INFORME

"EVALUACION DEL ESTADO ESTRUCTURAL DE UN CONJUNTO DE MUELLES DE HORMIGON ARMADO"

Muelles Petropar – Villa Elisa

Octubre, 2018

Peticionario: CIALPA

Ref: 86/18

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES 3
2. OBJETO 3
3. DATOS PREVIOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO 3
4. DESCRIPCIÓN TEÓRICA DE LOS ENSAYOS REALIZADOS 6
5. DESARROLLO DE LOS TRABAJOS 14
6- RESULTADOS OBTENIDOS 31
7. CONCLUSIONES 64
8. RECOMENDACIONES 66

Bibliografía

Anexo 1. Ensayos no destructivos.

1. ANTECEDENTES

En fecha 21 de agosto de 2018 hemos presentado una propuesta técnico-económica para la evaluación estructural del estado del muelle de Petropar ubicado en la ciudad de Villa Elisa.

2. OBJETO

El presente informe tiene por objeto realizar la evaluación del estado de la estructura de hormigón armado (pilares, vigas y losas) y determinar la necesidad o no de realizar trabajos de reparación y/o refuerzos en la misma.

3. DATOS PREVIOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

3.1. Descripción General

Los sectores del muelle en estudio son muelle norte, muelle central y muelle sur. La estructura del muelle está formada por pilares, vigas y losas de hormigón armado.
A continuación, se muestran fotos de la vista de la estructura y una planta y corte esquemáticos de la misma, provista por el comitente.

Fotografía 1. Vista de los muelles norte y central.

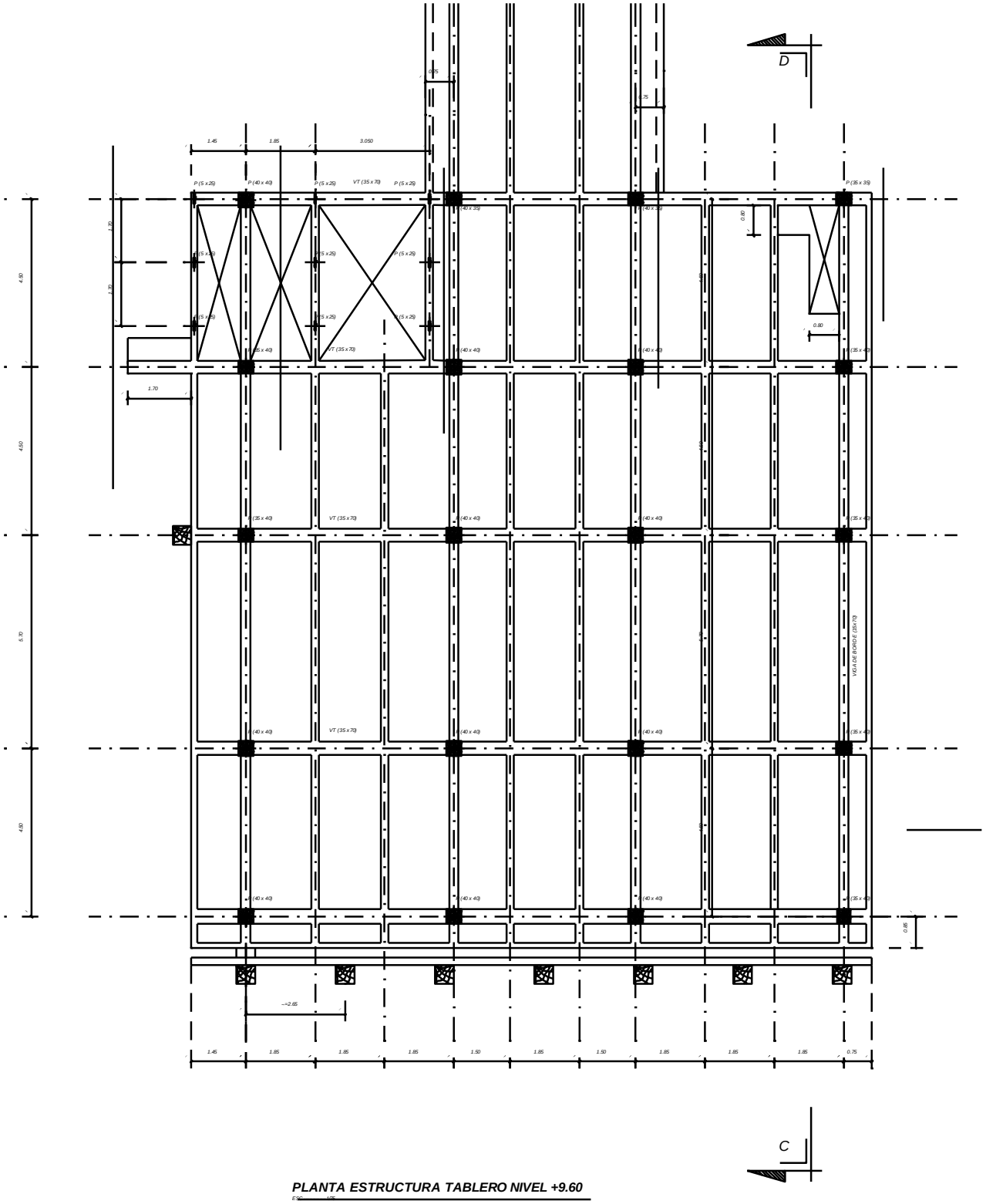


Figura 1. Planta general de la estructura.

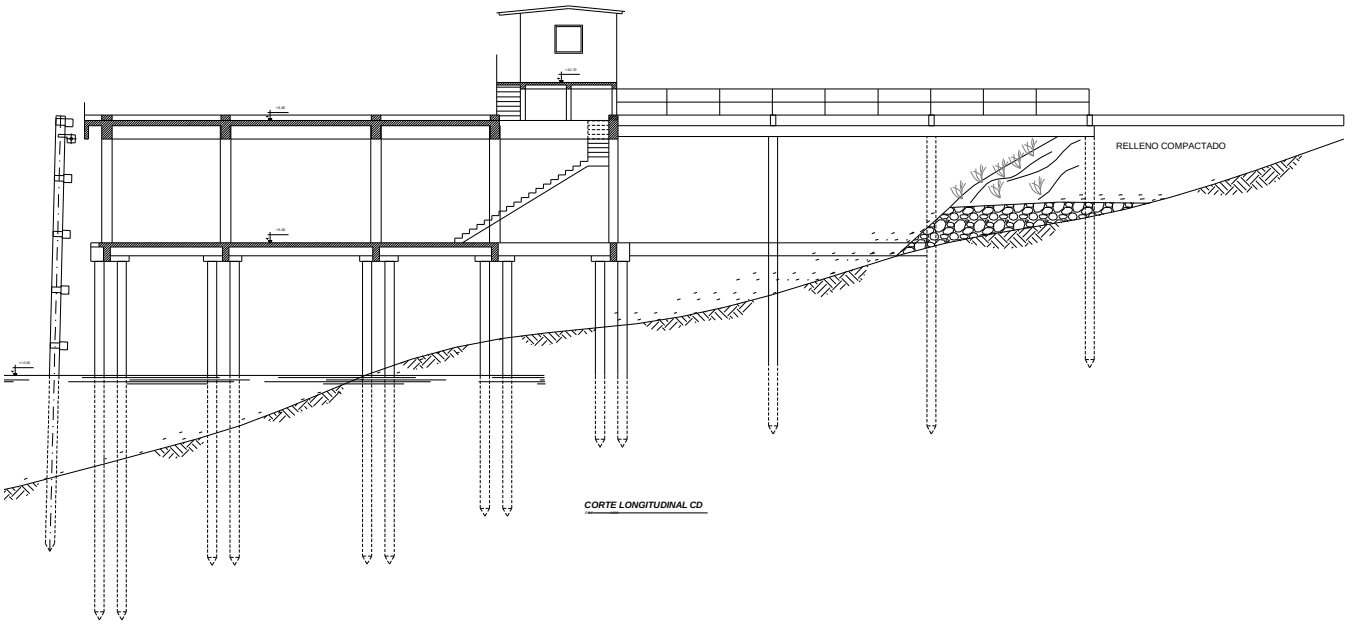


Figura 2. Plano de corte longitudinal de la estructura.

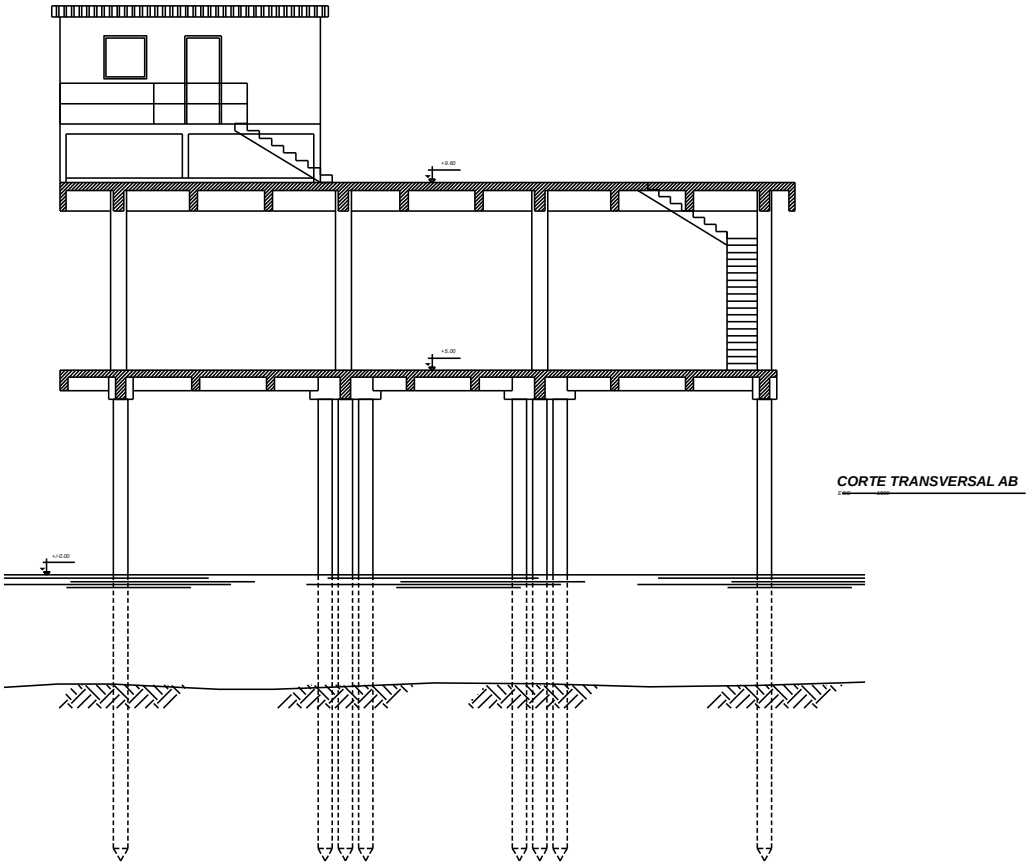


Figura 3. Plano de corte transversal de la estructura

4. DESCRIPCIÓN TEÓRICA DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

4.1. Ensayos no destructivos

Para realizar la evaluación de la resistencia del hormigón de cada uno de los elementos a ensayar, se procedió a realizar ensayos de Esclerometría y de Velocidad de Impulso Ultrasónico, conforme a las normas ASTM C805 y ASTM C597, respectivamente.

4.1.1. Ensayo de Esclerometría

El esclerómetro Schmidt mide la dureza superficial 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 al percusor, arrastrando en su movimiento a un índice que, al desplazarse sobre una escala graduada, marca una magnitud que se denomina índice escleromètrico y que es la relación entre la altura de rebote y la escala total del aparato[1].

Según las recomendaciones de la RILEM (Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayos de Materiales) relativas a este método, la profundidad del hormigón endurecido afectada por el ensayo oscila entre 2 y 3 cm, dependiendo del tipo de esclerómetro y de la resistencia del hormigón.

Fotografía 2. Equipo Esclerómetro.

[1] Fernández, M. Patología y Terapéutica del Hormigón Armado. CICCP. Madrid 1.994. España. Pag 247, 249.

4.1.2. Ensayo de Velocidad de Impulso Ultrasónico

Los ensayos de velocidad de impulso ultrasónico se fundamentan en la propagación de una onda elástica a través de un material, en nuestro caso hormigón, midiendo el tiempo que tarda un impulso en recorrer la distancia que separa a un transductor emisor de un transductor receptor[2].

Los tipos de mediciones son: medición Directa, Indirecta y Semi-directa. En la figura que se presenta a continuación, se observan los tipos de mediciones.

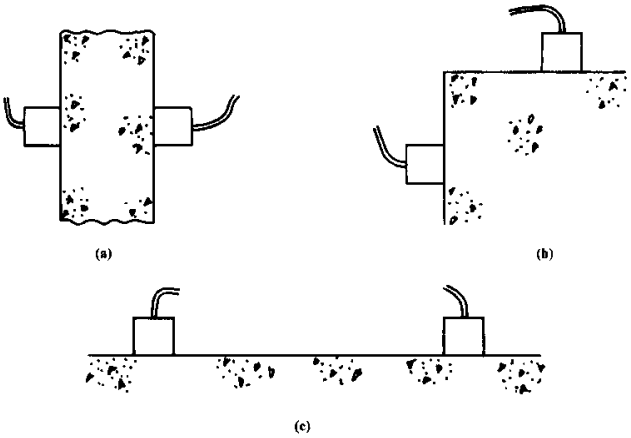


Figura 4. Tipos de mediciones en el Ensayo de Velocidad de Impulso Ultrasónico

(a) Medición Directa, (b) Medición Semi-directa, (c) Medición Indirecta

Se utilizó un equipo portátil de medición indirecta, con transductores de punta diseñados para trabajar sin un material de acoplamiento (grasa o gel).

La distancia nominal entre los transductores es de 150 mm. El impulso generado se transmite con un frente de onda esférica como indica el siguiente gráfico.

Fotografía 3. Equipo de medición de velocidad de ultrasonido.

[2] Fernández, M. Patología y Terapéutica del Hormigón Armado. CICCP. Madrid 1.994. España. Pag 247, 249

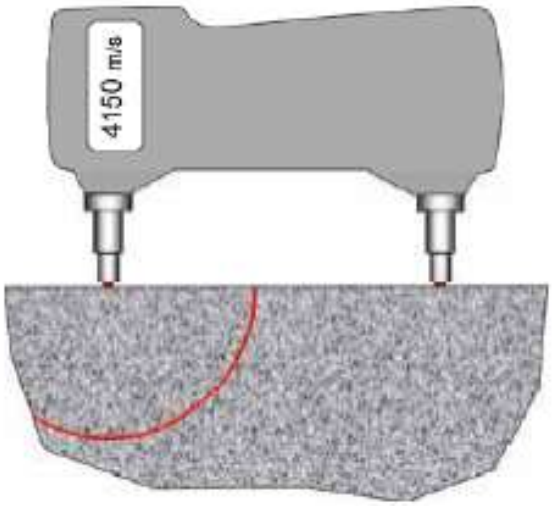


Figura 5. Esquema de transmisión de un impulso ultrasónico.

El instrumento mide el tiempo que tarda un pulso de ondas de tensión longitudinal en recorrer la distancia desde un transductor hasta el otro en la misma superficie y calcula la velocidad del pulso utilizando la distancia conocida entre los transductores.

