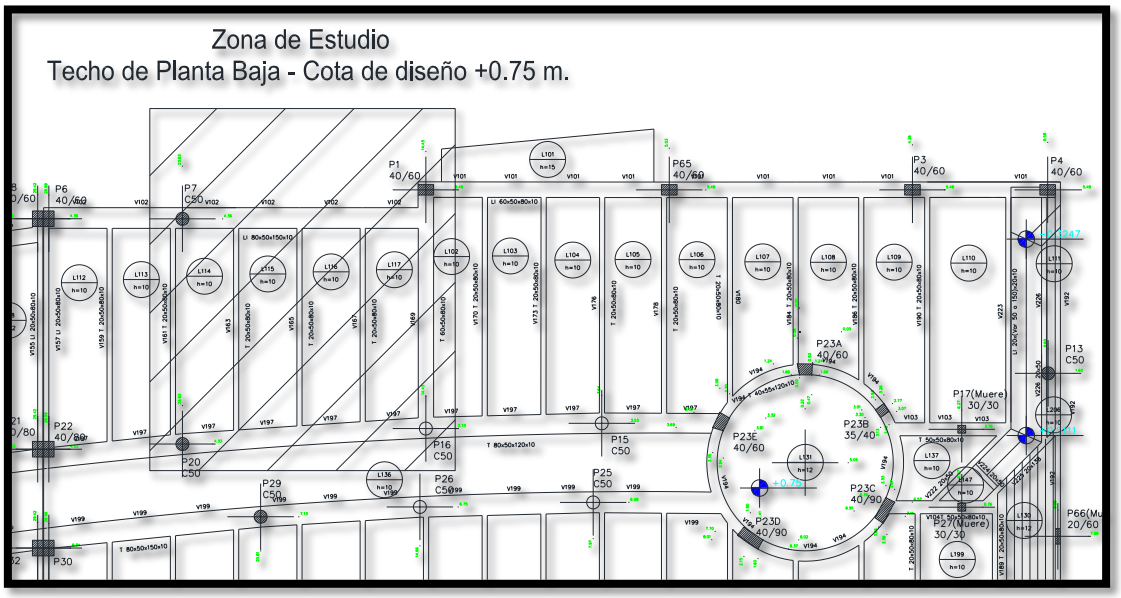


Figura 2. Zona de Estudio Techo de Planta Baja.

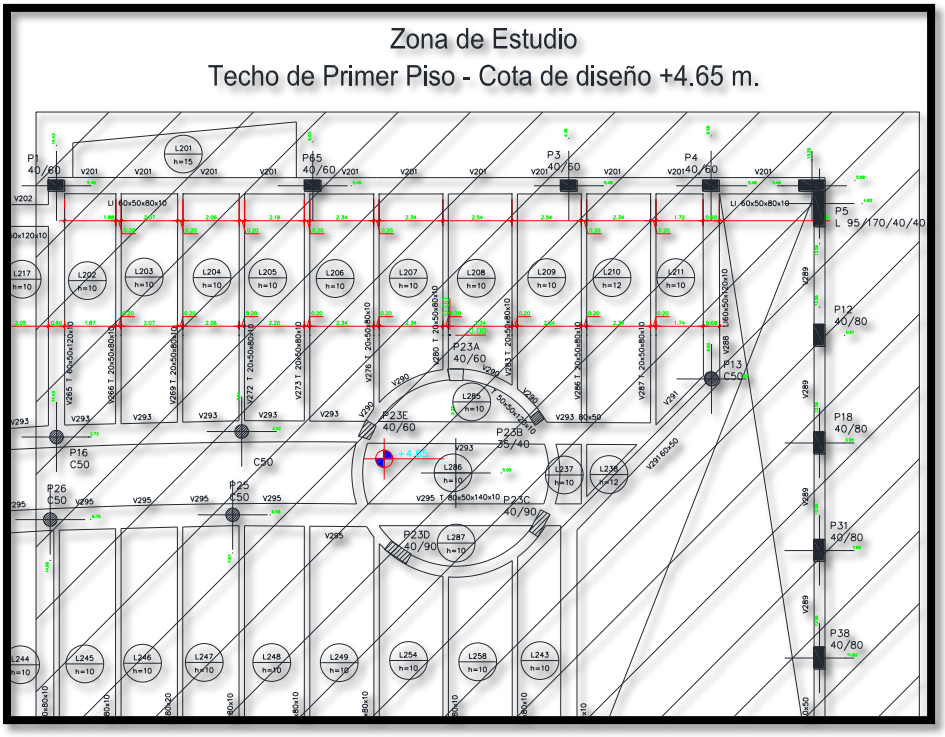


Figura 3. Zona de Estudio Techo de Primer Piso.

En estas Zonas de Estudio se realizaron los Ensayos No Destructivos (END) y los Ensayos Destructivos (ED) a fin de evaluar el estado en el que quedaron los materiales componentes de la Estructura, que son el Hormigón y las Barras de Acero. La correcta determinación del estado de estos materiales es fundamental para certificar las condiciones en las que se encuentra la edificación. Además de la determinación del estado de los materiales, se realizan estudios de la estructura como tal, a fin de obtener conclusiones del nivel de afectación de la misma.

I.2.- Descripción de los Ensayos No Destructivos (END).

Los Ensayos No Destructivos (END) realizados son los siguientes:

Ensayo de Esclerometría
Ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico
Ensayo de Medición del Frente de Carbonatación
Ensayo de Pachometría

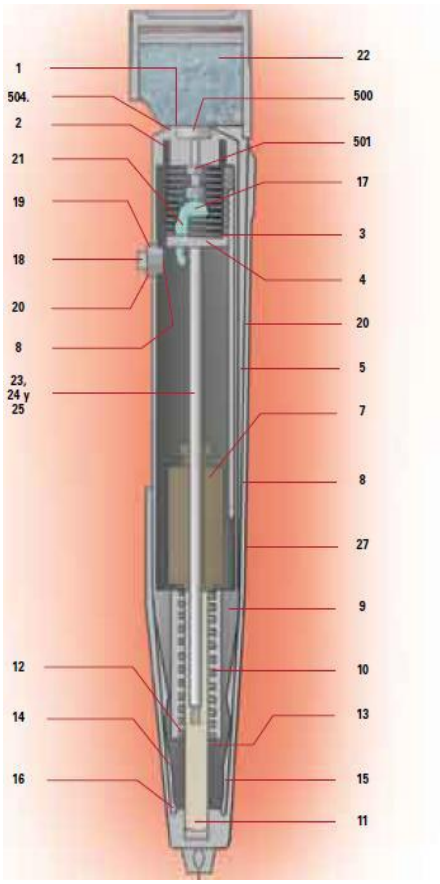
La descripción de las características de los mismos se presenta a continuación:

I.2.1.- Ensayo de Esclerometría

Se han hecho muchos intentos de crear ensayos no destructivos, pero muy pocos de ellos han sido realmente exitosos. Un método para el que se ha encontrado aplicación práctica dentro de un campo limitado es la prueba del martillo de rebote, desarrollada por Ernst Schmidt. También se conoce como prueba de martillo de impacto o esclerometría.

El esclerómetro Schmidt mide la resistencia del hormigón mediante el rebote de una masa de acero que golpea, accionada por un resorte, sobre un percusor puesto en contacto con la superficie del hormigón. Producido el impacto, la masa rebota hacia el extremo opuesto del percusor arrastrando en su movimiento a un índice que, al desplazarse sobre una escala graduada, marca una magnitud que se denomina Índice Esclerométrico (IE) y que es la relación entre la altura de rebote y la escala total del aparato. Es útil para determinar la evolución de la resistencia del endurecimiento del hormigón, o para comparar su calidad entre distintas zonas de una misma obra.

El Esclerómetro o Martillo Schmidt, que es el más utilizado por su sencillez y bajo costo, mide la dureza superficial del hormigón en función del rechazo de un martillo ligero, Figura 4. Debe obtenerse el rechazo medio de varias determinaciones, limpiando y alisando previamente la superficie que se ensaya. Útil para determinar la evolución de la resistencia del endurecimiento del hormigón, o para comparar su calidad entre distintas zonas de una misma obra.