4.1.2.1 *Medición de profundidad de fisuras*

En el caso de presencia de fisuras, cuando el pulso de la tensión llega a la punta de una superficie de apertura de una fisura, la onda es difractada por la punta de la misma. La difracción del pulso se aleja de la punta de la fisura y es detectado por el receptor. La fisura aumenta la longitud de la ruta de viaje del transmisor al receptor, el tiempo de transmisión será mayor que en el hormigón sano.

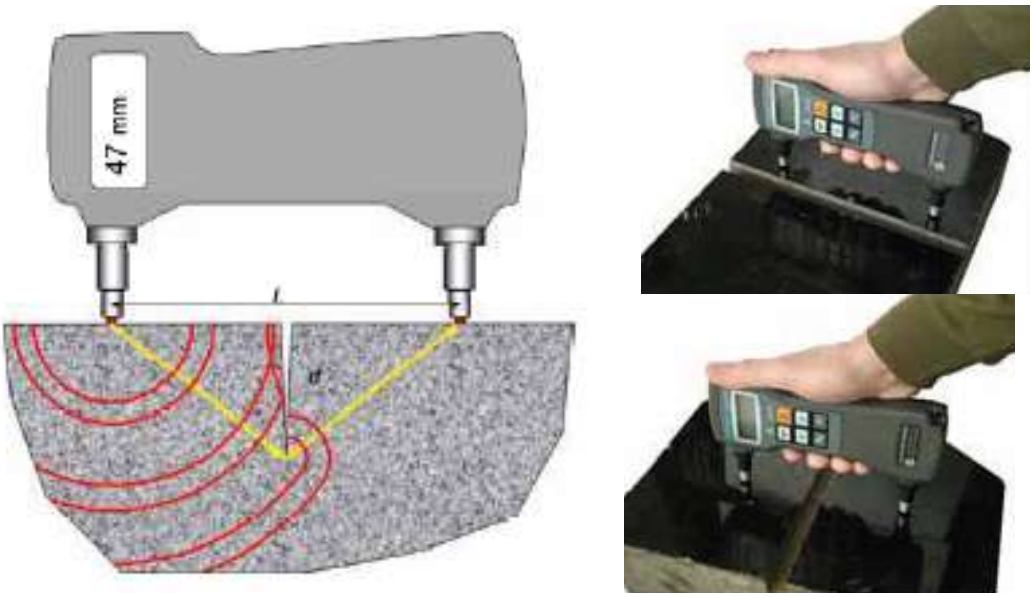


Figura 6. Medición de profundidad de fisuras.

La profundidad de la fisura se determina realizando dos mediciones de tiempo de tránsito. La primera se hace con los transductores alineados de forma paralela a la fisura y la segunda, con los transductores perpendiculares a la fisura. En la segunda medición, la fisura debe quedar en el punto medio entre los transductores. El instrumento utiliza estos tiempos de tránsito y la distancia entre los transductores para calcular la profundidad de la fisura.

$$d = \frac{L}{2}\sqrt{\left(\frac{t_c}{t_p}\right)^2 - 1}$$

Donde:
L: distancia entre los transductores en mm.
t_p: tiempo de tránsito paralela a la fisura en μs.
t_c: tiempo de tránsito con transductores perpendicular a la fisura μs.

4.2. Descripción del Ensayo de Pachometría

En estas determinaciones se emplea el principio de las denominadas ondas electromagnéticas.
El pachómetro permite la detección de forma no destructiva de la presencia de armaduras, así como su dirección y la magnitud del espesor de recubrimiento.
El principio de operación del instrumento se basa en la interacción entre los campos electromagnéticos y los conductores. La inspección consiste en la aplicación a la superficie del hormigón de un detector o sensor constituido por una bobina recorrida por una corriente alterna que genera un campo electromagnético. Cuando existe un conductor eléctrico en sus proximidades, el circuito se cierra y el conjunto actúa como un transformador, lo que se refleja en el paso de una corriente. Es decir, se basan en la medición de la distorsión del campo magnético del transductor (sensor) producida por la presencia en el entorno de un material de alta permeabilidad magnética como son el hierro, níquel, y otros. La base de su sensibilidad se halla en la frecuencia utilizada en la corriente alterna.

En el hormigón son ampliamente utilizados como detectores de armaduras y como medida no destructiva del espesor de recubrimiento, con más o menos error según el instrumento y el tipo de hormigón. En algunos casos (alta densidad de armaduras o recubrimiento de gran espesor) se sigue utilizando el sistema de descubrir localmente una zona de la barra para definir su diámetro y su recubrimiento[3].

[3] J. Calavera .Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado –Tomos 1 y 2 –. Intemac. Pág. 252.

Fotografía 4. Pachómetro.

Además, este ensayo sirve para verificar la posición de las armaduras en el pavimento, previamente a los ensayos de extracción de testigos.

4.3. Extracción y Rotura de testigos de hormigón

4.3.1. Resistencia "real" y resistencia "potencial"

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 15 x 30 cm mientras que la primera presenta condiciones de curado y colocación distintas.

Con relación a la resistencia "real" y "potencial", diversas bibliografías expresan cuanto sigue:

ASTM C42-99

3. SIGNIFICANCE AND USE (SIGNIFICADO Y USO)

3.1 *"No hay relación universal entre la resistencia a la compresión de un núcleo y la correspondiente resistencia a la compresión de cilindros Standard moldeados y curados. Históricamente se ha asumido que la resistencia de los núcleos son el 85 % de las resistencias de los cilindros Standard curados, pero esto no es aplicable a todas las situaciones".*

PATOLOGIA DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO Y PRETENSADO – TOMO 1 – J. CALAVERA
INTEMAC. Pág. 246

i) Resistencia testigo / probeta moldeada:

Este tema ha consumido cantidades ingentes de tiempo y ello es natural porque es de gran importancia en el cálculo estructural.

La curva de la fig.10-14 recogida de estudios del Comité Euro-Internacional del Hormigón (CEB) indica la relación entre las resistencias de probetas testigo y probetas moldeadas, a igual humedad, en función de la resistencia del hormigón.

Como puede verse, para los hormigones usualmente empleados en edificación, es decir para resistencias del orden de 200 a 250 kg/cm², esta relación es del orden de 0,9.

4.4. Evaluación de la durabilidad del hormigón

4.4.1. 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 del hormigón, se pueda conocer el estado de pasivación o no de las mismas y, por tanto, la posibilidad de corrosión de las armaduras.

La carbonatación es un tipo particular de reacción ácida, de excepcional importancia en la durabilidad del hormigón. Se debe a la penetración del CO_2 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 cemento y otros compuestos cálcicos. El proceso origina un descenso del pH en la capa exterior del hormigón, de su valor usual, 13, hasta valores del orden de 9 y, al perder su basicidad, deja de ser un elemento protector de la corrosión de las armaduras[4].

En general el frente de carbonatación del hormigón es medido a través del empleo de indicadores como la fenolftaleína o la timolftaleína, pulverizados en perfiles de hormigón de recubrimiento.

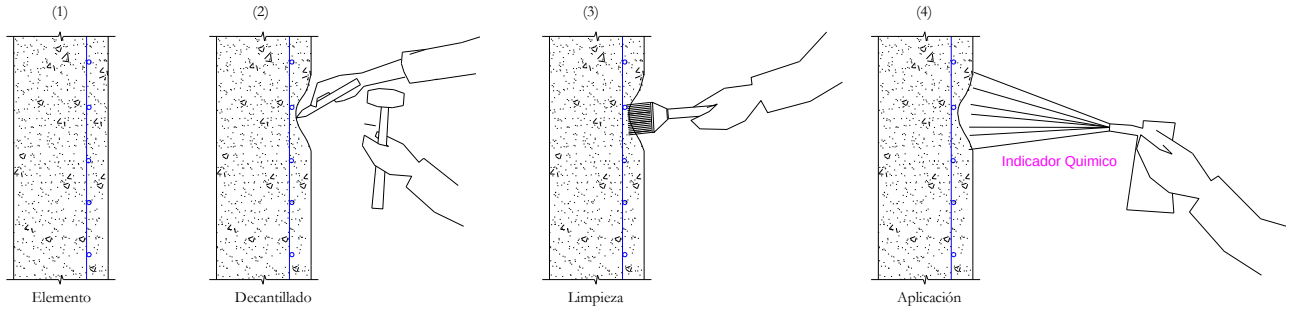
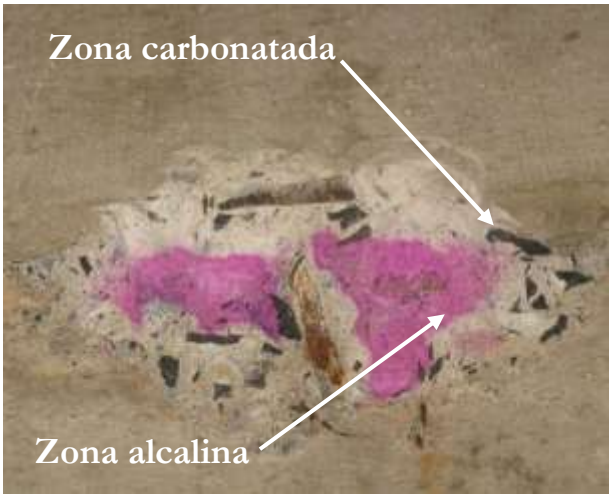


Figura 7. Ejecución del ensayo de carbonatación.

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 coloración rojo carmín con pHs iguales o superiores a 9,5 aproximadamente, y la timolftaleína asume una coloración azulada con pHs del orden de 10,5 o superiores.

Debajo de esos pHs de modificación, el hormigón tiende a no sufrir alteración de color cuando se rocía el indicador (se mantiene incoloro). Se tiene entonces, con la línea divisoria entre la región incolora y la de coloración típica, una clara evidencia de avance del frente de carbonatación hacia el interior del hormigón de recubrimiento.

[4] J. Calavera .Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado –Tomos 1 y 2 –. Intemac. Pág. 47.



Fotografías 5. Ejemplos de medición del frente de carbonatación.
Zona alcalina (coloreada) y zona carbonatada (incolora).

4.4.2 Resistividad Eléctrica del Hormigón

Tiene por objeto evaluar, conforme al valor de resistividad, la probabilidad de corrosión de las armaduras dentro del hormigón. La resistividad eléctrica del hormigón (ρ) es un parámetro que depende fundamentalmente del contenido de humedad y de los electrolitos presentes en el hormigón (cloruros, sulfatos, etc.), así como de la composición de los poros del hormigón.

En la tabla se presentan los criterios para la evaluación de los resultados.

Tabla 1. Probabilidad de corrosión vs. resistividad del hormigón. CEB Boletín Nª 192, 1989.

RESISTIVIDAD DEL HORMIGON kΩ. cm	PROBABILIDAD DE CORROSION
menor a 5	Muy alta
de 5 a 10	Alta
de 10 a 20	Baja
mayor a 20	Despreciable

Fotografía 6. Equipo para ensayo de Resistividad

La resistividad es uno de los factores controladores de la función electroquímica y la medición de la misma puede ser considerada como semicuantitativa para la evaluación de la corrosión.

Las velocidades de corrosión máximas ocurren en hormigones con altos porcentajes de humedad (los cuales presentan una baja resistividad).

La conductividad eléctrica del hormigón es un proceso electrolítico que se lleva a cabo por el movimiento de iones en la matriz de cemento. Este movimiento iónico ocurre cuando los contaminantes, tales como iones de cloruro o de dióxido carbono, se introducen en la matriz.

Un hormigón de alta permeabilidad tiene una alta conductividad y una baja resistencia eléctrica. Debido a que la resistividad es proporcional al flujo de corriente, la medición de la resistencia eléctrica del hormigón proporciona una medida de la posible tasa de corrosión.

Fotografías 7. Ejecución de ensayo de Resistividad.

5. DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

5.1. Equipo Técnico

Los trabajos se iniciaron en fecha 29 de agosto y fueron desarrollados por el siguiente equipo técnico:

- Coordinador general de los trabajos

  Prof. Dr. Ing. Sergio E. Gavilán M.

- Ensayos destructivos y no destructivos

  Ing. Moisés Ferloni
  Técnicos: Roberto Ayala
  Ariel Barreto
  Alejandro Galeano

- Trabajos de gabinete

  Ing. Moisés Ferloni
  Ing. Fanny Araujo

5.2. Trabajos Realizados

Los trabajos y ensayos ejecutados a fin de evaluar la resistencia del hormigón y fueron:

- Preparación de superficie para los ensayos.
- Relevamiento general.
- Ensayos de esclerometría.
- Ensayos de velocidad de impulso ultrasónico.
- Ensayos de pachometría
- Ensayos de carbonatación.
- Ensayos de resistividad
- Extracción de probetas testigo.

A continuación, se presentan fotos ilustrativas de los ensayos ejecutados.

Fotografía 8. Ensayo de esclerometría en pilar.

Fotografía 9. Ensayo de esclerometría en viga.

Fotografía 10. Ensayo de esclerometría en losa.

Fotografía 11. Ensayo de ultrasonido en viga.

Fotografía 12. Ensayo de ultrasonido en losa.

Fotografía 13. Ensayo de ultrasonido en pilar.

Fotografía 14. Ensayo de carbonatación en Losa. Se observa que el espesor carbonatado es de 40 mm.

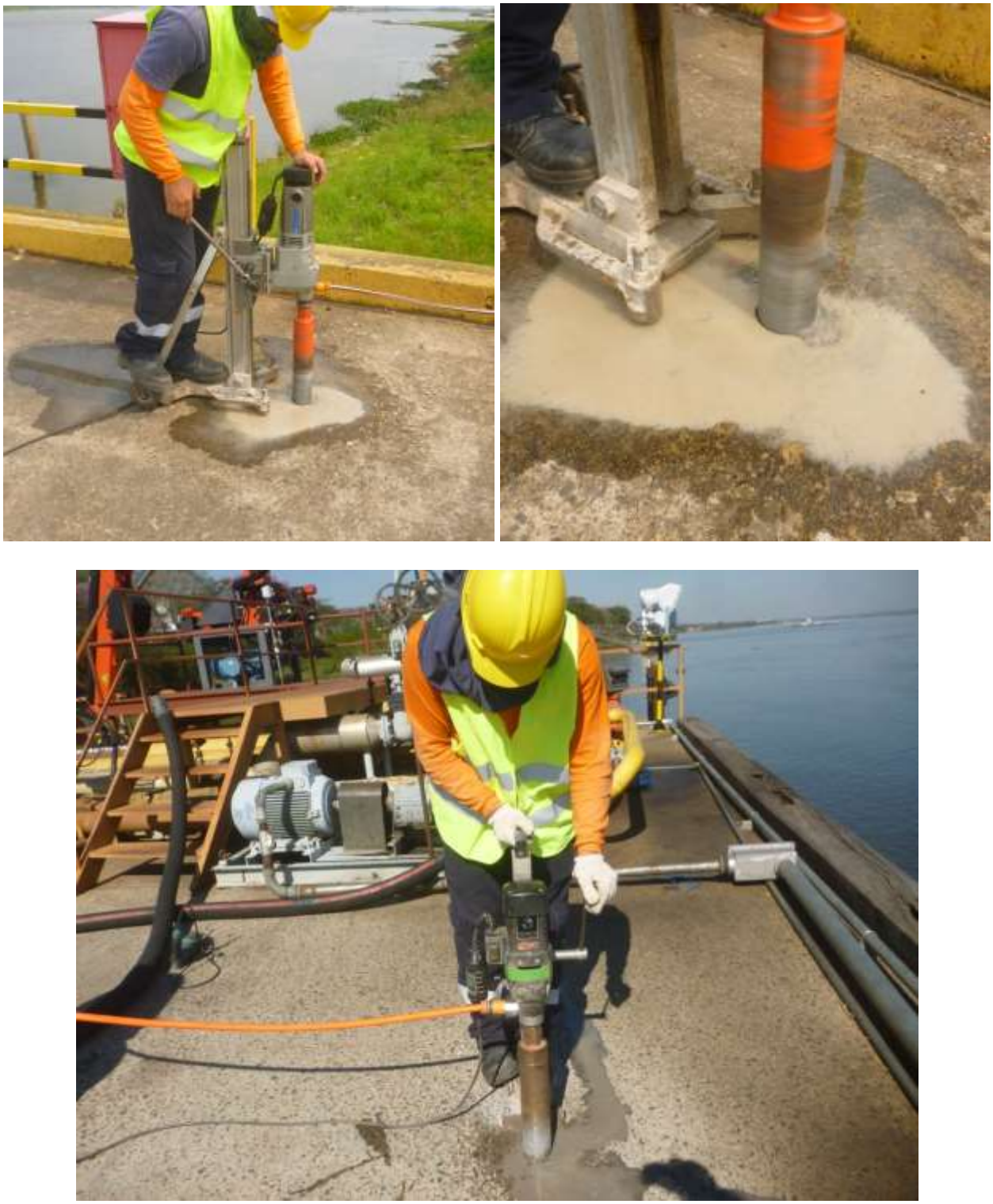
Fotografía 15. Ensayo de carbonatación en Viga. Se observa que lo carbonatado afecta más del 100% del espesor del recubrimiento.