Piezas de recambio

1. Tapa.
2. Resorte de presión.
3. Resorte del cerrojo.
4. Disco.
5. Barra guía.
   ó. Placa de lectura.
7. Martillo.
8. Barra de desplazamiento.
9. Cuerpo del esclerómetro.
10. Resorte de percusión.
11. Barra de percusión.
12. Resorte amortiguador.
13. Fijación exterior del resorte.
14. Abrazadera de precisión.
15. Casquillos.
16. Junta de filtro.
17. Cerrojo.
18. Carcas del pulsador.
19. Botón pulsador.
20. Resorte del botón pulsador.
21. Piedra abrasiva.
23, 24 y 25 Etiqueta adhesiva en metal con escala en MPa-kg/cm² – PSI.
26. Ventana-Escala graduada.
27. Carcasa de plástico
500. Tornillo.
501. Tuerca regulable.
502. Eje del cerrojo.
504. Anillo elástico.

Figura 4. Martillo Schmidt (Esclerómetro)

El elemento básico de este esclerómetro es una masa metálica que impulsada con una energía de percusión igual a 0,225 m.Kp, choca contra el hormigón sobre una superficie de contacto. La cantidad de energía recuperada en el rebote de la masa permite obtener un índice de dureza de la superficie ensayada (índice de rebote) sobre una escalada graduada acoplada al aparato. La energía se proporciona a la masa mediante un muelle, que hace que, dicha masa, golpee contra un vástago metálico apoyado sobre el hormigón, Figura 5.

Figura 5. Ensayo de Esclerometría

El esclerómetro no mide la resistencia del hormigón, lo que determina es la energía absorbida en un impacto, que está relacionada con la dureza superficial del hormigón.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que una importante limitación de este método para juzgar la calidad del hormigón está en que solo suministra información sobre una capa de hormigón de dos o tres centímetros de profundidad, capa que está enriquecida en el hormigón y puede no ser representativa del conjunto de la masa del hormigón especialmente si la compactación no ha sido cuidadosa.

También se ha analizado como los valores obtenidos están fuertemente influidos por la compacidad de la capa exterior del hormigón, por el tipo de encofrado, la humedad del paramento, la existencia de granos gruesos o áridos o armaduras próximas a la superficie, por la dirección del ensayo, etc.; lo que hace necesario discriminar entre resultados obtenidos en parámetros verticales y horizontales, y sobre todo por la carbonatación superficial del hormigón, que incrementa su dureza e influye apenas en su resistencia a compresión.

La norma EN 12504-2 “Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 2: Ensayos no destructivos” sirve como referencia para los procedimientos a seguir. Este método se emplea para evaluar comparativamente la resistencia del hormigón, pero no debe ser utilizado como una alternativa para la determinación de la resistencia a compresión del hormigón endurecido.

Preparación y acondicionamiento de las muestras. La zona de prueba debe de tener por lo menos 150 mm de diámetro y 100 mm de espesor, para evitar lecturas erróneas debido a la elasticidad de la pieza. Todos los elementos deben fijarse rígidamente para efectuar la prueba. Deben elegirse las superficies de prueba de acuerdo con la representatividad del área a ensayar en función de sus oquedades, alta porosidad o textura rugosa.

Preparación de la superficie de prueba. Antes de la prueba debe eliminarse de la superficie la pintura, polvo o cualquier elemento no propio del hormigón que pueda afectar el índice de rebote. Cuando la superficie tenga irregularidades ésta debe pulirse con piedra abrasiva.

Ensayos. Los ensayos comparativos deben efectuarse con un mismo martillo, el que debe sujetarse firmemente en posición perpendicular sobre la superficie de hormigón que se va evaluar y se ejerce una presión sobre el martillo para que el émbolo se libere y se deja que se extienda hasta alcanzar su máxima extensión manteniendo la perpendicularidad hasta que la masa interna del martillo golpe la superficie de hormigón.

Cálculo e interpretación de resultados. Se determina el promedio de lecturas. Si más de tres lecturas difieren del promedio en seis o más unidades se desecha la prueba. Se eliminan las lecturas que difieran de un promedio en más de 5 unidades y se determina el promedio de las lecturas restantes, siendo este el número de rebote.

Calibración de equipo. Para controlar el buen funcionamiento del esclerómetro, se emplea el yunque de calibración. La calibración del equipo se deberá de realizar antes de proceder al ensayo sobre el hormigón, Figura 6.

Figura 6. Calibración de Esclerómetro

El yunque debe de ser colocado sobre el suelo. El lugar preparado para recibir la barra de percusión está pulido en forma plana, el peso del yunque será de aproximadamente 16 kg de acero duro. El émbolo del esclerómetro debe dar sobre el yunque y las medidas de número de rebote deben estar comprendidas entre 78 y 82, con lo que se verifica que la calibración es correcta. Si, a pesar de un ajuste exacto, el N° de rebote indica por debajo 78, es probable que el equipo esté sucio y debe ser limpiado. Cada equipo debe someterse a un control periódico de calibración después de cada 2.000 impactos sobre el hormigón. Se recomienda que los impactos sean siempre horizontales para no afectar la velocidad de salida del émbolo y no obtener resultados erróneos. En el caso del esclerómetro digital la corrección por posición ya viene integrada como una herramienta en la calibración del equipo.

I.2.2.- Ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico o Ultrasonido

El fundamento de la utilización del método de ultrasonido se basa en el estudio del tiempo de tránsito y velocidad de propagación de ondas ultrasónicas a través del hormigón. El principio de esta técnica consiste en un transductor transmisor electroacústico (Figura 7), que produce ondas de alta frecuencia que se encuentra en contacto con la superficie del hormigón. Éstas atraviesan una distancia conocida hasta alcanzar a otro transductor receptor, que convierte la señal acústica

en electrónica. Un circuito electrónico mide el tiempo de tránsito, con el que se determina la Velocidad del Pulso Ultrasónico (V).

La velocidad de las ondas en el material permite obtener informaciones sobre las propiedades elásticas del mismo. Pero se debe recordar que este método no mide directamente la resistencia del material, sino su módulo elástico dinámico. Estas medidas dependen de la edad del hormigón, de la humedad, de la relación agua/cemento, del tipo de agregado utilizado, y de la posición de las armaduras con relación a la posición de los transductores.

Figura 7. Equipo para medición de velocidad de ultrasonido.

Para el hormigón endurecido, es posible demostrar teóricamente que cambios en la Velocidad de Propagación Ultrasónica, son proporcionales al contenido de cavidades, estructura de poros, fisuras y microfisuras en el hormigón. Además, durante el proceso de fraguado, se demuestra experimentalmente que dicha velocidad se incrementa rápidamente, a medida que el hormigón gana resistencia. En términos generales, se puede decir que en los hormigones, a mayores Velocidades de Propagación se tienen mayores resistencias mecánicas. Por este motivo, esta es una de las técnicas más confiables y utilizadas como Ensayo No Destructivo.

Los tipos de mediciones con el equipo son: Directa, Indirecta y Semidirecta. En la Figura 8, se presentan los tipos de mediciones.

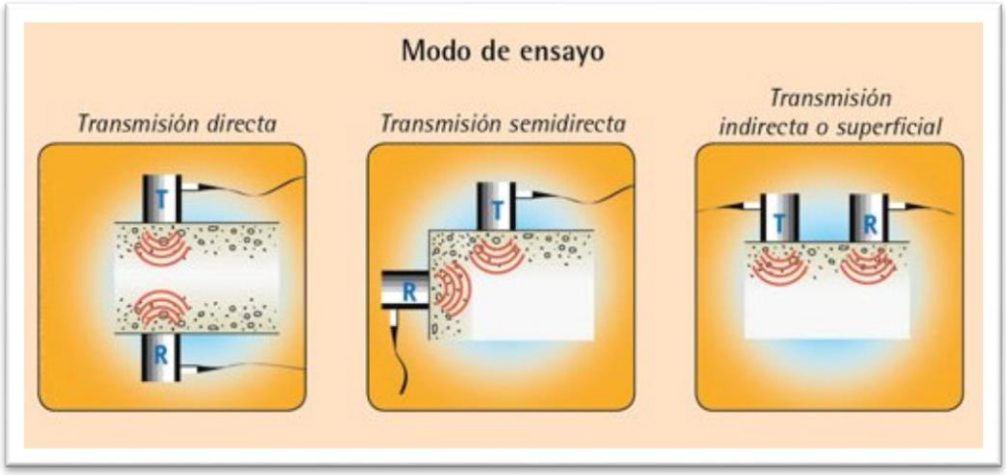


Figura 8. Tipos de mediciones.

Se ha tenido mucho éxito con la determinación de la velocidad de ondas longitudinales en el hormigón. No existe ninguna relación especial entre esta velocidad y la resistencia del hormigón, pero en condiciones específicas, las dos cantidades se relacionan directamente. El factor común es la densidad del hormigón, un cambio en la densidad del hormigón da como resultado un cambio en la velocidad del pulso. De manera similar, en una mezcla dada, la relación de la densidad real con la densidad potencial (bien compactada) y la resistencia resultante se relacionan estrechamente. Así pues, un descenso en la densidad causado por un incremento en la relación agua/cemento debe disminuir la resistencia a compresión como la velocidad del pulso a través de éste.

Las características del material se determinan teniendo en cuenta dos variables esenciales:

■ El tiempo de recorrido.

■ La potencia del pulso recibido, considerando la pérdida de potencia con respecto a la del pulso emitido.

La velocidad de recorrido del pulso se obtiene según la fórmula:

$$V = \frac{L.10^6}{t}$$

Siendo:

V = Velocidad del Pulso Ultrasónico, m/s.

L = espesor del elemento de hormigón en estudio, en m.

t = tiempo de paso promedio, en μs.

Es preferible la utilización de pulsaciones ultrasónicas (de mayor frecuencia), frente a las sónicas (de menor frecuencia), por dos razones:

- Proporcionan un flanco delantero del pulso nítido y bien definido.
- Generan la máxima energía en la dirección de propagación.

Respecto al posicionado de los transductores en el elemento de hormigón que se ensaya, se distingue los tres casos siguientes, Figura 8:

- Caras opuestas o enfrentadas (trasmisión directa).
- Caras adyacentes (transmisión semidirecta).
- En un mismo plano superficial (transmisión superficial).

La transmisión semidirecta puede ser utilizada de forma satisfactoria, solo cuando el ángulo delimitado por la posición de los transductores no es muy grande y la distancia entre ambos es pequeña.

La sensibilidad que proporciona este tipo de transmisión es bastante menor que la lograda con la transmisión directa y si no se cumplen los requerimientos citados en el párrafo anterior, no se recibirá una señal clara y nítida en el transmisor receptor, debido a la gran atenuación que sufre el impulso. Asimismo, la longitud de la trayectoria está mucho menos definida en este caso, aunque puede tomarse de forma aproximada como la distancia rectilínea entre centros de transductores.

La transmisión indirecta está afectada por las capas más superficiales del hormigón ensayado, que pueden no ser representativas del resto del hormigón de ese elemento.

Los principales campos de aplicación del método de la velocidad de pulso ultrasónico son los siguientes:

■ Estudio de la uniformidad del hormigón en los distintos elementos estructurales que se ensayan, delimitando zonas con calidades diferentes.

■ Estimación de los cambios cualitativos en las propiedades del hormigón, a lo largo del tiempo.

■ Determinación del módulo de elasticidad dinámico y del coeficiente de Poisson del hormigón.

■ Detección de defectos, tales como coqueras, fisuras, grietas, etc.

■ Estimación de la resistencia de hormigones.

I.2.3.- Ensayo de Medición del Frente de Carbonatación

Este ensayo tiene por objeto evaluar el espesor carbonatado del hormigón, de tal forma que, al compararlo con el valor del recubrimiento de la armadura, se pueda saber el estado de pasivación o no de las mismas.

La carbonatación es un tipo particular de reacción ácida, de excepcional importancia en la durabilidad del hormigón. Se debe a la penetración del CO2 del aire atmosférico en la estructura porosa de la zona superficial del hormigón. Parte se disuelve en algunos de los poros y reacciona con la cal libre del hormigón.

En general el frente de carbonatación del hormigón es medido a través del empleo de indicadores como la fenolftaleína o la timolftaleína, pulverizados en la masa del hormigón. Esos indicadores son sustancias químicas que, en contacto con la solución alcalina del hormigón (rica en hidróxido de calcio), adquieren coloraciones típicas a partir de un determinado pH de la solución. La fenolftaleína adquiere una coloración rojo carmín con pH iguales o superiores a 9,5 aproximadamente y la timolftaleína asume una coloración azulada con pH del orden de 10,5 o superiores.

Debajo de los pH anteriormente indicados, el hormigón tiende a no sufrir alteración de color cuando se rocía con el reactivo (se mantiene incoloro). La línea divisoria entre la región incolora y la región coloreada marca un claro límite del avance del frente de carbonatación hacia el interior de la masa del hormigón, Figura 9.

Figura 9. Ensayo de Carbonatación.

I.2.4.- Ensayo de Pachometría

En estas determinaciones se emplea el principio de las sondas electromagnéticas. El principio de los Pachómetros está basado en que la presencia del acero en un campo magnético altera la corriente alterna que circula entre dos polos. En la práctica habitual hoy en día se emplea fundamentalmente este tipo de aparatos para definir la posición de las barras y se sigue utilizando el sistema de descubrir localmente las zonas de las barras para definir su diámetro y su recubrimiento, Figura 10.

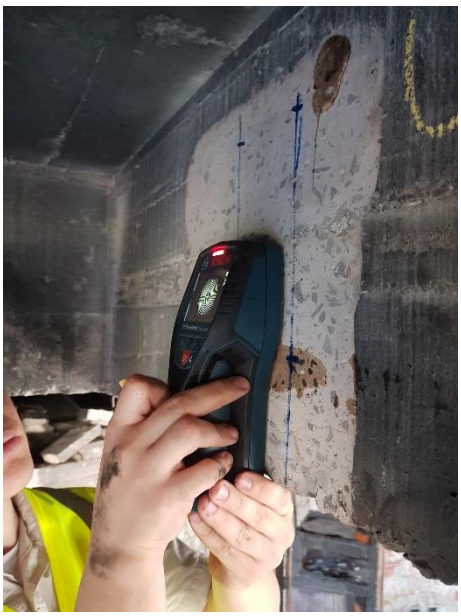


Figura 10. Ensayo de Pachometría.

I.3.- Descripción de los Ensayos Destructivos (ED).

Además de los Ensayos No Destructivos descriptos en el ítem anterior, se extrajeron y rompieron probetas testigos de diferentes partes de la estructura. A continuación la descripción del ensayo.

I.3.1.- Extracción y rotura de probetas testigo de hormigón

Los núcleos cilíndricos de hormigón, que se extraen haciendo una perforación en la masa de hormigón con una broca cilíndrica de pared delgada, Figura 11.

Figura 11. Extracción de Probetas Testigo.

Las muestras de hormigón endurecido usadas para las pruebas de resistencia, deben tomarse hasta el momento en que el hormigón alcance la edad especificada. En general, el hormigón debe tener un mínimo de 14 días de edad para que puedan extraerse los especímenes, los cuales deben obtenerse de zonas de hormigón no dañadas.

Cuando estén preparados los especímenes de prueba, para determinar la resistencia del hormigón endurecido, las muestras que presenten defectos o las muestras que hayan sido alteradas o dañadas en el proceso de extracción no deben ser empleados. De preferencia, los testigos deben tener una relación altura/diámetro

de 2 pudiéndose aceptar, como mínimo, una relación de 1, aplicando lo indicado en la Tabla 1, que se indica a continuación.

Tabla 1. Factor de Corrección de Resistencia

Relación de altura/diámetro del testigo	Factor de corrección a la resistencia
2,00	1,00
1.75	0,99
1,50	0,97
1,25	0,94
1,00	0,91

El diámetro de los testigos que se utilicen para determinar la resistencia a compresión debe ser cuando menos de 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso y puede aceptarse de común acuerdo por lo menos 2 veces el tamaño máximo del mismo agregado, haciéndolo notar en el reporte.

La extracción de testigos de hormigón constituye una herramienta eficaz para la determinación de la resistencia “real” del hormigón que está siendo analizado, esta resistencia es distinta a la resistencia “potencial” del hormigón, ya que la segunda corresponde a las condiciones normalizadas de confección, curado y rotura de probetas cilíndricas de 15x30 cm., mientras que la primera presenta condiciones de curado y colocación distintas.

I.4.- Estudios complementarios de Relevamiento.

Además de los Ensayos No Destructivos (END) y los Ensayos Destructivos (ED) sobre probetas testigo se realizaron estudios complementarios de relevamiento que servirán de base para la elaboración del Proyecto Ejecutivo de Rehabilitación.