Fotografía 16. Ensayo de carbonatación en Pilar.

Fotografía 17. Ensayo de resistividad en un Viga.

Fotografía 18. Ensayo de resistividad en Pilar.

Fotografía 19. Identificación de posición de armaduras por medio de ensayo de pachometría.

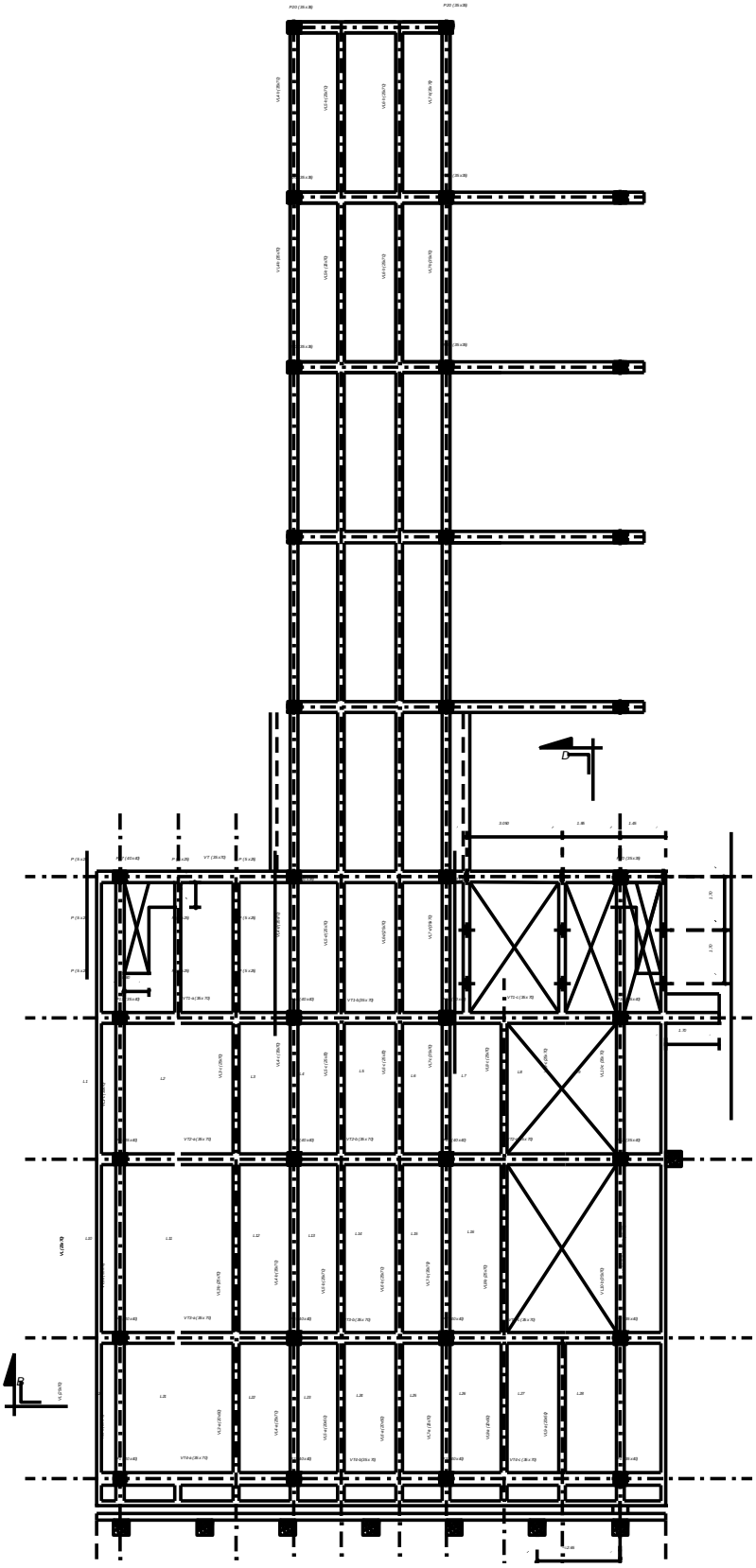


Fotografía 20. Extracción de testigos en losa.

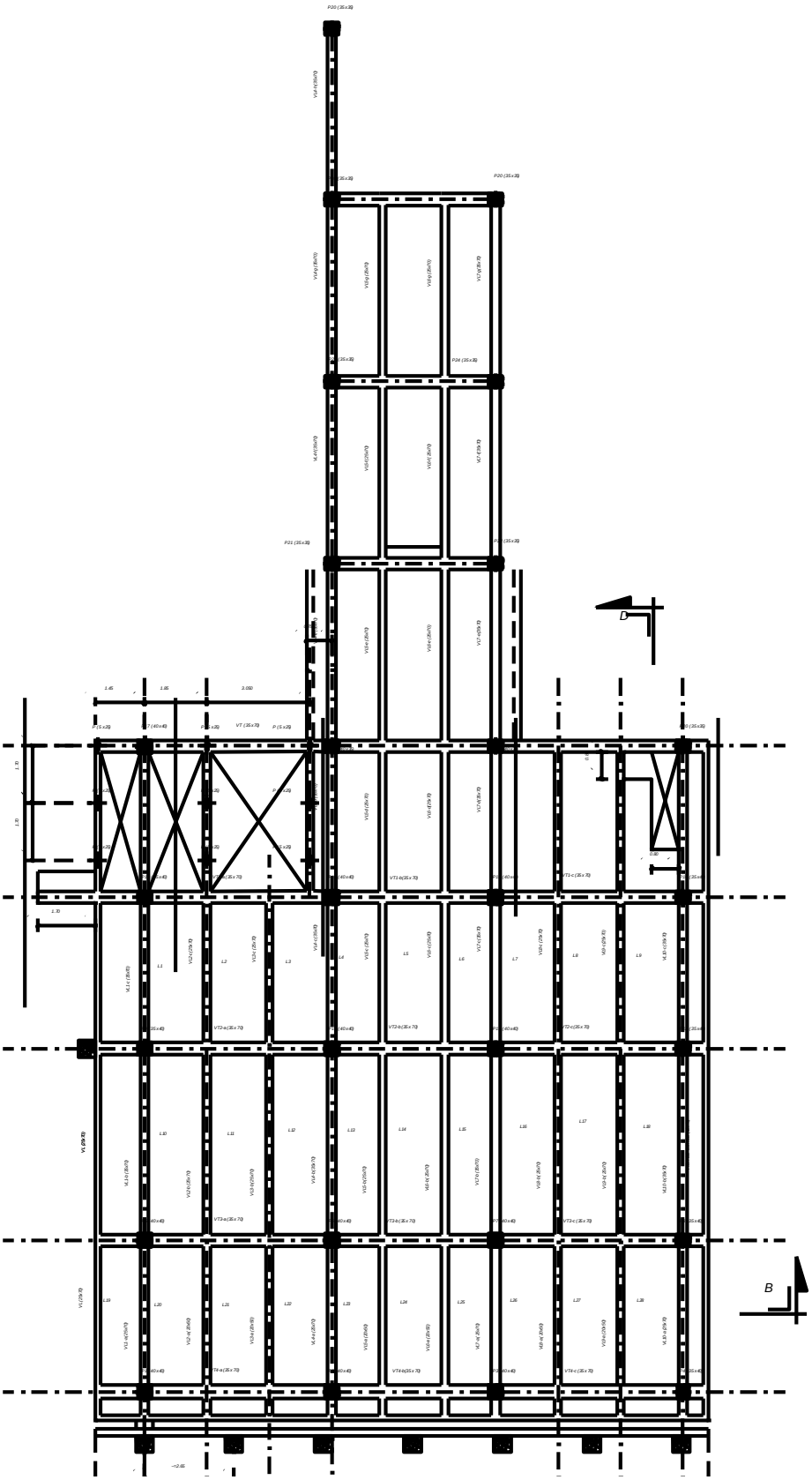
Fotografía 21. Medición del diámetro de armaduras en viga.

Fotografía 22. Medición de diámetro de armaduras principales y de estribos en pilar.

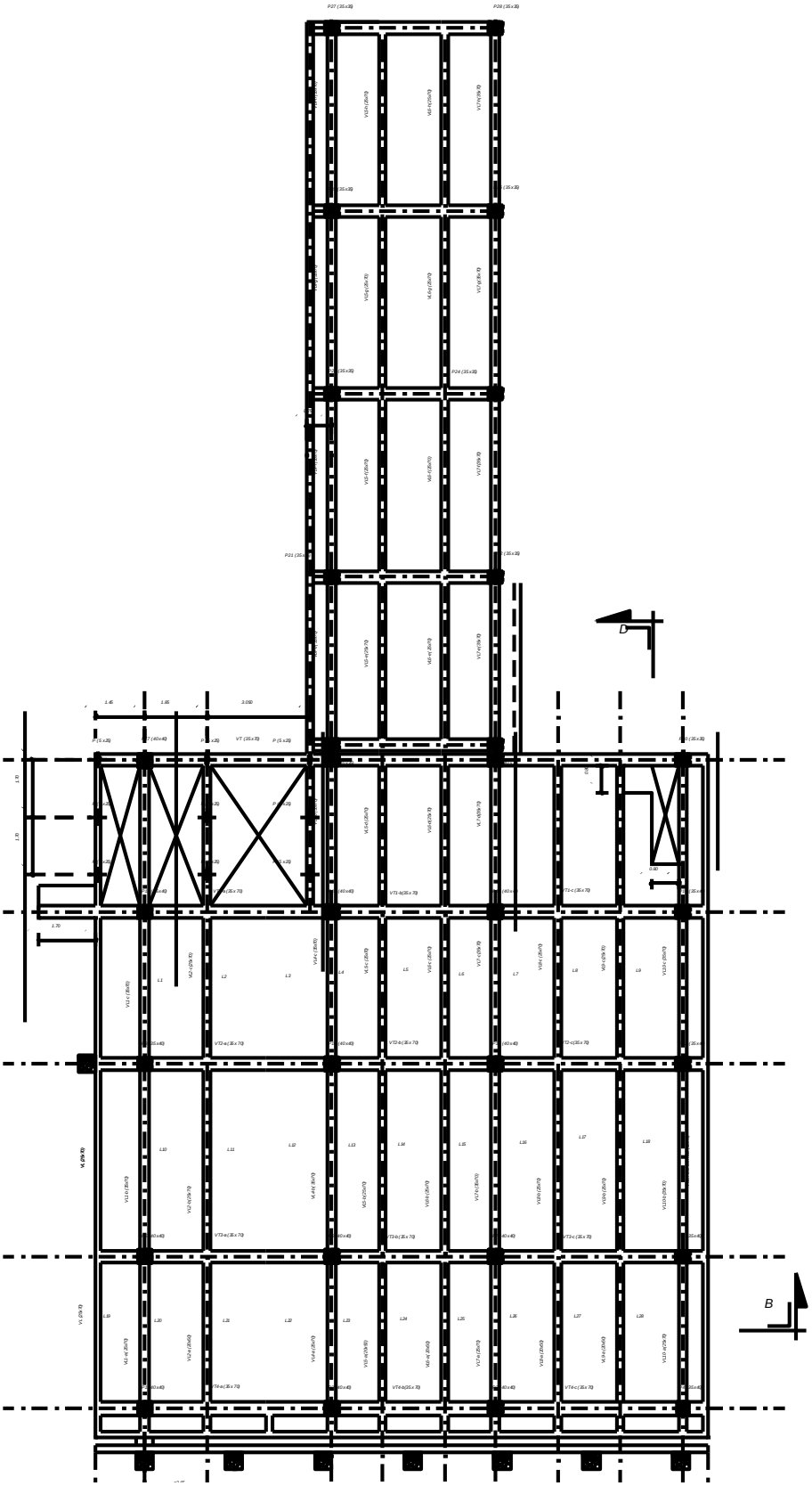
Fotografía 23. Medición del diámetro de armadura en viga.



Fotografía 24. Plano de encofrado relevado. Muelle Norte



Fotografía 25. Plano de encofrado relevado. Muelle Central



Fotografía 26. Plano de encofrado relevado. Muelle Sur

A continuación, se presenta la planta de ubicación de los ensayos realizados:

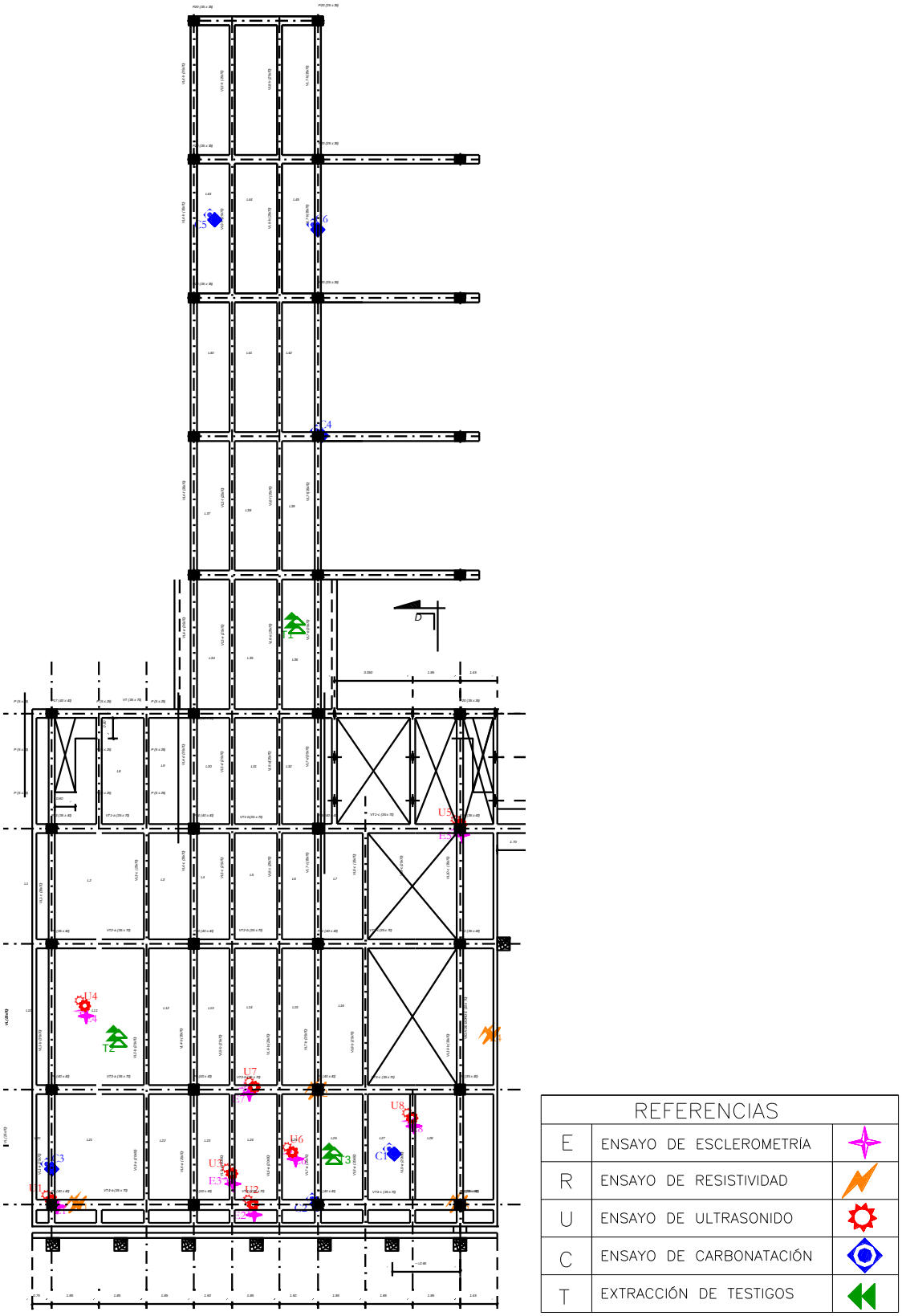


Figura 8. Ubicación de ensayos. Sector Muelle Norte

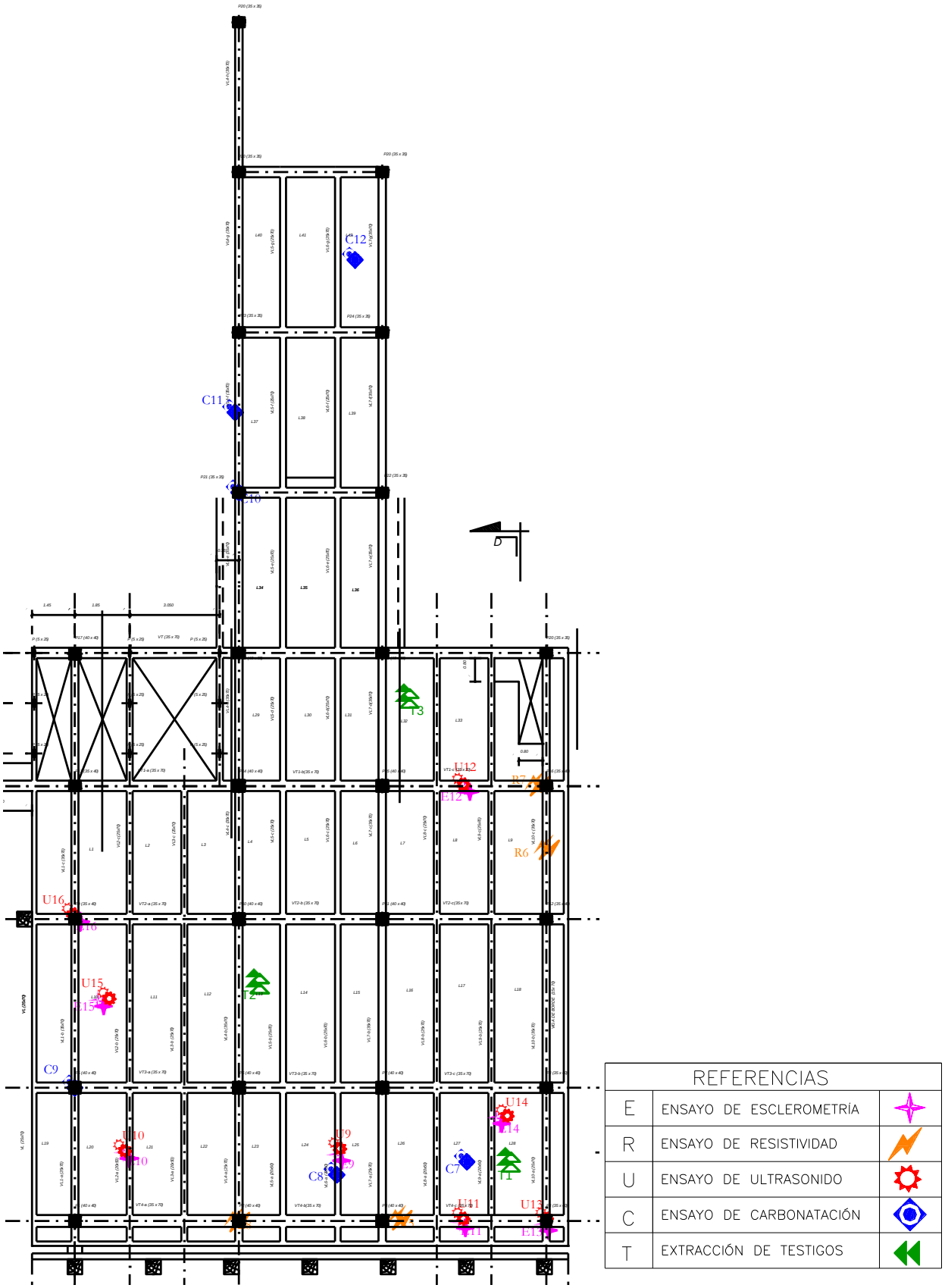


Figura 9. Ubicación de ensayos. Sector Muelle Central

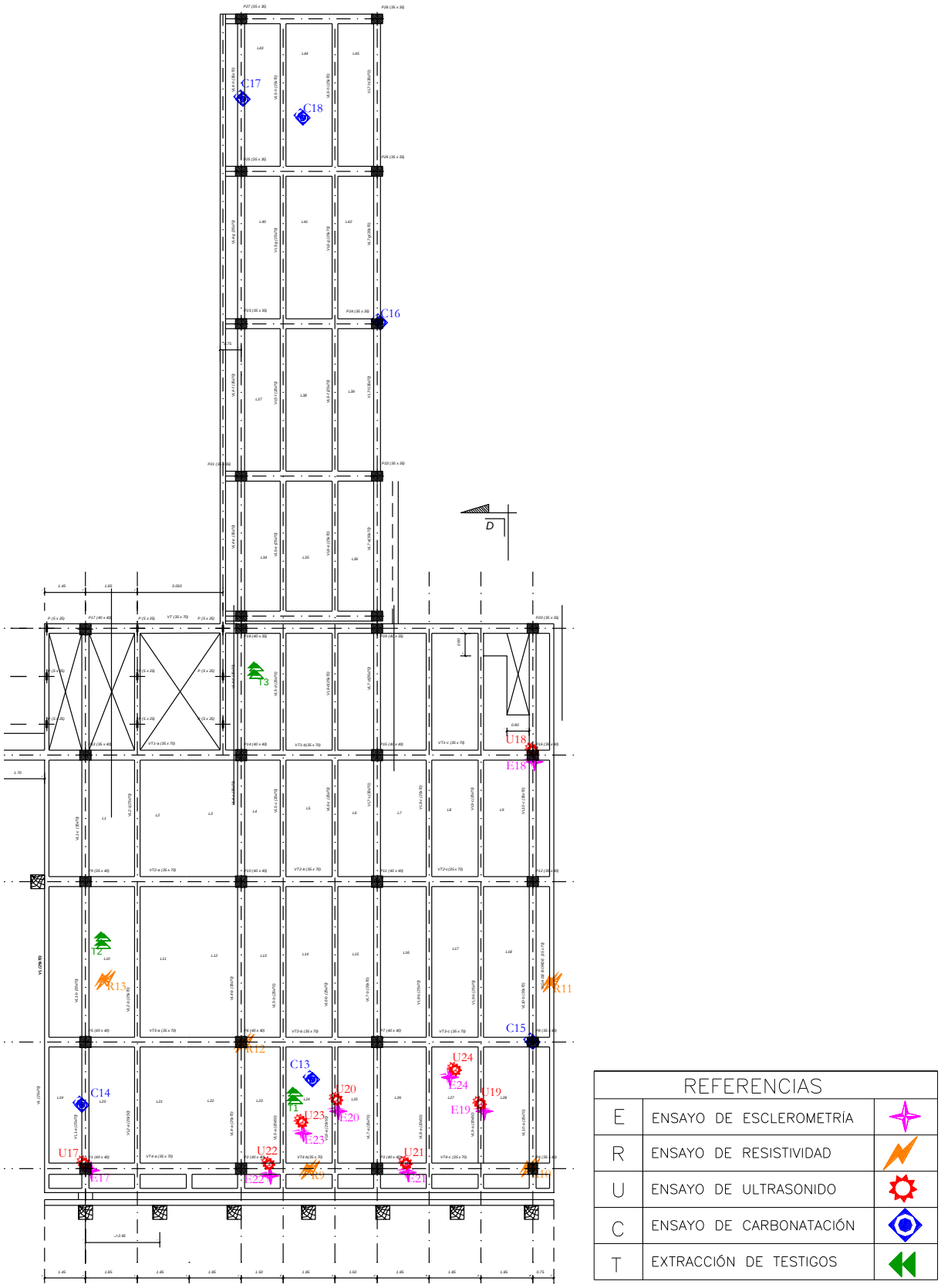


Figura 10. Ubicación de ensayos. Sector Muelle Sur

6- RESULTADOS OBTENIDOS

6.1. RELEVAMIENTO DE DAÑOS

Se realizó el relevamiento de todos los daños existentes a la vista en la estructura de hormigón armado. A continuación, se presenta la nomenclatura utilizada en los planos y fotos ilustrativas de los daños encontrados.

REFERENCIAS DE DAÑOS	
Fisuras verticales en vigas	
Coqueras	
Corrosion	

Fotografía 27. Corrosión y armaduras expuestas en pilar.

Fotografía 28. Corrosión y armaduras expuestas en pilar.

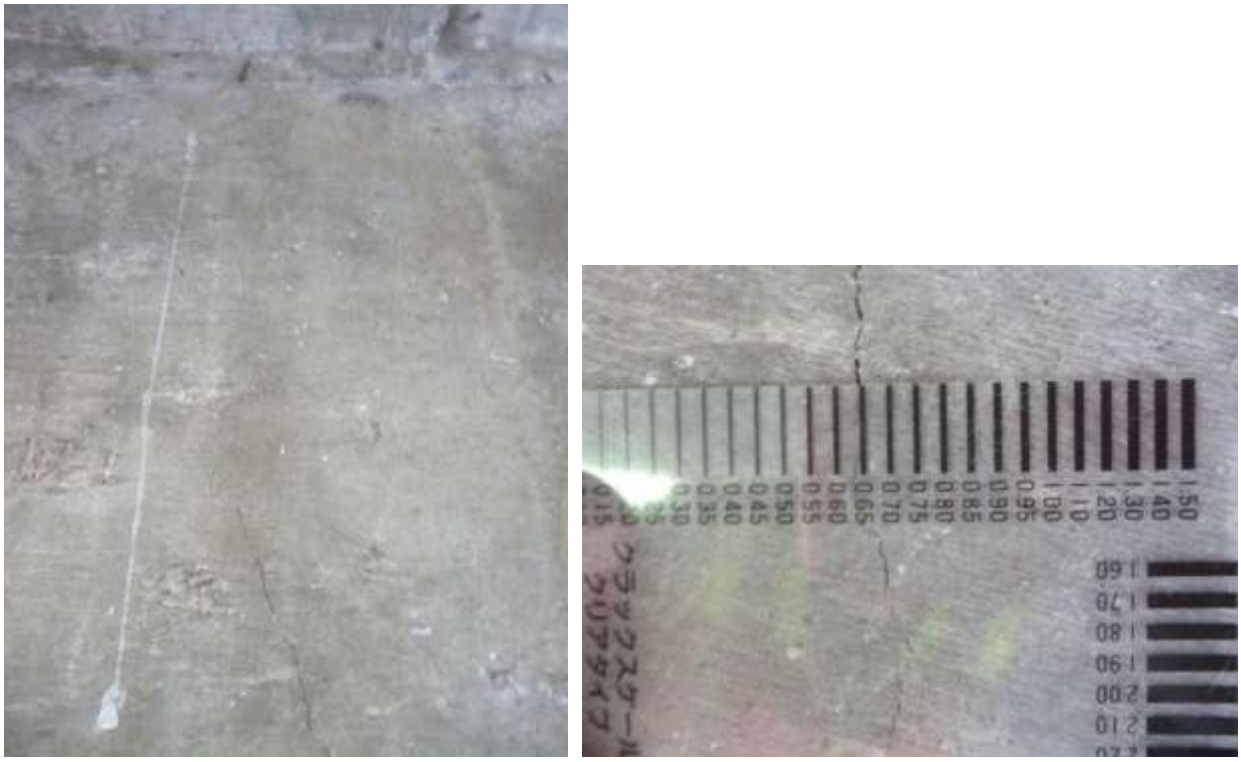
Fotografía 29. Corrosión y armaduras expuestas en pilar.

Fotografía 30. Corrosión y armaduras expuestas en Viga.

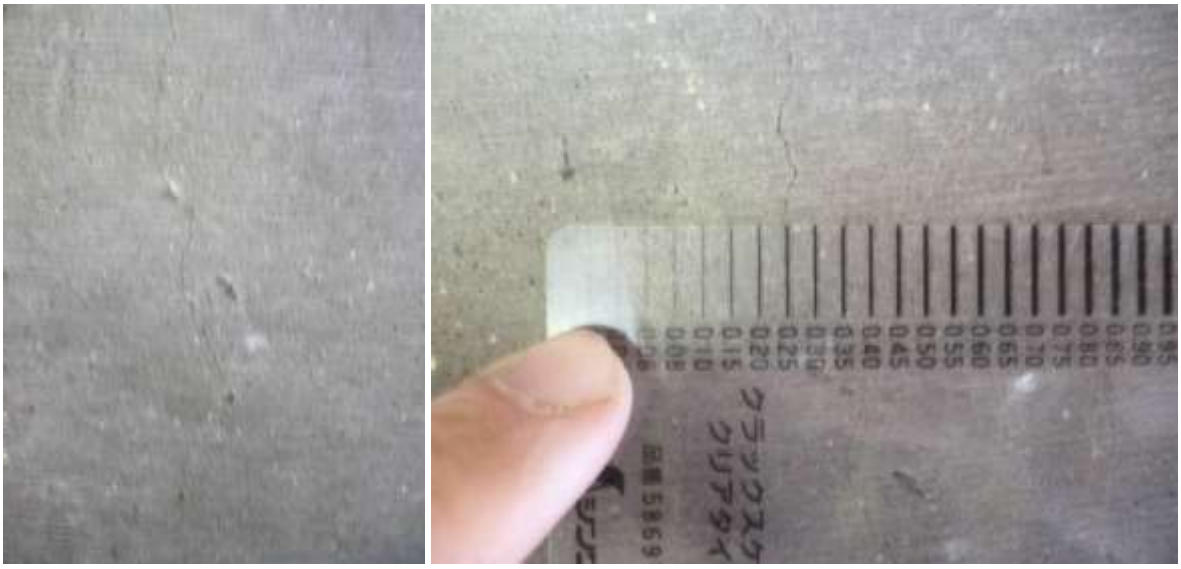
Fotografía 31. Corrosión y armaduras expuestas en Viga.