Estos estudios complementarios de relevamiento son:

Mapeo de Fisuras y Técnica de reparación.
Relevamiento topográfico.

La descripción de las características de los mismos se presenta a continuación:

I.4.1.- Mapeo de Fisuras

Las fisuras son uno de los síntomas patológicos más importantes del comportamiento en servicio de las estructuras de concreto. Son roturas de dimensiones milimétricas que aparecen en el hormigón como consecuencia de la aparición de tensiones que superan la capacidad resistente del material, Figura 12.

Figura 12. Fisuración en losa.

La fisuración del hormigón es atribuible a numerosas causas. Las fisuras afectan la apariencia de una pieza estructural desde el punto de vista estético, pero también pueden indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad. Su importancia depende del tipo de estructura. Por ejemplo, fisuras que pueden ser aceptables para un edificio residencial pueden no serlo para una estructura para almacenamiento de líquidos.

Las fisuras sólo se podrán reparar correctamente si se conocen sus causas y si los procedimientos de reparación seleccionados son adecuados para dichas causas. En caso contrario, las reparaciones serán transitorias ya que en el corto plazo volverán a presentarse. Los procedimientos de reparación exitosos a largo plazo son aquellos que atacan no sólo las propias fisuras sino también las causas de la fisuración.

Las fisuras en el hormigón no sólo disminuyen la estética constructiva y aparentan inseguridad, también constituyen un canal de acceso para la penetración de agentes agresivos. Detectar este fenómeno no siempre resulta fácil, sin embargo es esencial conocerlo como única vía para poder aplicar la terapia apropiada, o tomando las medidas necesarias para evitar su reaparición.

En el caso particular de este trabajo, la aparición de las fisuras en el hormigón armado corresponde al desarrollo de tensiones de origen térmico producto de la alta temperatura a la que ha sido sometida la estructura durante el incendio.

Las diferencias de temperatura dentro de una estructura de hormigón pueden ser provocadas por partes de la estructura que pierden calor de hidratación a diferentes velocidades, o por condiciones climáticas que enfrían o calientan una parte de la estructura hasta una mayor temperatura o con una mayor velocidad que otra. Estas diferencias de temperatura ocasionan cambios diferenciales de volumen. Si las tensiones de tracción provocadas por los cambios diferenciales de volumen superan la capacidad resistente por tracción del hormigón, éste se fisurará.

Si una parte de la estructura es sometida a un cambio de volumen de origen térmico, es probable que haya fisuración de origen térmico. Los gradientes de temperatura provocan deflexiones y rotaciones en los elementos estructurales, y en el caso de estructuras hiperestáticas con movimientos restringidos se produce la aparición de elevadas tensiones que en general sobrepasan las tensiones admisibles del material dando origen a la aparición de las fisuras.

La ubicación y magnitud de la fisuración, así como el estado general del hormigón de una estructura, se pueden determinar mediante observaciones directas, que es el procedimiento utilizado en este trabajo y que permite medir el ancho de la fisura, con una precisión muy alta del orden de 0,025 mm. Para la medición del ancho de las fisuras se utiliza una tarjeta de comparación, Figura 13.

Figura 13. Tarjeta medición ancho de fisuras.

En base a una cuidadosa evaluación de la magnitud y las causas de la fisuración es posible seleccionar procedimientos para lograr uno o más de los siguientes objetivos:

1. Restablecer y aumentar la resistencia.
2. Restablecer y aumentar la rigidez.
3. Mejorar la funcionalidad.
4. Lograr impermeabilidad.
5. Mejorar la apariencia de la superficie de hormigón.
6. Mejorar la durabilidad.
7. Impedir que se desarrolle un ambiente corrosivo en las armaduras.

Dependiendo de la naturaleza de los daños se puede seleccionar un solo método de reparación o varios. Por ejemplo, se puede restablecer la resistencia a la tracción a través de una fisura inyectando resina epoxi u otro agente adherente de alta resistencia. Sin embargo, puede ser necesario proveer resistencia adicional agregando armaduras, usando postesado o reforzando el elemento estructural con fibras metálicas o de carbono. Si no se anticipa mayor fisuración, se puede usar solamente una inyección de resina epoxi para restablecer la rigidez flexional, de acuerdo a la recomendación de la ACI 503R.

Métodos de reparación de fisuras.

Luego de evaluar la estructura fisurada se puede seleccionar un procedimiento de reparación adecuado. Para este trabajo se considera adecuado el Método de Inyección de Resina Epoxi, mediante el cual se pueden adherir fisuras

de muy poca abertura, hasta 0,05 mm. La técnica generalmente consiste en establecer bocas de entrada y venteo a intervalos poco espaciados a lo largo de las fisuras, sellar la fisura en las superficies expuestas e inyectar la resina epoxi a presión.

Este método está ampliamente desarrollado en todo el mundo y también en el Paraguay y se ha usado exitosamente para reparar fisuras en edificios, puentes, presas y otros tipos de estructuras de hormigón.

La inyección de resinas epoxi requiere un alto grado de capacitación, y la aplicación de la técnica requiere de los siguientes pasos:

• Limpiar las fisuras. El primer paso consiste en limpiar las fisuras que se hayan contaminado, tanto como sea posible. Los contaminantes tales como el aceite, la grasa, el polvo o las partículas finas del hormigón impiden la penetración y adherencia de la resina epoxi, y reducen la efectividad de las reparaciones. Preferentemente la contaminación se debería eliminar por aspiración o lavado con agua u otras soluciones de limpieza. Luego la solución se elimina utilizando aire comprimido y un agente neutralizante, o bien se deja transcurrir tiempo suficiente para que se seque al aire. Sin embargo, es importante reconocer las limitaciones prácticas que impiden limpiar completamente las fisuras.

• Sellar las superficies. Las fisuras superficiales se deben sellar para evitar que el material epoxídico salga antes de gelificarse. Si no se puede acceder a la cara donde está la fisura pero hay material detrás de la misma, o si se trata de reparar una losa de cimentación, algunas veces el material posterior o la sub-base constituyen un sello adecuado; sin embargo, es difícil determinar esta condición de manera anticipada, y una inyección no controlada puede provocar daños tales como la obturación del sistema de drenaje. Por lo tanto, es necesario actuar con extremo cuidado al inyectar fisuras que no son visibles en todas las superficies. Una superficie se puede sellar aplicando un material epoxídico, poliéster u otro material sellador adecuado sobre la superficie de las fisuras y permitiendo que endurezca. Si no se desea que la superficie a lo largo de la fisura tenga aspecto brilloso y si no se requiere inyección a alta presión, se puede aplicar un sellador superficial plástico removible sobre la cara de la fisura. Una vez completado el trabajo el sellador superficial se puede retirar y la superficie no quedará brillosa. Si la apariencia de la

superficie acabada es importante también se pueden emplear selladores cementicios. Si se requieren presiones de inyección extremadamente elevadas, se puede cortar en forma de V alrededor de la fisura hasta una profundidad de 13 mm y un ancho de alrededor de 20 mm, llenar con material epoxídico y enrasar con la superficie.

• Instalar las bocas de entrada y venteo, a través de la perforación de un orificio en la fisura, desde donde se producirá la inyección del material.

• Mezclar la resina epoxi. Los componentes adhesivos se mezclan previamente de acuerdo con las instrucciones del fabricante, generalmente usando un agitador mecánico tal como una paleta mezcladora. Se debe cuidar de mezclar sólo la cantidad de adhesivo que se pueda usar antes que el material comience a gelificarse. Cuando el material adhesivo comienza a gelificarse, comienzan a cambiar sus características de flujo, lo que dificulta cada vez más la inyección a presión.

• Inyectar la resina epoxi. Se pueden utilizar bombas hidráulicas, tanques de presión o pistolas neumáticas. La presión de inyección a utilizar se debe seleccionar cuidadosamente. Con frecuencia una mayor presión no mejora mucho la velocidad de inyección. De hecho, el uso de una presión demasiado elevada puede propagar las fisuras existentes, provocando daños adicionales. Si la fisura es vertical o inclinada, el proceso de inyección debería comenzar bombeando resina epoxi en la boca de entrada ubicada a menor altura hasta que el nivel de resina llegue a la boca de entrada inmediatamente superior. Luego la boca de entrada inferior se obtura y el proceso se repite hasta llenar completamente la fisura y obturar todas las bocas. Si la fisura es horizontal, la inyección debería proceder de la misma manera desde un extremo de la fisura hasta el otro. La fisura está llena cuando la presión se puede mantener. Si la presión no se puede mantener, esto significa que la resina epoxi aún está fluyendo hacia partes de la fisura que aún están vacías o que hay fugas.

I.4.2.- Relevamiento topográfico

Una de las manifestaciones más importantes que se observan en edificaciones afectadas por acciones no consideradas en los cálculos es la deformación de los elementos estructurales. En el caso de un incendio, se produce un aumento importante de temperatura sobre algunas zonas de las piezas estructurales, verificándose un gradiente (variación) de una fibra a otra del elemento estructural.

Si la estructura es isostática, el gradiente de temperatura solo produce desplazamientos sin aparición de tensiones, en este caso la estructura se reacomoda y solo aparecen deformaciones. Sin embargo, si la estructura es hiperestática, las variaciones de temperatura implican aparición de deformaciones y tensiones no consideradas en el cálculo, que producen fisuras y en casos extremos pueden producir el colapso de la edificación.

Al cesar la acción de la fuente de calor, se debe verificar las deformaciones finales que se tienen en los elementos. Se presentan casos en los que estas deformaciones finales son nulas, pequeñas o de valor considerable.

Es conveniente realizar un relevamiento topográfico que permita determinar la existencia (o no) de deformaciones remanentes. Este es un dato fundamental para evaluar el nivel de daño final de la edificación y para orientar el proceso de reparación y rehabilitación de la estructura.

Para este trabajo se realiza un relevamiento topográfico obteniendo las cotas de puntos sobre losas y vigas afectadas a fin de detectar diferencias de nivel que impliquen existencia de deformaciones remanentes.

I.5.- Resultados Obtenidos.

I.5.1.- Índice de Rebote Esclerométrico.

Se realiza con utilización del esclerómetro, Figura 14

Figura 14. Utilización del esclerómetro.

Los resultados obtenidos en el Ensayo No Destructivo de Esclerometría se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores obtenidos por ensayo de Esclerometría.

Identificación	Elemento Estructural	Posición Esclerómetro	Índice Esclerométrico N
V263	Viga +4.65 m.	0° - Horizontal	43
V266	Viga +4.65 m.	0° - Horizontal	43
V269	Viga +4.65 m.	0° - Horizontal	43
V272	Viga +4.65 m.	0° - Horizontal	42
V273	Viga +4.65 m.	0° - Horizontal	41
V276	Viga +4.65 m.	0° - Horizontal	45
V283	Viga +4.65 m.	0° - Horizontal	45
V286	Viga +4.65 m.	0° - Horizontal	43
V287	Viga +4.65 m.	0° - Horizontal	48
P23A	Viga +4.65 m.	0° - Horizontal	43
P23B	Viga +4.65 m.	0° - Horizontal	44
P23E	Viga +4.65 m.	0° - Horizontal	42
V163	Viga +0.75 m.	0° - Horizontal	43
V163A	Viga +0.75 m.	0° - Horizontal	45
V165	Viga +0.75 m.	0° - Horizontal	42
V165A	Viga +0.75 m.	0° - Horizontal	40

En la primera columna de la Tabla se indica el elemento estructural que ha sido evaluado. La letra V implica que el elemento es una viga y la letra P que el

elemento es un pilar. La numeración es concordante con la planta de encofrado utilizada durante la construcción.

La segunda columna indica la posición del elemento, ya que se analizaron piezas estructurales de la planta baja (techo de planta baja cota de diseño + 0.75m.) y del primer piso (techo de primer piso cota de diseño +4.65 m.).

Para todos los casos se utilizó la posición horizontal del esclerómetro, lo que se indica en la tercera columna con el ángulo de 0°.

La cuarta columna indica el Índice Esclerométrico Medio N.

De los resultados obtenidos se puede concluir que los valores presentados son uniformes y que la resistencia superficial del hormigón se encuentra en muy buen estado.

Debe tenerse en cuenta que uno de los efectos de la carbonatación es el aumento de la dureza superficial del hormigón, y los valores obtenidos pueden estar afectados por esta situación.

I.5.2.- Velocidad de Pulso Ultrasónico.

El ensayo de esclerometría da indicadores de la resistencia superficial del hormigón, que en base a los resultados obtenidos, se puede concluir que se encuentra en buen estado. Para la verificación de la calidad del hormigón en términos de compactación adecuada, incluyendo el área interna, se utiliza la propagación de ondas de ultrasonido a través del material, Figura 15.

Figura 15. Medición de velocidad de pulso ultrasónico.

Los resultados obtenidos en este ensayo se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3. Velocidad de pulso ultrasónico.

Identificación	Elemento Estructural	Velocidad (m/s)	Calidad del Hormigón
V263	Viga +4.65 m.	3320	Aceptable
V266	Viga +4.65 m.	3731	Buena
V269	Viga +4.65 m.	3711	Buena
V272	Viga +4.65 m.	3390	Aceptable
V273	Viga +4.65 m.	3630	Buena
V276	Viga +4.65 m.	3137	Aceptable
V283	Viga +4.65 m.	3587	Buena
V286	Viga +4.65 m.	3413	Aceptable
V287	Viga +4.65 m.	2992	Deficiente
P23A	Viga +4.65 m.	2222	Deficiente
P23B	Viga +4.65 m.	3077	Aceptable
P23E	Viga +4.65 m.	2367	Deficiente
V163	Viga +0.75 m.	3594	Buena
V163A	Viga +0.75 m.	4053	Buena
V165	Viga +0.75 m.	4269	Buena
V165A	Viga +0.75 m.	3988	Buena

En la primera columna de la Tabla 3 se indica el elemento estructural que ha sido evaluado. La letra V implica que el elemento es una viga y la letra P que el elemento es un pilar. La numeración es concordante con la planta de encofrado utilizada durante la construcción.

La segunda columna indica la posición del elemento, ya que se analizaron piezas estructurales de la planta baja (cota de diseño + 0.75m.) y del primer nivel (cota de diseño +4.65 m.).

En la tercera columna se indica la velocidad de pulso ultrasónico obtenido por el instrumento al atravesar el elemento estructural.

En la cuarta columna se indica la calidad del hormigón de acuerdo a la clasificación asignada por la siguiente tabla en función a la velocidad de propagación, Tabla 4.

Tabla 4. Relación Velocidad – Calidad del Hormigón.

Velocidad de propagación (m/seg)	Calidad del Hormigón
> 4500	Excelente
3500 - 4500	Buena
3000 – 3500	Aceptable
2000 – 3000	Deficiente
< 2000	Muy deficiente

Los resultados indican que el hormigón se encuentra en un estado bueno, excepto en los pilares P23, donde los resultados no han sido satisfactorios. En concordancia con estos resultados se debe indicar que la zona en la que se encuentran los mismos corresponde a la posición del foco de incendio más importante.

I.5.3.- Frente de Carbonatación.

El frente de carbonatación del hormigón es medido a través del empleo de la reacción química entre la fenolftaleína y el hormigón, Figura 16.

Figura 16. Medición del frente de carbonatación.

Se mide el recubrimiento y el avance del frente. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores de avance del frente de carbonatación.

Identificación	Elemento Estructural	Espesor Recubrimiento (mm)	Espesor Carbonatado (mm)	% carbonatación con respecto a recubrimiento
V263	Viga +4.65 m.	25	10	40 %
V266	Viga +4.65 m.	11	12	> 100 %
V269	Viga +4.65 m.	29	24	83 %
V272	Viga +4.65 m.	31	12	39 %
V272A	Viga +4.65 m.	10	4	40 %
V273	Viga +4.65 m.	12	15	> 100 %
V276	Viga +4.65 m.	12	16	> 100 %
V283	Viga +4.65 m.	12	16	> 100 %
V286	Viga +4.65 m.	15	25	> 100 %
V287	Viga +4.65 m.	15	5	33 %
V163	Viga +0.75 m.	20	10	50 %
V163A	Viga +0.75 m.	22	14	64 %
V165	Viga +0.75 m.	20	12	60 %
V165A	Viga +0.75 m.	21	51	> 100 %

En la primera columna de la Tabla se indica el elemento estructural que ha sido evaluado. La letra V implica que el elemento es una viga. La numeración es concordante con la planta de encofrado utilizada durante la construcción.

La segunda columna indica la posición del elemento, ya que se analizaron piezas estructurales de la planta baja (techo de planta baja cota de diseño + 0.75m.) y del primer nivel (techo de primer piso cota de diseño +4.65 m.).