Fotografía 32. Corrosión y armaduras expuestas en Viga.

De forma a complementar la inspección visual también se realizaron ensayos de medición de profundidad y abertura de fisuras en losas y vigas.



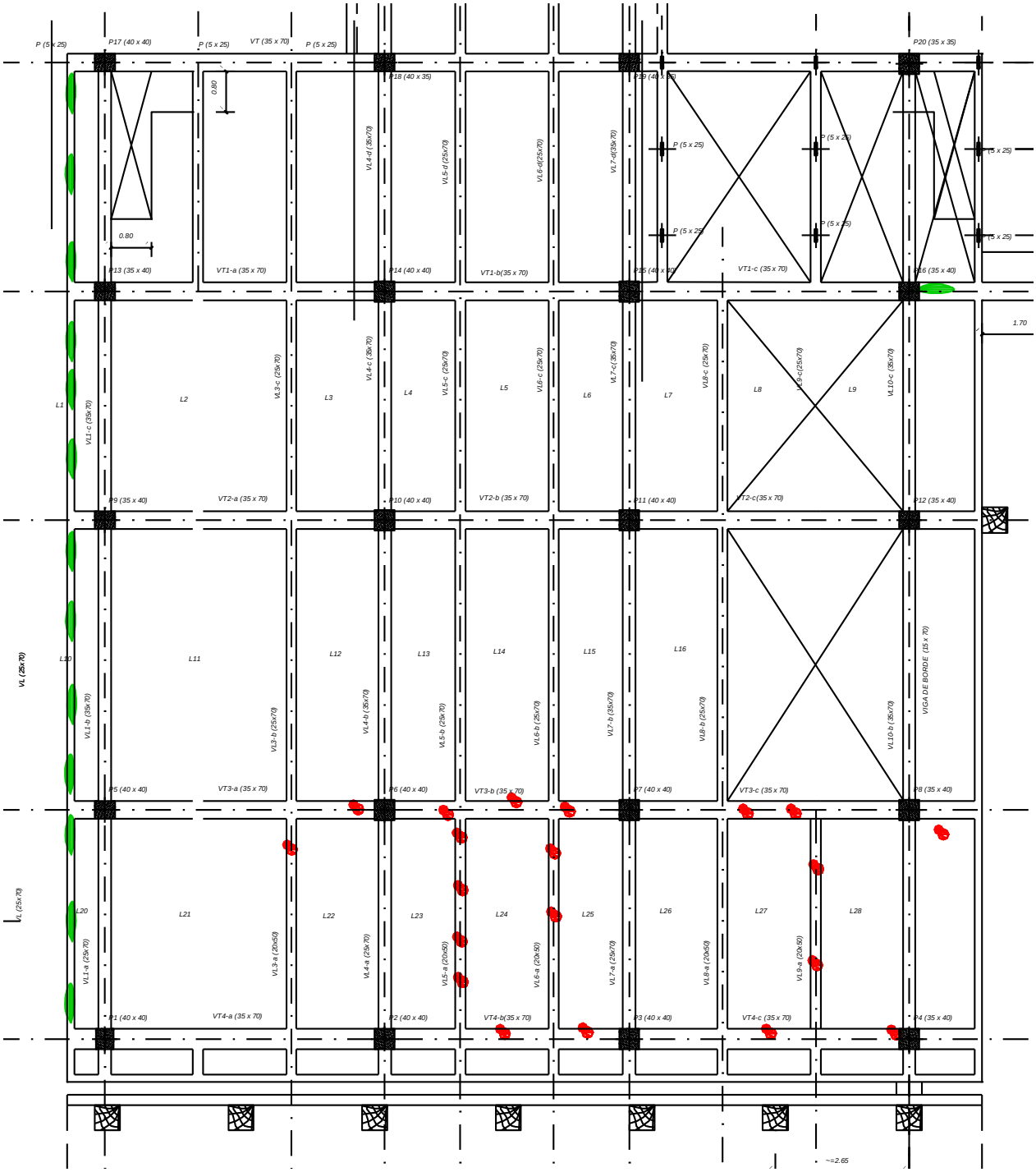
Fotografía 33. Medición de abertura de fisura en viga. Abertura 0.65 mm.



Fotografía 34. Medición de abertura de fisura en viga. Abertura 0.25 mm.

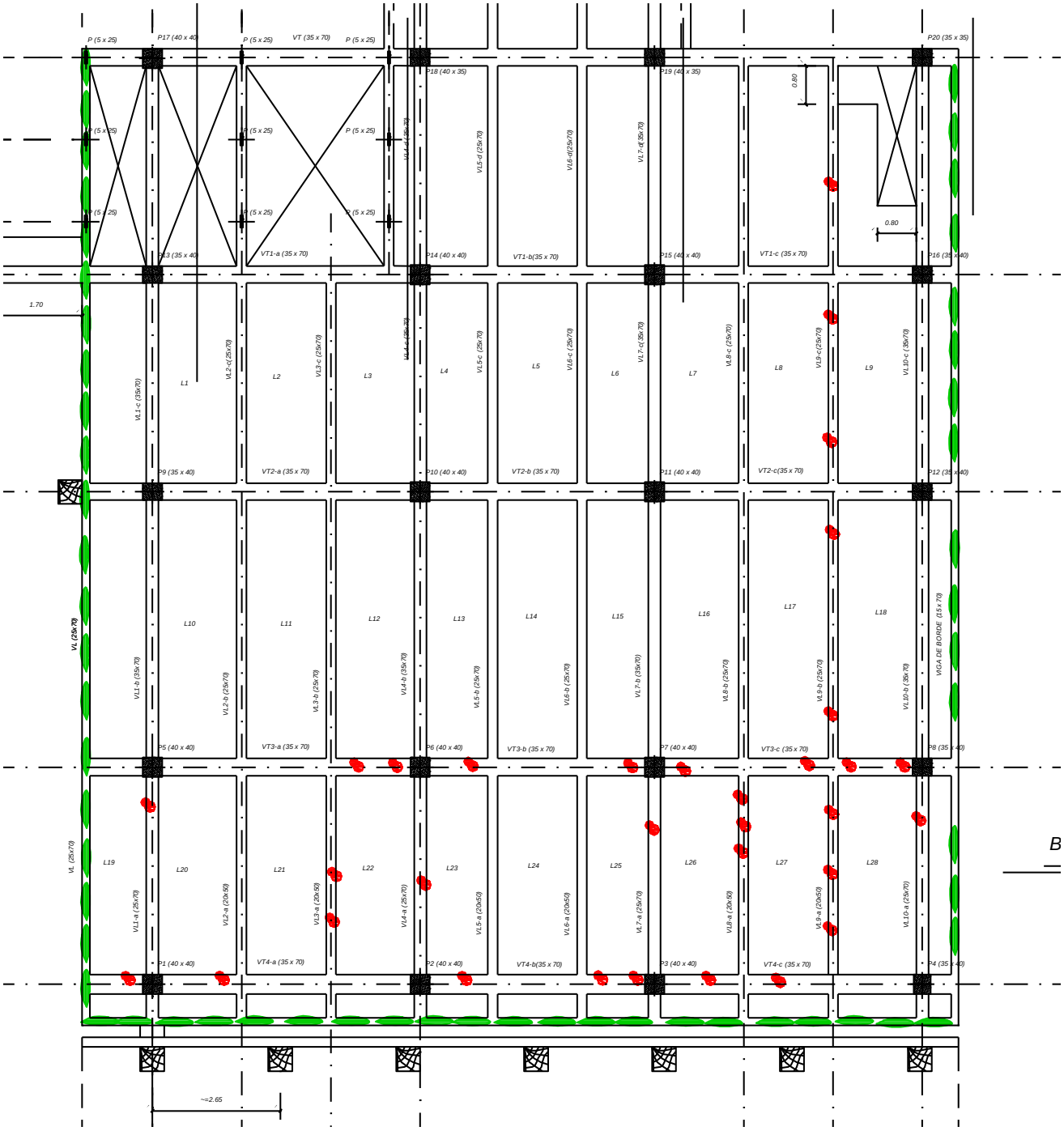
Fotografía 35. Medición de abertura de fisura en viga. Abertura 0.45 mm.

Fotografía 36. Medición de abertura de fisura en viga. Abertura 0.35 mm.



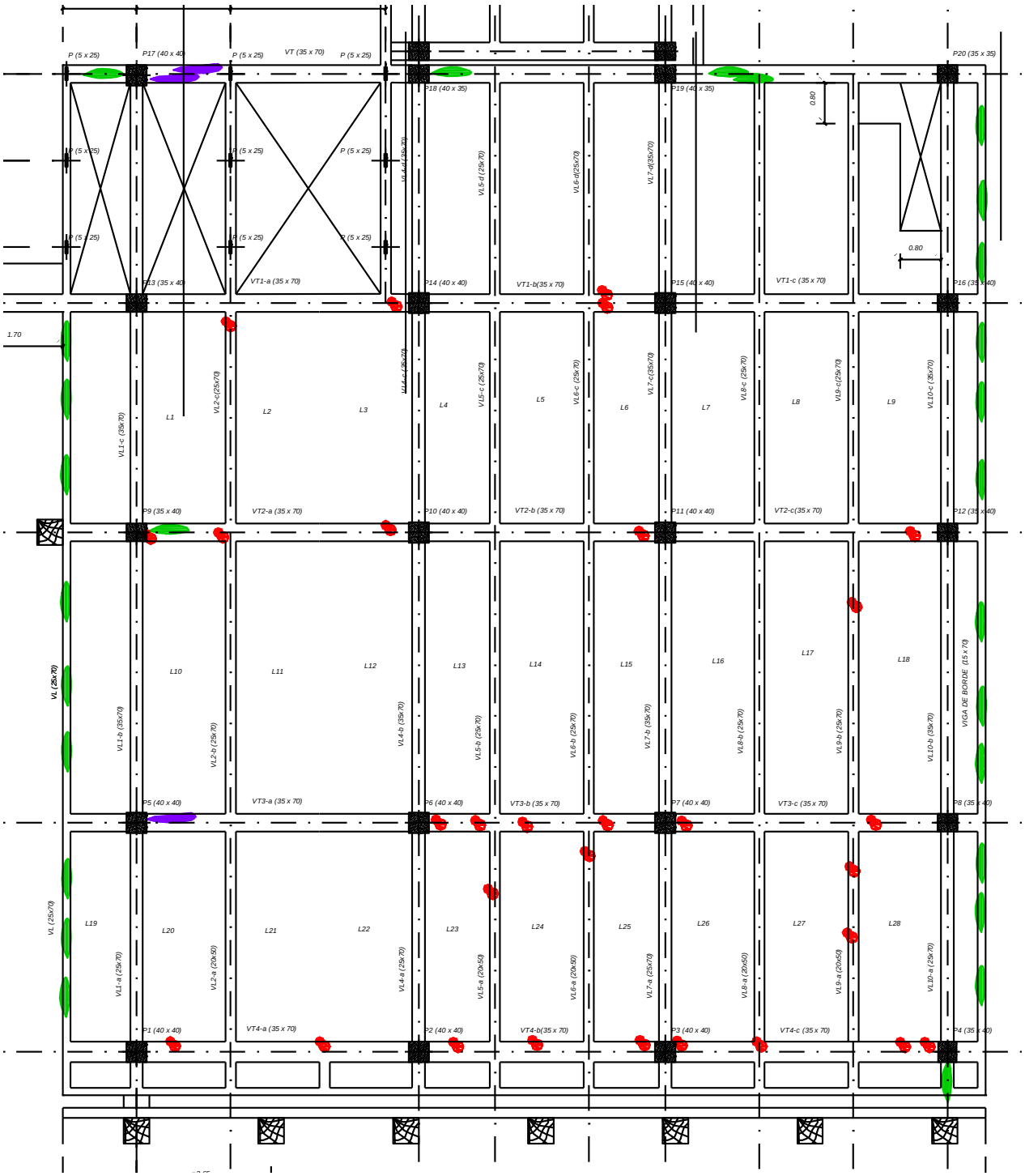
REFERENCIAS DE DAÑOS	
Fisuras verticales en vigas	
Coqueras	
Corrosion	

Figura 11. Planta de ubicación de daños relevados. Sector Muelle Norte



REFERENCIAS DE DAÑOS	
Fisuras verticales en vigas	
Coqueras	
Corrosion	

Figura 12. Planta de ubicación de daños relevados. Sector Muelle Sur



REFERENCIAS DE DAÑOS	
Fisuras verticales en vigas	
Coqueras	
Corrosion	

Figura 13. Planta de ubicación de daños relevados. Sector Muelle Central

6.2. ENSAYOS DE PACHOMETRÍA

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de pachometría realizados en los distintos elementos.