En la tercera columna se indica el espesor del recubrimiento en la zona que se realiza el ensayo, en milímetros.

En la cuarta columna se indica el espesor carbonatado, en milímetros.

En la quinta columna se obtiene la relación carbonatado / recubrimiento en porcentaje.

Como puede observarse en el 70% de los casos la carbonatación afecto el hormigón una profundidad igual o mayor al 50% del recubrimiento de las armaduras, lo que representa un valor bastante elevado con la consiguiente posibilidad de afectación de las armaduras.

I.5.4.- Pachometría.

A continuación, se presenta el resultado del ensayo de pachometría realizado. La Figura 17 corresponde a las secciones de las vigas que han sido estudiadas y verificadas de acuerdo al cálculo estructural realizado.

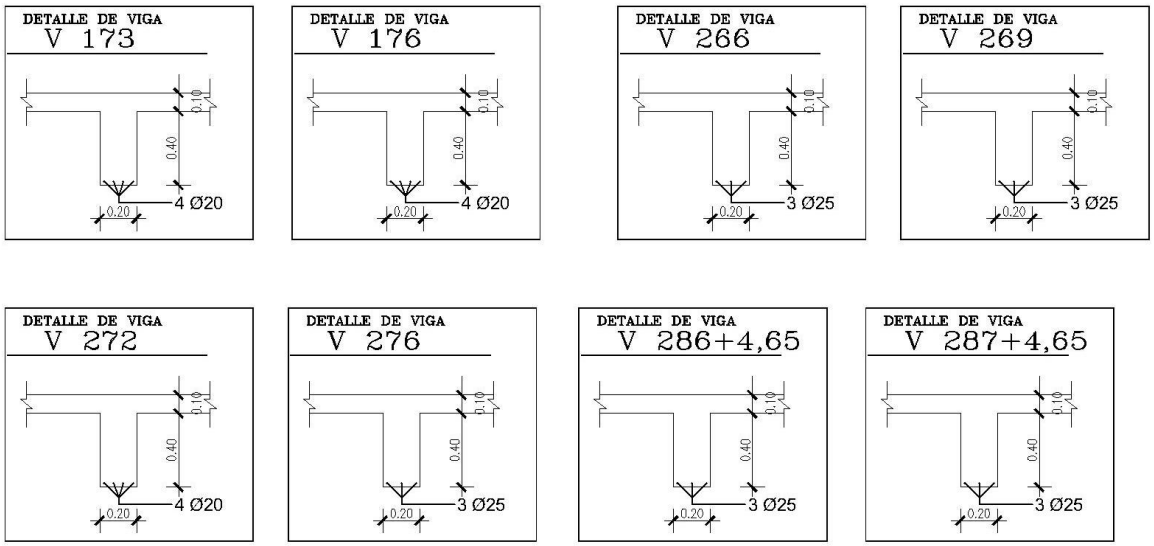


Figura 17. Secciones de Viga analizadas.

En todos los elementos donde se realizaron los ensayos de pachometría y verificación de armaduras, se constaron que coincidían con las armaduras proyectadas en el Cálculo Estructural.

I.5.5.- Rotura de Probetas Testigo.

Se extrajeron en total 7 probetas testigo de diferentes zonas de las losas que corresponden al techo de la planta baja (cota de diseño +0,75 m.) y del techo del primer piso (cota de diseño +4,65 m.), Figura 18.

Figura 18. Probetas testigo extraídas.

Los valores de rotura obtenidos luego se ser sometidas las probetas testigos al ensayo de compresión simple se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Resistencia a la compresión de probetas – testigo.

Probeta Testigo	Resistencia a la Compresión (MPa)
T1	28.4
T2	32.3
T3	33.4
T4	30.2
T5	27.6
T6	31.6
T7	30.1

Teniendo en cuenta que la Resistencia a la Compresión de diseño es de 25 MPa, se puede concluir que los valores obtenidos se encuentran por encima del valor especificado en el cálculo, Esto implica que la resistencia a la compresión del hormigón en las losas no fue afectada por las altas temperaturas.

I.5.6.- Mapeo de Fisuras.

Se realiza un relevamiento general de las fisuras existentes y que han aparecido luego de la acción de las altas temperaturas. La aparición de estas fisuras es un síntoma muy significativo del grado de afectación que sufrió el edificio y los resultados del mapeo son los siguientes:

a) Fisuras en losas.

La afectación de las losas se da en forma expansiva a través de la aparición de fisuras en mapa o piel de cocodrilo. Se producen por la acción del elevado gradiente térmico y se encuentran esparcidas por toda la losa techo del primer piso (cota de diseño +4.65 m.), Figura 19.

Figura 19. Fisuras en forma de mapa o piel de cocodrilo.

Teniendo en cuenta el nivel de afectación generalizada en toda la losa, se recomienda el reemplazo total del recubrimiento en las zonas afectadas por esta patología. Este reemplazo además es necesario por el nivel de carbonatación observado en esas zonas, lo que en el plazo cercano conducirá a situaciones indeseadas de corrosión de las armaduras.

b) Fisuras en vigas.

Son fisuras que se observan en las vigas. Existen tanto fisuras de desarrollo vertical (fisuras por flexión) y de desarrollo inclinado (fisuras por cortante). Se encuentran en ambas zonas de estudio y deben ser reparadas y reforzadas, Figura 20.

Figura 20. Fisuras en vigas.

Para las fisuras existentes en las vigas, el proceso de reparación incluye el relleno de las mismas con resina epoxi a fin de evitar que las fracturas se conviertan en un canal de ingreso de materiales extraños y humedad, que el mediano plazo producirán corrosión en las armaduras.

Una vez rellenadas las fisuras con material epóxico, la zona de influencia debe ser reforzada, a fin de que el elemento recupere su capacidad resistente de trabajo. Este refuerzo se debe realizar a través de la aplicación de fibras de carbono, Figura 21.

Figura 21. Fibra de carbono.

En estos sistemas de refuerzos, denominados compuestos estructurados con fibras de carbono CFC, el material de la lámina de fibra es un tejido de hilos muy finos de carbono dispuestos unidireccionalmente, cuya resistencia a la tensión es del orden de diez veces superior a la del acero de las armaduras. Además tienen otras propiedades muy convenientes para su uso en la construcción civil: son muy

livianos, no sufren corrosión, son muy duraderos, resistentes a la fatiga y a la fluencia.

Los mismos pueden ser utilizados con seguridad en aplicaciones superficiales para:

• Aumentar la capacidad de soporte de carga de las estructuras de concreto y mampostería.

• Aumento de la capacidad a flexión de vigas y losas de concreto reforzado.

• Aumento de la resistencia a flexión y de corte de muros de concreto y de mampostería.

• Mejorar la capacidad del concreto en túneles y en silos.

• Restaurar la capacidad estructural de elementos deteriorados de concreto reforzado.

• Sustitución de barras de acero corroídas.

• Sustitución de cables de pretensado.

• Corrección de errores constructivos y de diseño.

• Sustituir barras de refuerzo inexistentes.

En la Figura 22 se muestra la reparación de una ménsula con una fisura importante en la zona lateral.

Figura 22. Reparación con fibra de carbono.

En la Figura 23, 24, 25 y 26 se observan estructuras reparadas con fibras de carbono.

Figura 23. Reparación de viga con fibra de carbono.

Figura 24. Reparación en nudo de pórtico interior.

Figura 25. Reparación de losa armada en una dirección.

Figura 26. Reparación de losas y vigas con fibras de carbono.

c) Fisuras en losas con eflorescencia.

Existen fisuras en losas y vigas donde se observan eflorescencias que implican la circulación de agua a través de ellas. Al momento de la elaboración de este informe no se observó ningún líquido presente, solo se puedo verificar la situación por las eflorescencias observadas. El líquido que en su momento atravesó estos elementos estructurales provino de la destrucción de las cañerías de desagüe pluvial y cloacal que al ser de PVC quedaron completamente destruidas por el fuego, Figura 27.

Figura 27. Fisura en losa con eflorescencia.

d) Desprendimiento superficial (spalling).

El proceso de desprendimiento, también llamado spalling, tiene lugar rápidamente, a los 100-150 ºC, como resultado del impacto térmico y el cambio de estado del agua intersticial. A medida que el agua se convierte en vapor y debido a la densa estructura del hormigón, el vapor no puede escapar eficientemente a través de su matriz, y la presión aumenta. Cuando la presión en el hormigón es superior a su resistencia, comienza el proceso de desprendimiento o spalling. Estas coqueras así producidas dejan al descubierto el hormigón “fresco”, que queda expuesto a un calor intenso, lo que reproduce el proceso de desprendimiento a mayor velocidad. El efecto spalling es inmediato, por lo que el hormigón de recubrimiento salta durante el incendio, es decir que la superficie interior y las barras de acero quedan expuestas, Figura 28.

Figura 28. Salto del recubrimiento, efecto “spalling”.

El proceso de reparación de estas zonas afectadas implica la limpieza y remoción de material de la zona afectada y la reposición del recubrimiento afectado.

e) Armaduras expuestas.

Existen zonas de la estructura donde las armaduras han quedado expuestas, por acciones anteriores o colocación de cañerías posteriores a la elaboración de la estructura de hormigón. Para estas zonas se recomienda la limpieza de las barras, la remoción de todo vestigio de corrosión existente y la protección de la armadura, Figura 29, 30.

Figura 29. Armaduras expuestas.

Figura 30. Armaduras expuestas.

f) Fisuras en pilares.

Existen fisuras en pilares del primer piso que deben ser reparadas. Los pilares más afectados fueron el P23A, P23E y la columna C50, donde se observan fisuras y una limitada reducción de la capacidad resistente del material, Figura 31.

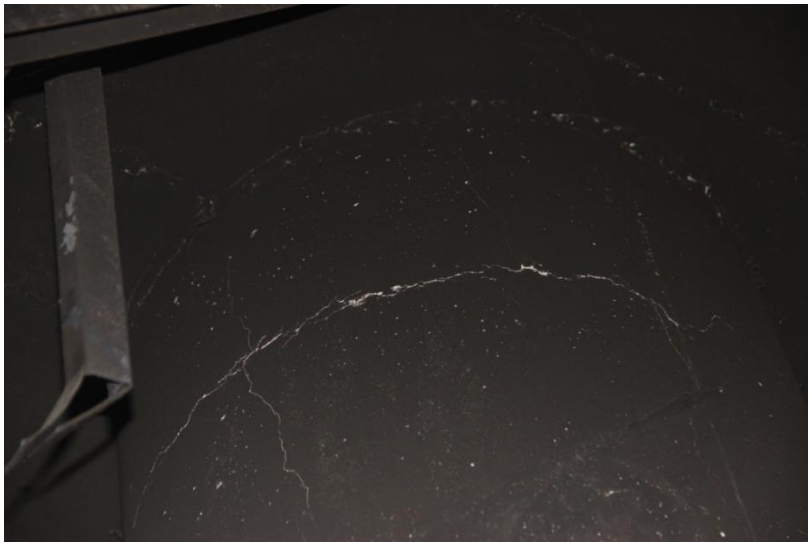


Figura 31. Fisura en columna.

I.5.7.- Relevamiento topográfico.

Se determinaron diferencias de nivel de diferentes puntos de la losa techo de la planta baja (cota de diseño +0.75 m.) y de la losa techo de primer piso (cota de diseño +4.65 m.) a fin de determinar si existen deformaciones remanentes en la estructura. Se tomaron 10 puntos en cada una de las losas y los resultados son:

Tabla 7. Relevamiento Topográfico Losa Techo Planta Baja.

Losa Techo Planta Baja (Cota de diseño +0.75 m.)	
Cota Referencial Estación Instrumento = +0.000 m.	
Punto	Cota con respecto a referencial (m.)
01	+0,008
02	+0.006
03	+0.009
04	+0.010
05	+0.003
06	-0.002
07	-0.005
08	-0.005
09	-0.009
10	-0.005

Tabla 8. Relevamiento Topográfico Losa Techo Primer Piso.

Losa Techo Primer Piso (Cota de diseño +4.65 m.)	
Cota Referencial Estación Instrumento = +0.000 m.	
Punto	Cota con respecto a referencial (m.)
01	+0,000
02	+0.005
03	+0.004
04	-0.010
05	-0.007
06	-0.003
07	+0.005
08	+0.006
09	+0.006
10	-0.002

De los resultados obtenidos se puede concluir que las diferencias observadas se encuentran dentro del rango admitido para trabajos de construcción civil, por lo tanto no existen deformaciones remanentes en la estructura (buen síntoma).

SECCIÓN II
PROYECTO DE REPARACIÓN DE DAÑOS Y REHABILITACIÓN

SECCIÓN II
PROYECTO DE REPARACIÓN DE DAÑOS Y REHABILITACIÓN

En función a los daños observados y que han sido ampliamente explicados en la Sección I de este trabajo, se propone un Proyecto de Reparación que permitirá la Rehabilitación de la edificación para su uso pleno.

Este Proyecto de Reparación, desarrollado aquí de manera textual, va acompañado de los planos correspondientes que permitirán al desarrollador de los trabajos cumplir con las tareas de rehabilitación de la estructura.

II.1.- Reparación de Fisuras en losas.

Las fisuras que se presentan en la losa techo de primer piso (cota de diseño +4.65 m.) son del tipo mapa o piel de cocodrilo, que se expanden por toda la superficie de la losa. Además, los resultados de carbonatación en esta zona indican que gran parte del recubrimiento ya ha sido afectado por el proceso químico y las barras están expuestas a procesos de corrosión, Figura 32, 33.

Figura 32. Daño en forma de mapa o piel de cocodrilo.

Figura 33. Avance de la carbonatación más allá del recubrimiento.

Por este motivo, la solución indicada es la remoción total del recubrimiento y el reemplazo del mismo con mortero proyectado, de tal manera que se cumpla una doble tarea, la desaparición de las fisuras y el corte del proceso de corrosión de las armaduras, Figura 34

Figura 34. Técnica de reparación con hormigón o mortero proyectado.

Las especificaciones técnicas para esta metodología pueden ser encontradas en la siguiente referencia: https://es.slideshare.net/viiiixo/hormigon-proyectado-35

Para la reparación y rehabilitación de la losa techo de planta baja (cota de diseño +0.75 m.), que no presenta fisuración distribuida, sino una fisuración discreta, se propone una solución de relleno de las fisura con resina epoxi y refuerzo del elemento con fibras de carbono, Figura 35, 36, 37.

Figura 35. Relleno de fisura con resina epoxi.

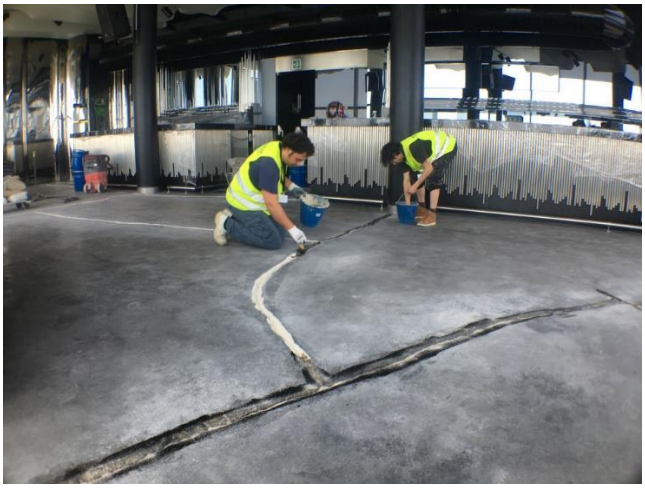


Figura 36. Relleno de fisura con resina epoxi.

Figura 37. Relleno de fisura.

El Instituto Americano del Hormigón (ACI por sus siglas en inglés) brinda detalles, procedimientos y especificaciones a ser tenidas en cuenta para la realización de este trabajo a través del documento “Reparación de Grietas Estructurales Por Inyección de Resinas Epóxicas”, Informe del Comité E706 de ACI que debe usarse como especificación técnica para la ejecución del método.

Una vez culminado el proceso de curado de las fisuras con el relleno de epoxi, se procede al refuerzo de la losa por medio de la utilización de láminas de fibra de carbono, Figura 38, 39.

Figura 38. Refuerzo de losa con Fibra de Carbono.

Figura 39. Refuerzo de losa con Fibra de Carbono.

II.2.- Reparación de Fisuras en vigas.