Muelle Norte

Rio Paraguay

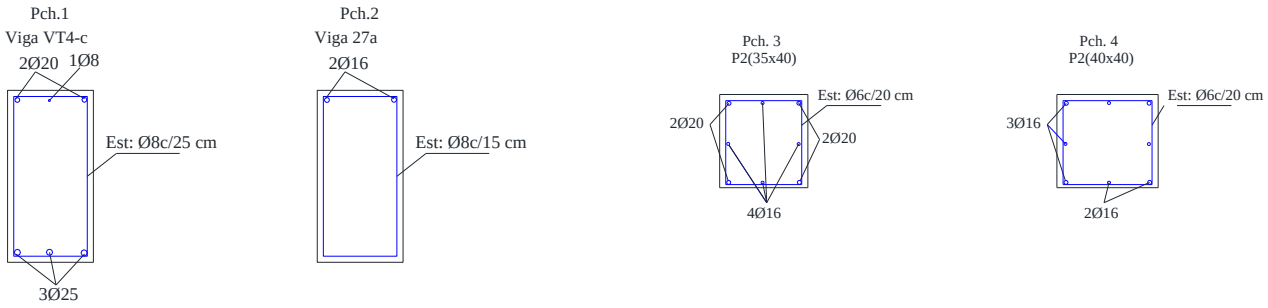
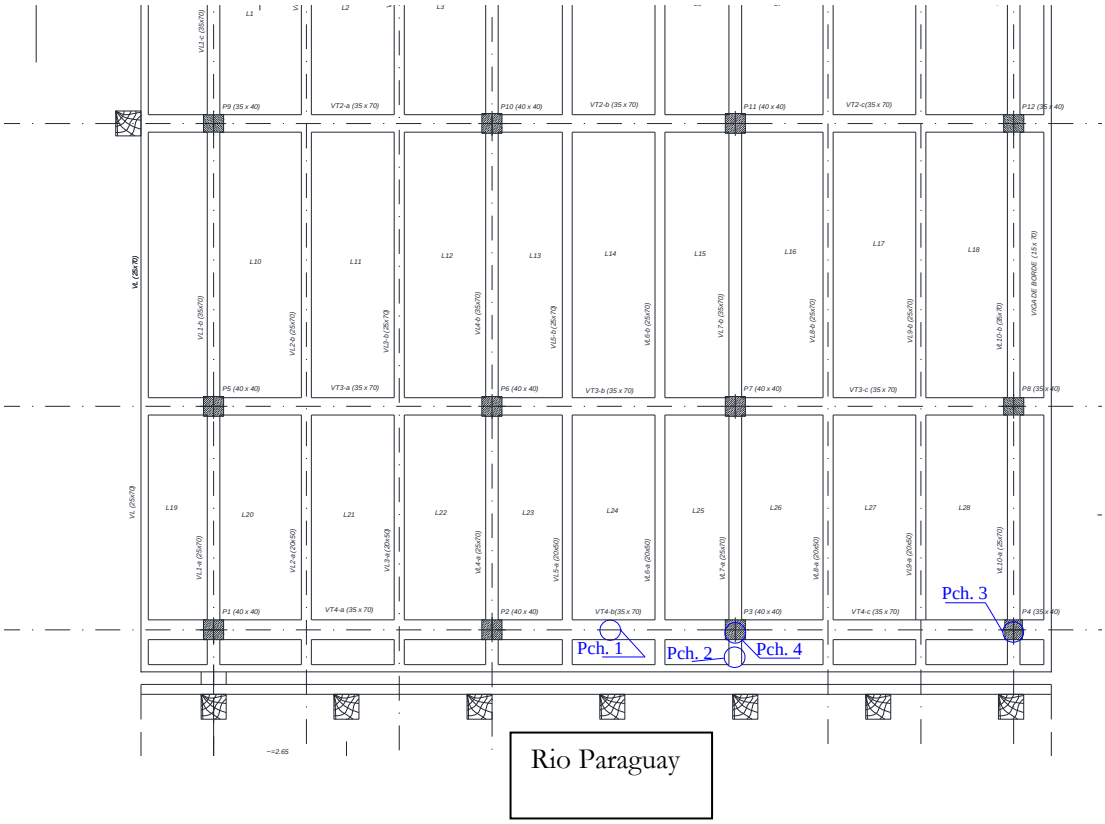


Figura 14. Ubicación de ensayos de pachometría en la estructura. Detalle de armaduras verificadas. Muelle Norte

Muelle Central



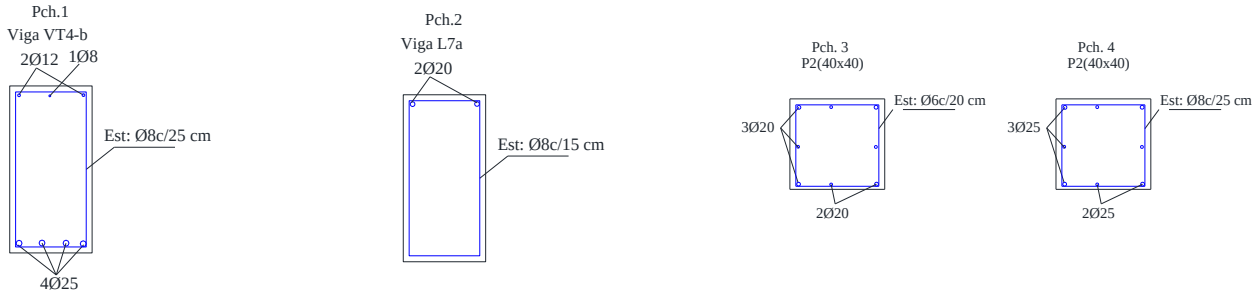
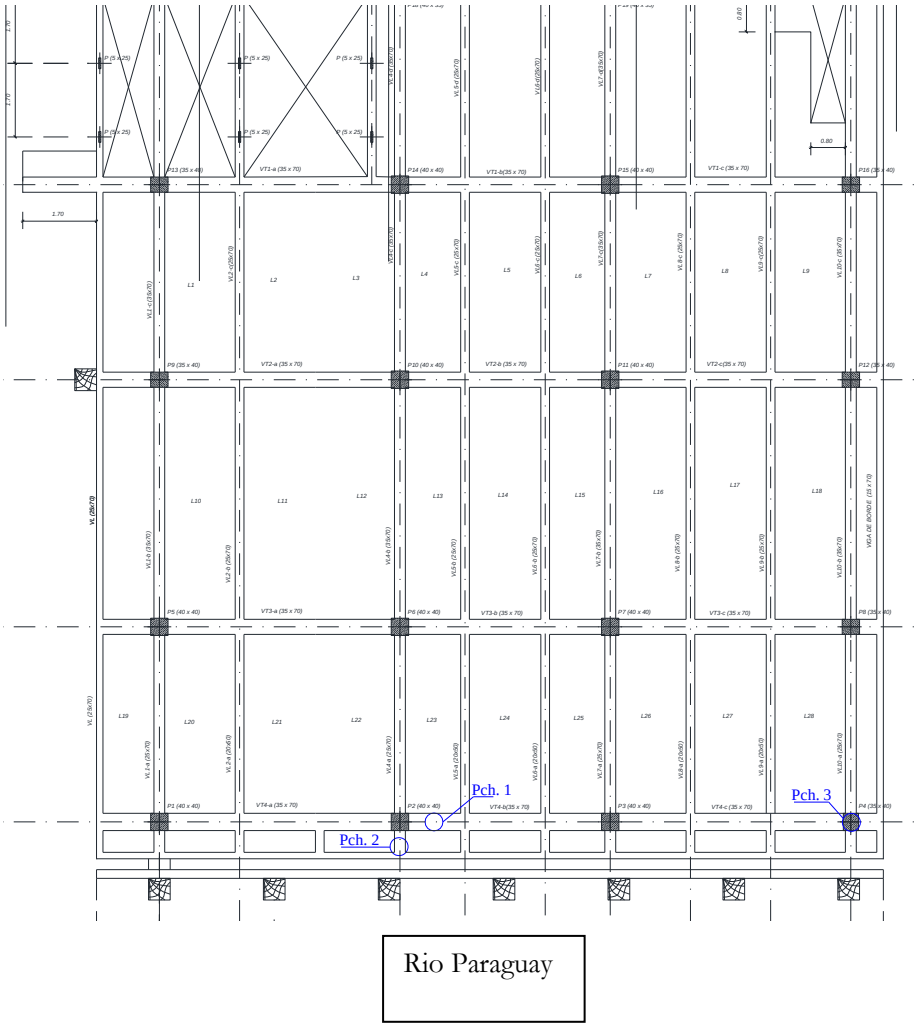


Figura 15. Ubicación de ensayos de pachometría en la estructura y detalle de armaduras verificadas. Muelle Central

Muelle Sur



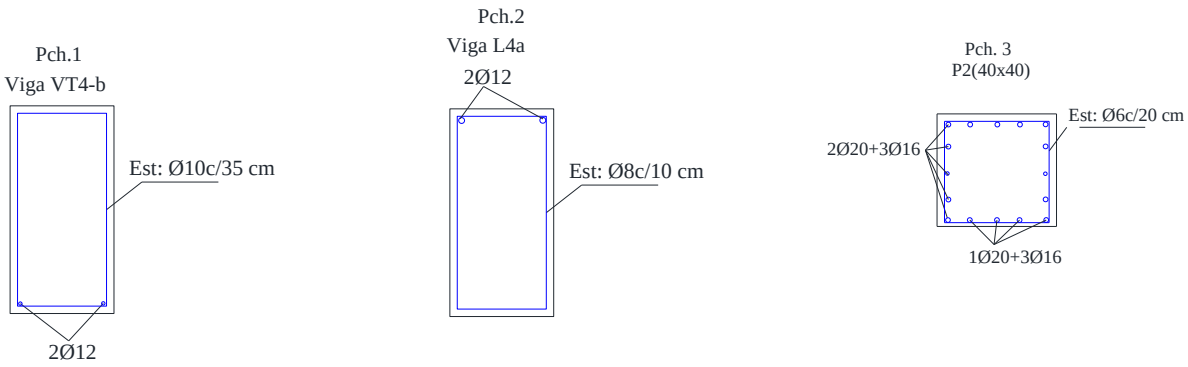


Figura 16. Ubicación de ensayos de pachometría en la estructura y detalle de armaduras verificadas. Muelle Sur

6.3. RESULTADOS ENSAYOS

6.3.1. Ensayos no destructivos

A continuación se presentan los valores resúmenes de los ensayos de Esclerometría, cada valor de índice esclerométrico (I.E) representa la media de 14 (catorce) lecturas individuales y en el caso del Ultrasonido cada valor de velocidad del impulso ultrasónico (V_P) del ensayo representa la media de cuatro lecturas respectivamente, es decir que el resultado de la esclerometría es el producto de 336 lecturas y el del ultrasonido, de 96 lecturas. En el Anexo 1 se encuentra el detalle sobre cómo se obtuvieron los valores que se encuentran a continuación.

Sobre el Ensayo de Carbonatación

Elemento	Ubicación	Identificación	Espesor recubrimiento (mm)	Espesor carbonatado (mm)	Carbonatado / Recubrimiento
Losa L27	Muelle Norte	C1	15,00	11,00	73%
Pilar P3		C2	21,00	19,00	90%
Viga VL5-a		C3	10,00	10,00	100%
Pilar P24		C4	24,00	24,00	100%
Losa L43		C5	5,00	5,00	100%
Viga VL7- h		C6	5,00	5,00	100%
Losa L27	Muelle Central	C7	44,50	40,00	90%
Viga VL10-a		C8	40,00	40,00	100%
Pilar P5		C9	9,00	9,00	100%
Pilar P21		C10	48,00	32,00	67%
Viga VL4-f		C11	32,00	31,00	97%
Losa L42		C12	15,00	15,00	100%
Losa L24	Muelle Sur	C13	10,00	10,00	100%
Viga VL5-a		C14	10,00	10,00	100%
Pilar P8		C15	25,00	25,00	100%
Pilar P24		C16	15,00	5,00	33%
Viga VL4-h		C17	55,00	25,00	45%
Losa L44		C18	30,00	10,00	33%

Tabla 1. Resultados obtenidos de los Ensayos de Carbonatación

De las mediciones realizadas se puede apreciar que en las vigas en el 66% de los casos la carbonatación afecta más del 100% del espesor del recubrimiento y en el caso de los pilares la carbonatación afecta más del 33% del espesor del recubrimiento y losas el espesor carbonatado afecta más del 33% del recubrimiento.

La carbonatación de un 100% indica la despasivación de la armadura e inicio del proceso de corrosión. Para la evaluación de la resistencia del hormigón se tiene en cuenta que el efecto de la carbonatación se traduce en aumentar la dureza superficial del hormigón. El ensayo de esclerometría en hormigones superficialmente carbonatados puede sobrestimar la resistencia del hormigón, si no se ha realizado una calibración específica, en valores superiores al 50%[5].

[5] J. Fernández. Evaluación de la Capacidad Resistente de estructuras de Hormigón-Ensayos No Destructivos y pruebas de carga. Intemac. 2.001 Madrid España Pág. 85

Sobre el Ensayo de Esclerometría

Muelle Norte

Identificación	ubicación	Elemento	Direccion	INDICE Esclerométrico Medio (I.E)
E1	Muelle Norte	Pilar P1	0°	36
E5		Pilar P16	0°	42

Tabla 2. Resultados obtenidos en los ensayos en pilares en el muelle norte.

Los valores del índice esclerométrico muestran que el hormigón no presenta uniformidad superficial en los pilares ensayados.

Identificación	ubicación	Elemento	Direccion	INDICE Esclerométrico Medio (I.E)
E2	Muelle Norte	Viga T4-b	0°	41
E3		Viga VL5-a	0°	37
E7		Viga VT3-b	0°	44
E8		Viga VL9-a	0°	37

Tabla 3. Resultados obtenidos en vigas ensayadas del muelle norte.

Los valores del índice esclerométrico muestran que el hormigón no presenta uniformidad superficial en las vigas ensayadas.

Identificación	ubicación	Elemento	Direccion	INDICE Esclerométrico Medio (I.E)
E4	Muelle Norte	Losa L11	90°	43
E6		Losa L25	90°	46

Tabla 4. Resultados obtenidos en losas ensayadas del muelle norte.

Los valores del índice esclerométrico muestran que el hormigón no presenta uniformidad superficial en las losas ensayadas.

Obs.: Para que un hormigón pueda considerarse uniforme, la diferencia entre índices esclerométricos (I.E) no debe ser mayor a 2,5 unidades[6.]

6 J. Fernández. Evaluación de la Capacidad Resistente de estructuras de Hormigón-Ensayos No Destructivos y pruebas de carga. Intemac. 2.001 Madrid España Pag 78.

Muelle Central

Identificación	ubicación	Elemento	Direccion	INDICE Esclerométrico Medio (I.E)
E13	Muelle Central	Pilar P4	0°	35
E16		Pilar P9	0°	38

Tabla 5. Resultados obtenidos en los ensayos de pilares del muelle central.

Los valores del índice esclerométrico muestran que el hormigón no presenta uniformidad superficial en los pilares ensayados.

Identificación	ubicación	Elemento	Dirección	INDICE Esclerométrico Medio (I.E)
E9	Muelle Central	Viga VL6-a	0°	32
E10		Viga VL2-a	0°	37
E11		Viga VT4-c	0°	32
E12		Viga VT1-c	0°	34

Tabla 6. Resultados obtenidos de los ensayos en vigas del muelle central.

Los valores del índice esclerométrico muestran que el hormigón no presenta uniformidad superficial en las vigas ensayadas.

Identificación	ubicación	Elemento	Dirección	INDICE Esclerométrico Medio (I.E)
E14	Muelle Central	Losa L28	90°	44
E15		Losa L10	90°	40

Tabla 7. Resultados obtenidos de los ensayos en losas del muelle central.

Los valores del índice esclerométrico muestran que el hormigón no presenta uniformidad superficial en las losas ensayadas.

Obs.: Para que un hormigón pueda considerarse uniforme, la diferencia entre índices esclerométricos (I.E) no debe ser mayor a 2,5 unidades[7.]

7 J. Fernández. Evaluación de la Capacidad Resistente de estructuras de Hormigón-Ensayos No Destructivos y pruebas de carga. Intemac. 2.001 Madrid España Pag 78.

Muelle Sur

Identificación	ubicación	Elemento	Dirección	INDICE Esclerométrico Medio (I.E)
E17	Muelle Sur	Pilar P1	0°	32
E18		Pilar P16	0°	32

Tabla 8. Resultados obtenidos en los ensayos de pilares del muelle sur.

Los valores del índice esclerométrico muestran que el hormigón presenta uniformidad superficial en los pilares ensayados.

Identificación	ubicación	Elemento	Dirección	INDICE Esclerométrico Medio (I.E)
E19	Muelle Sur	Viga VL9-a	0°	37
E20		Viga VL6-a	0°	35
E21		Viga VT4-c	0°	35
E22		Viga VT4-b	0°	35

Tabla 9. Resultados obtenidos de los ensayos en vigas del muelle sur.

Los valores del índice esclerométrico muestran que el hormigón presenta uniformidad superficial en las vigas ensayadas.

Identificación	ubicación	Elemento	Dirección	INDICE Esclerométrico Medio (I.E)
E23	Muelle Sur	Losa L24	90°	46
E24		Losa L27	90°	47

Tabla 10. Resultados obtenidos de los ensayos en losas del muelle sur.

Los valores del índice esclerométrico muestran que el hormigón presenta uniformidad superficial en las losas ensayadas.

Obs.: Para que un hormigón pueda considerarse uniforme, la diferencia entre índices esclerométricos (I.E) no debe ser mayor a 2,5 unidades[8.]

8 J. Fernández. Evaluación de la Capacidad Resistente de estructuras de Hormigón-Ensayos No Destructivos y pruebas de carga. Intemac. 2.001 Madrid España Pag 78.

Sobre el Ensayo de Velocidad de Impulso Ultrasónico

La calidad del hormigón en lo que se refiere principalmente a la compactación que fue realizada, puede evaluarse al comparar los valores de velocidad alcanzados con los indicados en la Tabla 2 que se presenta a continuación y que fue tomada de la bibliografía[9].

Velocidad de propagación lineal (m/s)	Calidad del Hormigón
> 4500	Excelente
3600 – 4500	Buena
3000 – 3600	Aceptable
2100 – 3000	Mala

Tabla 11. Cuadro Calidad del Hormigón vs Velocidad de propagación.

Velocidad de Pulso Ultrasónico Vp (m/s)

Identificación	Ubicación	Elemento	Velocidad m/s	Calidad del hormigón
U1	Muelle Norte	Pilar P1	3.455	Aceptable
U2		Viga T4-b	2.493	Mala
U3		Viga VL5-a	2.104	Mala
U4		Losa L11	2.008	Mala
U5		Pilar P16	2.829	Mala
U6		Losa L25	1.795	Mala
U7		Viga VT3-b	2.707	Mala
U8		Viga VL9-a	2.130	Mala

Tabla 12. Valores de velocidad alcanzados y calidad obtenida. Sector Muelle Norte

Se observa que el grado de compactación del hormigón colocado es Aceptable en el 13% de los casos y Mala para el 88% de los casos restantes.

9 Fernández, M. Patología y terapéutica del hormigón armado. CICCP. Madrid 1.994. España. Pág. 254

Velocidad de Pulso Ultrasónico Vp (m/s)

Identificación	Ubicación	Elemento	Velocidad m/s	Calidad del hormigón
U9	Muelle Central	Viga VL6-a	2.449	Mala
U10		Viga VL2-a	2.685	Mala
U11		Viga VT4-c	2.430	Mala
U12		Viga VT1-c	2.619	Mala
U13		Pilar P4	2.615	Mala
U14		Losa L28	1.869	Mala
U15		Losa L10	1.656	Mala
U16		Pilar P9	2.989	Mala

Tabla 13. Valores de velocidad alcanzados y calidad obtenida. Sector Muelle Central

Se observa que el grado de compactación del hormigón colocado es Mala para el 100% de los casos.

Velocidad de Pulso Ultrasónico Vp (m/s)

Identificación	Ubicación	Elemento	Velocidad m/s	Calidad del hormigón
U17	Muelle Sur	Pilar P1	2.728	Mala
U18		Pilar P16	2.615	Mala
U19		Viga VL9-a	2.131	Mala
U20		Viga VL6-a	2.690	Mala
U21		Viga VT4-c	3.006	Aceptable
U22		Viga VT4-b	1.944	Mala
U23		Losa L24	2.230	Mala
U24		Losa L27	2.484	Mala

Tabla 14. Valores de velocidad alcanzados y calidad obtenida. Sector Muelle Sur

Se observa que el grado de compactación del hormigón colocado es aceptable en el 13% de los casos y mala para el 88% de los casos restantes.

De manera complementaria, se realizaron ensayos de ultrasonido en las muestras extraídas:

Fotografía 36. Medición de velocidad de impulso ultrasónico en testigos.

Velocidad de Pulso Ultrasónico Vp (m/s)

Identificacion	Sector	Elemento	Velocidad m/s	Calidad del hormigón
T1	Muelle Central	Losa L28	3.283	Aceptable
T2		Losa L13	3.165	Aceptable
T3		Losa L32	3.005	Aceptable
T1	Muelle Sur	Losa L24	3.565	Aceptable
T2		Losa L10	3.165	Aceptable
T3		Losa L29	3.282	Aceptable
T1	Muelle Norte	Losa L36	3.830	Buena
T2		Losa L11	3.657	Buena
T3		Losa L26	3.069	Aceptable

Tabla 15. Valores de velocidad alcanzados y calidad de compactación de hormigón obtenida.

En las muestras extraídas se observa que el hormigón presenta valores de velocidad de ultrasonido mayores con respecto a las mediciones realizadas in situ en la estructura

La diferencia encontrada entre los valores de velocidad de ultrasonido realizados al hormigón de las muestras extraídas y los valores de velocidad realizados In Situ en el hormigón a los elementos de los muelles se debe a la condición superficial del hormigón en los puntos ensayados en éstos últimos.

Sobre el Ensayo de Resistividad

En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos de las mediciones.

Zona	**Identificación**	**Elemento**	**Lectura (KΩcm)**	**Probabilidad de Corrosión**
Muelle Norte	R1	Viga VT4-a	90,4	Despreciable
	R2	Pilar P7	93,2	Despreciable
	R3	Pilar P4	93,2	Despreciable
	R4	Viga Vborde	33,2	Despreciable
Muelle Central	R5	Viga VT4-c	91,5	Despreciable
	R6	Viga VL14-C	31,1	Despreciable
	R7	Pilar P16	92,8	Despreciable
	R8	Pilar P2	32,7	Despreciable
Muelle Sur	R9	Viga VT4-c	93,8	Despreciable
	R10	Pilar P4	18,9	Baja
	R11	Viga Vborde	30,2	Despreciable
	R12	Pilar P6	42,4	Despreciable
	R13	Losa L10	1,6	Muy Alta

Tabla 16. Resultados obtenidos de los Ensayos de Resistividad.

Un 92% de las zonas ensayadas indican una probabilidad de corrosión entre baja y despreciable, en tanto que el 8% restante indica una probabilidad muy alta de corrosión.

En relación a la profundidad de fisuras

A continuación, se presentan los resultados de las mediciones realizadas en distintos sectores

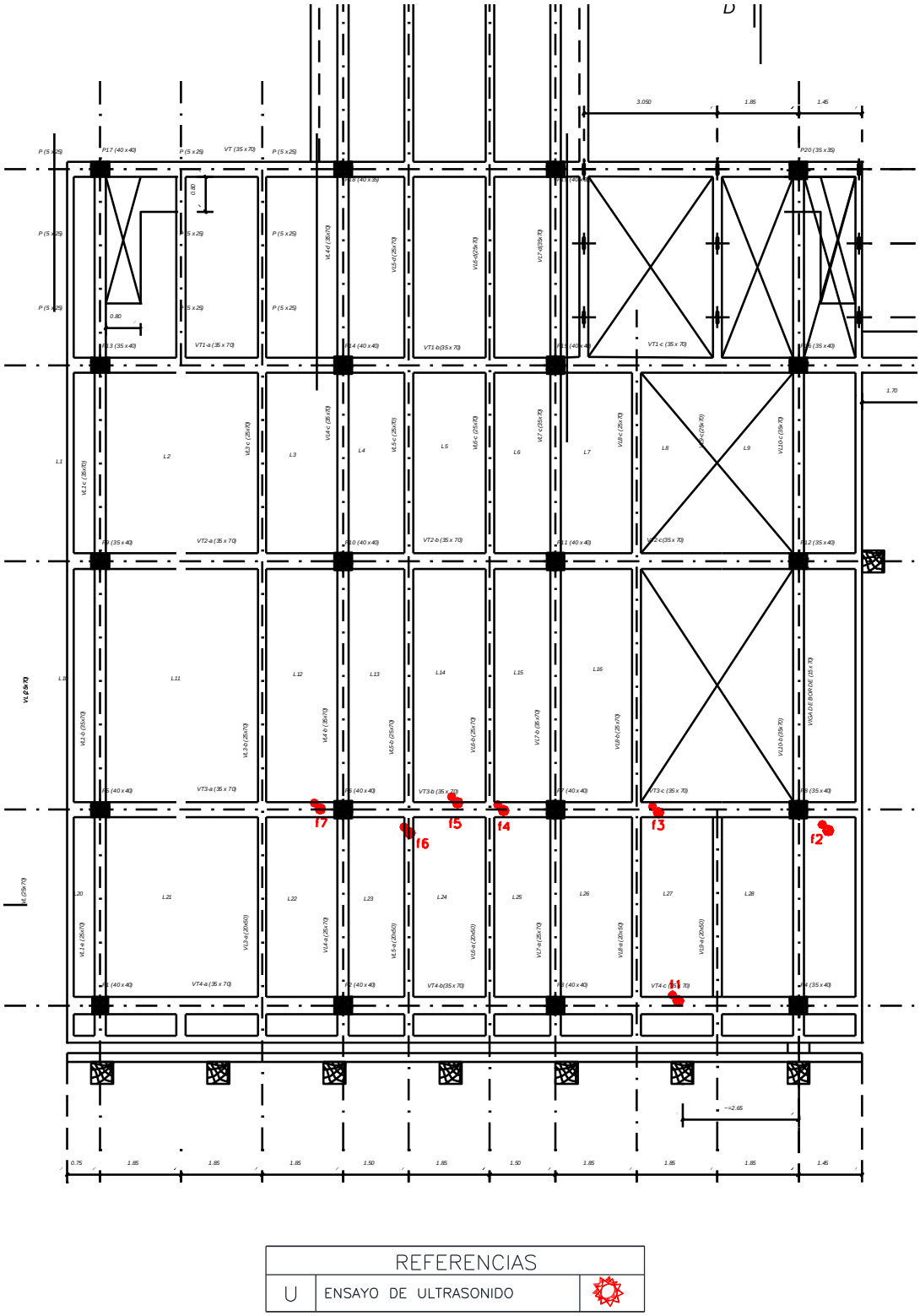


Figura 18. Ubicación de las fisuras ensayadas. Muelle Norte

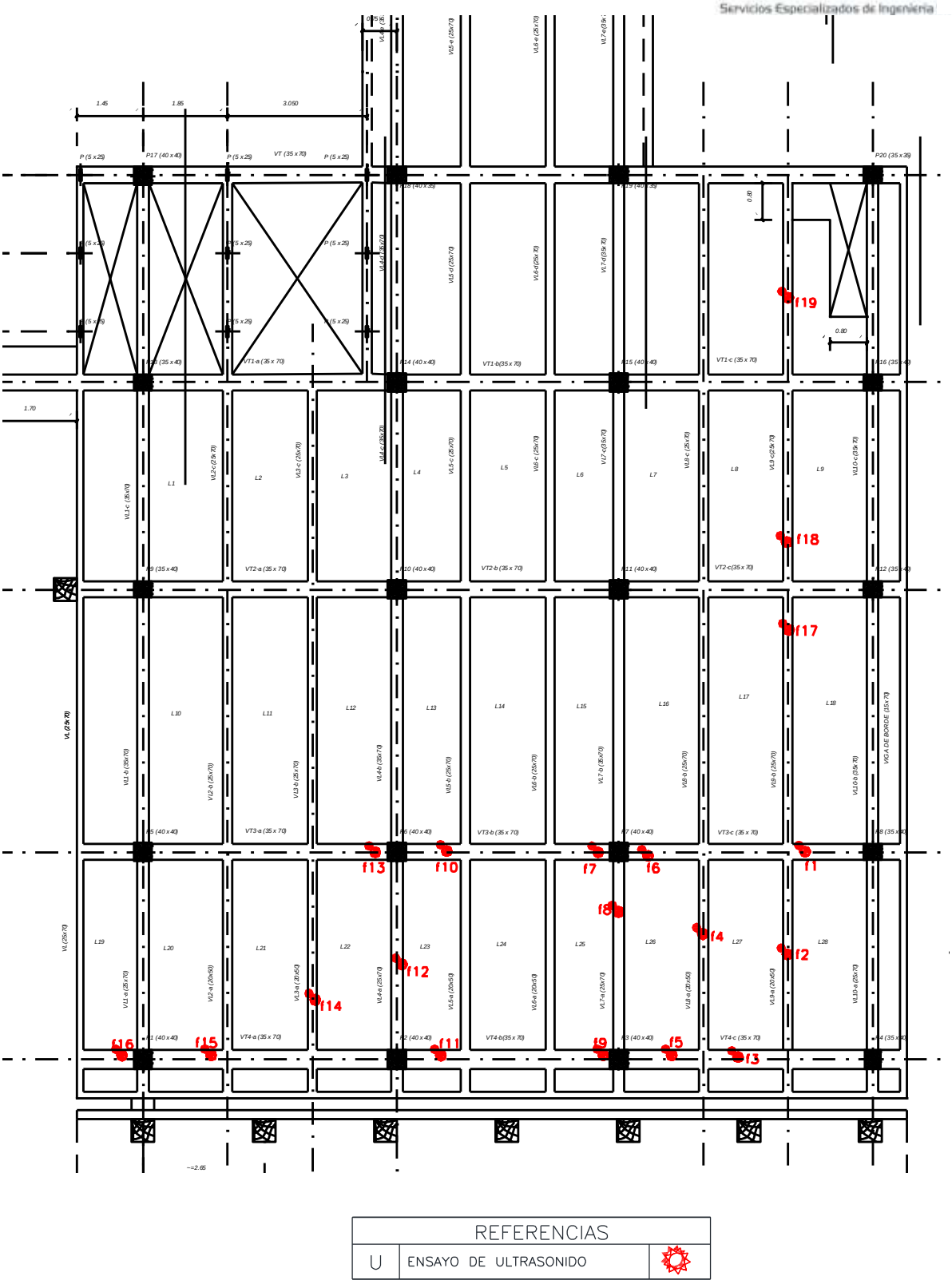
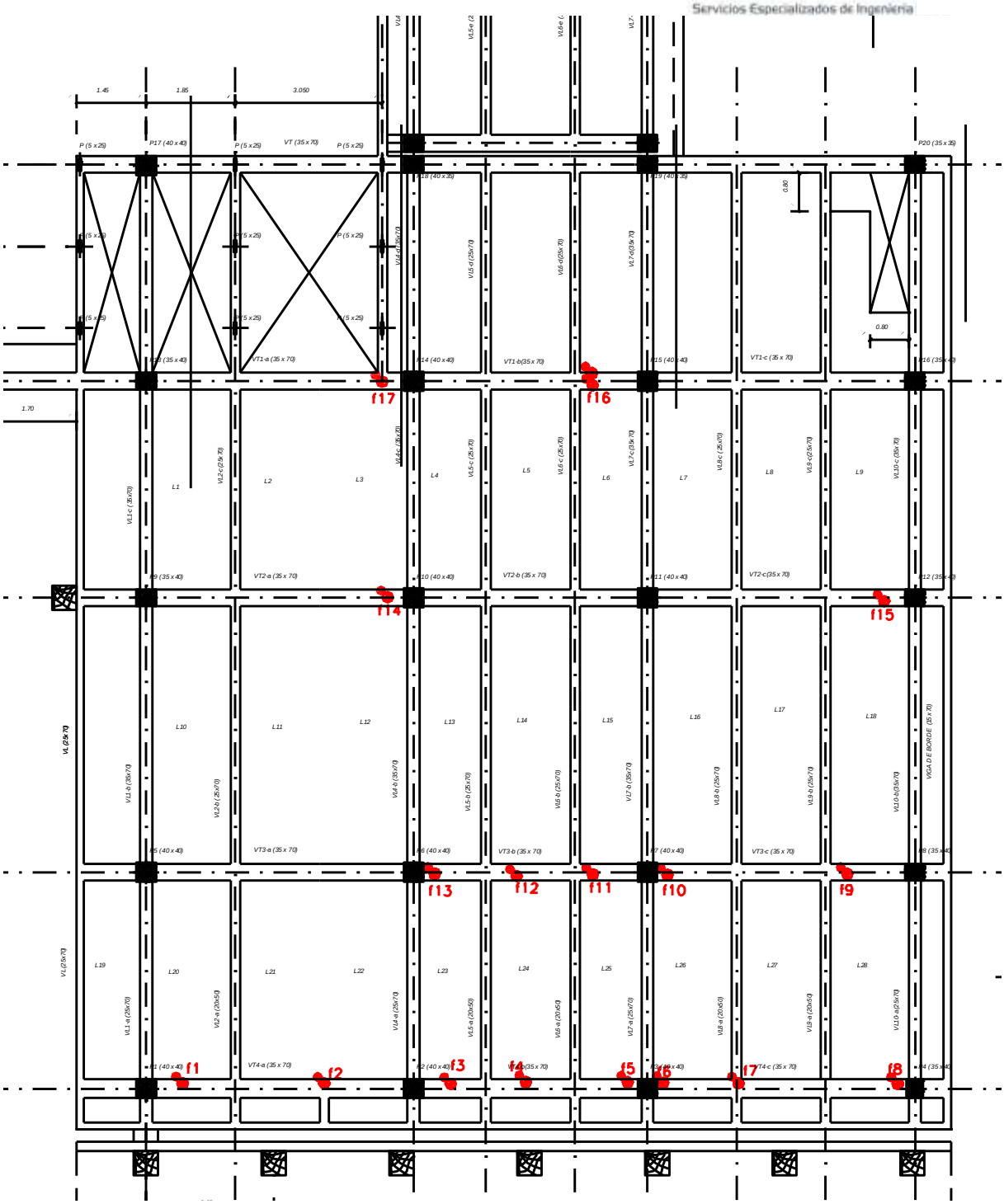