Las fisuras son de distribución discreta, se desarrollan de forma vertical (fisuras por flexión) y de forma inclinada (fisuras por cortante). Al igual que lo indicado en el ítem anterior, se debe preceder a un relleno de las mismas por un doble efecto, en primer lugar para curar la fisura y en segundo lugar para evitar el ingreso de materiales contaminantes y humedad que son fuente de corrosión para las armaduras, Figura 40.

Figura 40. Relleno de fisura en vigas.

Como técnica de refuerzo se debe utilizar fibras de carbono, dispuestas de forma vertical (tipo estribos) donde se presentan fisuras inclinadas (efecto de la

fuerza cortante) y dispuestas de forma horizontal donde se presentan fisuras verticales (efecto de la flexión), Figura 41, 42, 43.

Figura 41.Refuerzo al cortante de vigas con fibra de carbono.

Figura 42.Refuerzo al cortante de vigas láminas de carbono.

Figura 43. Refuerzo a la flexión de vigas con fibra de carbono.

II.3.- Reparación de Fisuras en losas con eflorescencia.

Corresponden a fisuras desarrolladas de forma discreta, donde el procedimiento es similar al ítem anterior. Sin embargo en este caso se debe tener atención especial a la limpieza interior de la fisura, por el alto grado de afectación que implica la circulación de líquido dentro del elemento estructural. La limpieza debe ser cuidadosa y estricta, con utilización de aire comprimido que permita la evacuación de todo material extraño que haya accedido al interior de la pieza, Figura 44.

Figura 44. Limpieza de fisuras.

Una vez limpiada la fisura y rellenada con epoxi se procede al refuerzo mediante la utilización de fibras de carbono.

II.4.- Desprendimiento superficial y armaduras expuestas.

Implica en primer lugar la limpieza acabada de toda la zona en la que se observan las armaduras expuestas, la remoción de todo vestigio de corrosión en las barras y aplicación de material protector a las armaduras. Luego de esto se procede a la reposición del material de hormigón removido, quedando finalmente toda la zona protegida por el hormigón, Figura 45.

Figura 45. Limpieza y protección de armaduras expuestas.

II.5.- Fisuras en pilares y columnas.

Los pilares más afectados fueron el P23A y el P23E, de sección cuadrangular, ubicados en el primer piso, donde se desarrolló la fuente de calor más importante. Además fue afectada la columna C50, donde se observan fisuras. La técnica de reparación y rehabilitación es similar que para las fisuras discretas en losas y vigas, consiste en el curado de las fisuras por el proceso de limpieza y rellenado con resina epoxi y luego el refuerzo con fibras de carbono, Figura 46, 47.

Figura 46. Refuerzo de columnas con fibra de carbono.

Figura 47. Refuerzo de pilares con fibra de carbono.

SECCIÓN III
COSTO DE LOS TRABAJOS

SECCIÓN III

COSTO DE LOS TRABAJOS

En la siguiente Tabla se presenta el Costo que demandarán los trabajos de Reparación y Rehabilitación de la Estructura. Ha sido calculado a precio actual de mercado (agosto 2017) e incluyen mano de obra, materiales e IVA.

PRESUPUESTO DE COSTO TOTAL DE REPARACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURA CONGRESO NACIONAL

Item	*SubItem*	*Unidad*	*Cantidad*	*Costo Unitario*	*Costo Total*
Trabajos de Organización	Depósito de materiales, Obrador, Preparación del lugar (adecuación de cañerías, remoción cielo raso, limpieza de escombros), Movilización, Desmovilización, Estructuras de soporte, Limpieza.	Global	1	117000000	117000000
	Retiro y reemplazo de recubrimiento con mortero de protección, pintura de protección.	m2	180	987000	177660000
Reemplazo de recubrimiento y reparación de corrosión	Solución problemas de corrosión existentes, limpieza de armaduras expuestas, relleno con Graut, membrana de curado.	m2	7	2500000	17500000
Inyección de epoxi en fisuras	Preparación de las fisuras, limpieza, pulido con lijadora, inyección de epoxi.	m	110	796500	87615000
	Refuerzo en losas, preparación de superficie, base epoxidica, mortero protector, membrana de curado, materiales y mano de obra.	m2	37	4400000	162800000
Refuerzo con Fibra de Carbono	Refuerzo en vigas, preparación de superficie, base epoxidica, mortero protector, membrana de curado, materiales y mano de obra.	m2	26	4400000	114400000
	Refuerzo en pilares, preparación de superficie, base epoxidica, mortero protector, membrana de curado, materiales y mano de obra.	m2	39	4400000	171600000
				Costo Total Iva Incluido	***848575000***

Costo total iva incluído : Ochocientos cuarenta y ocho millones quinientos setenta y cinco mil guaraníes. ----------

SECCIÓN IV
CONCLUSIONES

Las Conclusiones finales del trabajo son las siguientes:

■ La estructura afectada por el incendio ha sufrido daños que afectaron a losas, vigas y columnas de zonas bien delimitadas de techo de planta baja (cota de diseño +0.75 m.) y techo de primer piso (cota de diseño +4.65 m.).

■ Los daños se pueden visualizar por la aparición de fisuras. Estas fisuras tienen un desarrollo distribuido en el techo de primer piso (cota de diseño +4.65 m.) y un desarrollo más discretizado en techo de planta baja y en vigas.

■ Los pilares más afectados fueron los ubicados en primer piso e identificados en la planta original de encofrado como P23A, P23E y C50, donde se observan fisuras y una limitada reducción de la capacidad resistente.

■ Como resultado del relevamiento topográfico no se observan deformaciones remanentes (buen síntoma), por lo cual se pueden aplicar técnicas convencionales de reparación y refuerzo estructural.

■ Las técnicas propuestas de curado de las fisuras (inyección de epoxi), refuerzo con fibras de carbono y reemplazo de recubrimiento en techo de losa de primer piso constituyen metodologías de amplia utilización en Paraguay y por lo tanto son aplicables con absoluta confiabilidad.

■ El daño puede ser considerado de nivel moderado, por lo cual se recomienda realizar la reparación para utilizar de forma plena los pisos superiores. Se recomienda por el momento no utilizar la sala de sesiones de la Cámara de Senadores para plenarias ni tampoco el Salón de Reuniones en capacidad total.

■ Una vez realizados los trabajos en el edificio queda rehabilitado para su utilización plena y efectiva.

Referencias Bibliográficas

ACI 224. 1R-93 Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón.

Fernández Cánovas M, “Patología y terapéutica del hormigón armado”, Universidad Politécnica de Madrid, 1994.

Toirac Corral J., “Patología de la construcción. Grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención”, en Ciencia y Sociedad, Instituto Tecnológico de Santo Domingo, República Dominicana, vol. 29. núm. 001, enero-marzo de 2004, pp. 72-114.

P. O. Américo, A. A. Nepomuceno. Influencia del contenido en cemento en la corrosión de la armadura en morteros carbonatados. Materiales de construcción. Vol. 53. n” 271-272. Madrid. 2003.

I. Sirvent, Tecnología y terapéutica del hormigón armado (parte 1ª). ITC. Barcelona. 1977.

I. Galán. Carbonatación del hormigón: combinación de CO2 con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH. Tesis doctoral Universidad Complutense de Madrid. Facultad de ciencias químicas. 2011.

C. I. Daga “Técnicas para afinar la precisión de medida del esclerómetro Schmidt’’. Arte y Cemento. Núm 2023. Bilbao. 2006.

AENOR. UNE-EN 13791: Evaluación de la resistencia a compresión in-situ en estructuras y elementos prefabricados de hormigón. AENOR. Madrid. 2009.

D. Revuelta Crespo, J.P.Gutiérrez Jiménez. Estimación de la resistencia a compresión del hormigón mediante el muestreo, extracción y rotura de probetas

testigo. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Madrid.

BSI. EN 13791: Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components. British Standard s Institution. Londres. 2006.

J.H. Bungey, S.G. Millard, M.G. Grantham. Testing of Concrete in Structures. 4th edition. Taylor & Francis. Oxon. 2006.

AA.VV. “ACI 201.2R-01: Guía para la Durabilidad del Hormigón” American Concrete Institute. 2001.

A. Joisel. Fisuras y grietas en hormigones y morteros. 5ª Edición. Editores técnicos asociados, S.A. Barcelona. 1981.

M. Olivares, J. Laffarga, C. Galán, P. Nadau. Evaluación de la resistencia mecánica de un hormigón según su porosidad. Materiales de Construcción, Vol. 54, n° 273. CSIC. 2004.