Figura 19. Ubicación de las fisuras ensayadas. Muelle Central



REFERENCIAS		
U	ENSAYO DE ULTRASONIDO	

Figura 20. Ubicación de las fisuras ensayadas. Muelle Sur

Ubicación	Elemento	Identificación	Abertura (mm)	Profundidad (mm)	Espesor (mm)	Profundidad (%)
Muelle Central	Viga VT3-c	f1	0,20	78,00	350	22%
			0,20	100,00	350	29%
	Viga VL9-a	f2	0,20	34,00	200	17%
			0,20	75,00	200	38%
	Viga VT4-c	f3	0,40	96,00	350	27%
			0,40	SL	350	Pasante
	Viga VL8-a	f4	0,40	77,00	200	39%
			0,40	SL	200	Pasante
	Viga VT4-c	f5	0,20	77,00	350	22%
			0,20	70,00	350	20%
	Viga VT3-c	f6	0,20	33,00	350	9%
			0,20	SL	350	Pasante
	Viga VT3-b	f9	0,60	169,00	350	48%
			0,60	SL	350	Pasante
	Viga VL7-a	f8	0,30	149,00	250	60%
			0,30	147,00	250	59%
	Viga VT4-b	f9	0,30	147,00	350	42%
			0,30	149,00	350	43%
	Viga VT3-b	f11	0,50	120,00	350	34%
			0,50	144,00	350	41%
	Viga VT4-b	f11	0,10	132,00	350	38%
			0,10	127,00	350	36%
	Viga VL4-a	f13	0,08	79,00	250	32%
			0,08	75,00	250	30%
	Viga VT3-a	f13	0,10	157,00	350	45%
			0,10	166,00	350	47%
	Viga VL3-a	f14	0,10	179,00	200	90%
			0,10	118,00	200	59%
	Viga VT3-a	f16	0,10	136,00	350	39%
			0,10	179,00	350	51%
	Viga VT3-a	f16	0,20	169,00	350	48%
			0,20	169,00	350	48%
	Viga VL9-b	f17	0,80	162,00	250	65%
			0,80	149,00	250	60%
	Viga VL9-c	f18	0,10	159,00	250	64%
			0,10	107,00	250	43%
	Viga VL9-d	f19	0,10	159,00	250	64%
			0,10	75,00	250	30%

Tabla17. Resultado de medición de fisuras a ambas caras de las vigas. **Muelle Central**

Las fisuras presentan aberturas comprendidas entre 0.20 y 0.80 mm.
Las mediciones de profundidad indican que las fisuras seccionan las vigas en porcentajes comprendidos entre 9% y 100%.

Ubicación	Elemento	Identificación	Abertura (mm)	Profundidad (mm)	Espesor (mm)	Profundidad (%)
Muelle Sur	Viga VT4-a	f1	0,25	65,00	350	19%
			0,25	61,00	350	17%
	Viga VT4-a	f2	0,10	203,00	350	58%
			0,10	243,00	350	69%
	Viga VT4-b	f3	0,25	52,00	350	15%
			0,25	106,00	350	30%
	Viga VT4-b	f4	0,25	179,00	350	51%
			0,25	188,00	350	54%
	Viga VT4-b	f5	0,40	205,00	350	59%
			0,40	120,00	350	34%
	Viga VT4-c	f6	0,65	128,00	350	37%
			0,65	135,00	350	39%
	Viga VT4-c	f7	0,25	134,00	350	38%
			0,25	142,00	350	41%
	Viga VT4-c	f8	0,35	183,00	350	52%
			0,35	163,00	350	47%
	Viga VT3-c	f9	0,20	108,00	350	31%
			0,20	122,00	350	35%
	Viga VT3-c	f10	0,30	173,00	350	49%
			0,30	189,00	350	54%
	Viga VT3-b	f11	0,10	91,00	350	26%
			0,10	82,00	350	23%
	Viga VT3-b	f12	0,10	84,00	350	24%
			0,10	84,00	350	24%
	Viga VT3-b	f13	0,35	75,00	350	21%
			0,35	75,00	350	21%
	Viga VT2-a	f14	0,40	205,00	350	59%
			0,40	205,00	350	59%
	Viga VT2-c	f15	0,25	57,00	350	16%
			0,25	60,00	350	17%
	Viga VT1-b	f16	0,75	91,00	350	26%
			0,75	98,00	350	28%
	Viga VT1-a	f17	0,75	142,00	350	41%
			0,75	43,00	350	12%

Tabla18. Resultado de medición de fisuras a ambas caras de las vigas. **Muelle Sur**

Las fisuras presentan aberturas comprendidas entre 0,10 y 0,75 mm.
Las mediciones de profundidad indican que las fisuras seccionan las vigas en porcentajes comprendidos entre 12% y 100%.

Ubicación	Elemento	Identificación	Abertura (mm)	Profundidad (mm)	Espesor (mm)	Profundidad (%)
Muelle Norte	Viga VT4-c	f1	0,20	106,00	350	30%
			0,20	85,00	350	24%
	Vborde 2-a	f2	0,20	SL	150	Pasante
			0,20	87,00	150	58%
	Viga VT3-c	f3	0,20	72,00	350	21%
			0,20	59,00	350	17%
	Viga VT3-b	f4	0,25	53,00	350	15%
			0,25	145,00	350	41%
	Viga VT3-b	f5	0,45	181,00	350	52%
			0,45	202,00	350	58%
	Viga VL5-a	f6	0,35	72,00	350	21%
			0,35	60,00	350	17%
	Viga VT3-a	f7	0,20	106,00	350	30%
			0,20	75,00	350	21%

Tabla19. Resultado de medición de fisuras a ambas caras de las vigas. **Muelle Norte.**

Las fisuras presentan aberturas comprendidas entre 0,20 y 0,45 mm.
Las mediciones de profundidad indican que las fisuras seccionan las vigas en porcentajes comprendidos entre 15% y 100%.

6.3.2. Ensayos de testigos extraídos

Cuando se dispuso de los testigos debidamente identificados se procedió al corte de los mismos y se tuvo especial cuidado en la eliminación de zonas que presentaban disminución de sección por consecuencia de la broca, teniendo siempre presente la relación l/d, límite establecido por la Norma ASTM C42 (altura > 95% del diámetro). A continuación, se presentan las características geométricas de los testigos a ser ensayados:

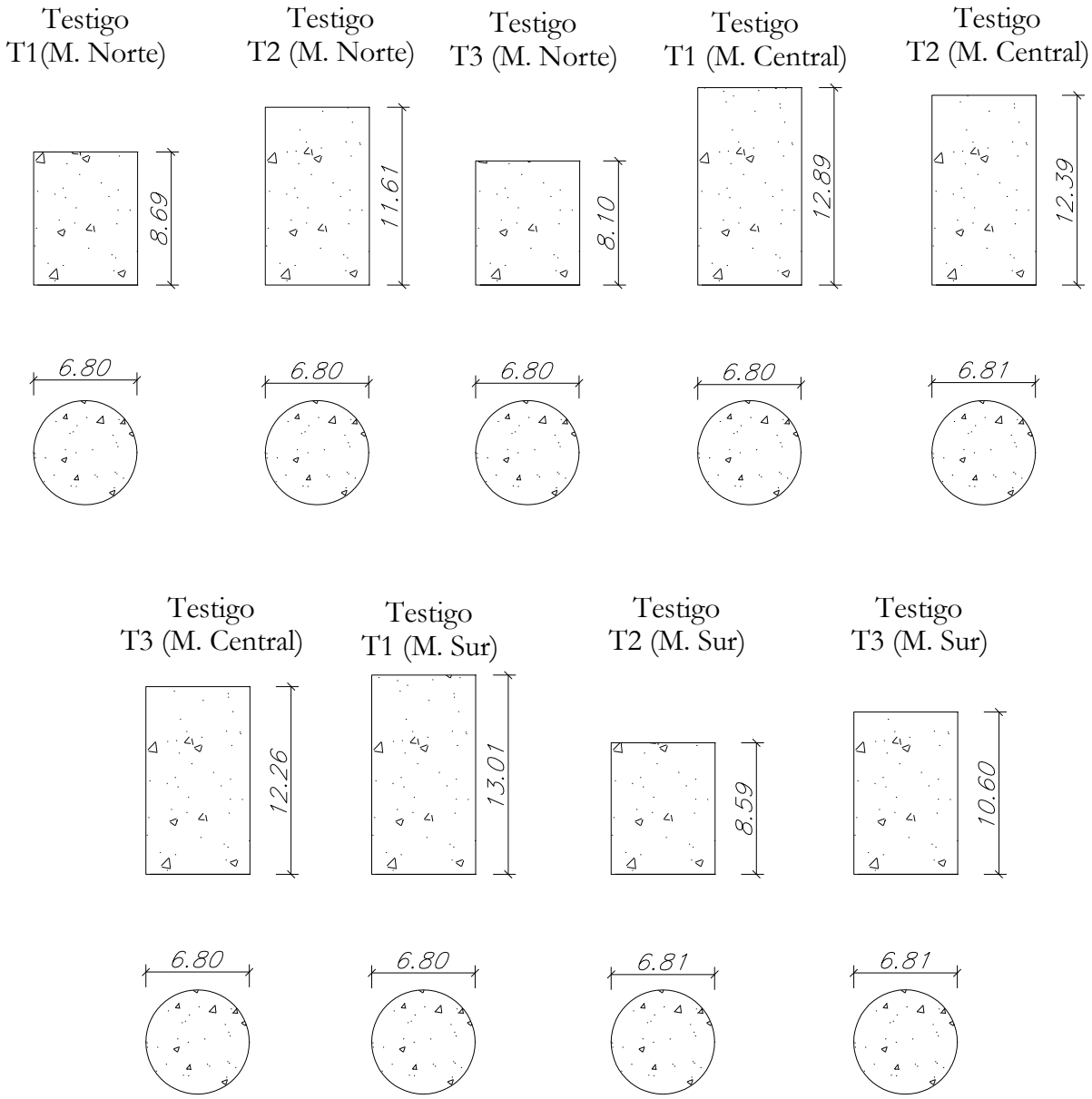


Figura 17. Dimensiones de los testigos a ensayar.

Fotografía 37. Vista de los testigos preparados para los ensayos.

Fotografía 38. Medición y pesado de testigos a ensayar.

Se realizaron verificaciones de la densidad del hormigón a partir de las mediciones de dimensiones y peso efectuadas en las probetas testigo. En la siguiente tabla se presentan los resultados.

Ubicación	Elemento	Testigo N°	Volumen (cm^3)	Peso (g)	Densidad (g/cm^3)	Densidad media (g/cm^3)
Muelle Central	Losa L28	T1	468,12	1.092	2,333	2,334
	Losa L13	T2	470,22	1.125	2,393	
	Losa L32	T3	445,56	1.015	2,278	
Muelle Sur	Losa L24	T4	472,36	1.133	2,399	2,353
	Losa L10	T5	312,69	746	2,386	
	Losa L29	T6	386,35	879	2,275	
Muelle Norte	Losa L36	T7	315,59	701	2,221	2,211
	Losa L11	T8	421,93	941	2,230	
	Losa L26	T9	294,29	642	2,182	

Tabla 20. Valores obtenidos de la densidad del Hormigón en muestras extraídas.

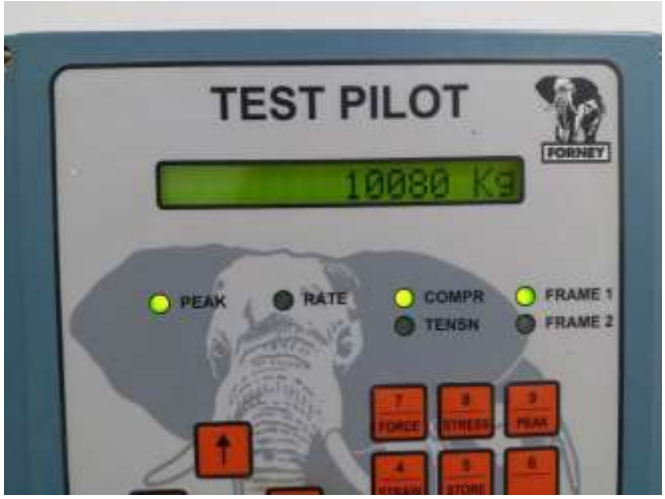
En el laboratorio de la firma; se procedió a realizar el ensayo de rotura por compresión de las probetas testigos en presencia de los Ingenieros Juan Manuel Gómez Salas por parte de CIALPA y el Ing. Santiago Haquin en representación del Ing. Sergio Gavilán.

SECTOR	TESTIGO N°	ELEMENTO ESTRUCTURAL	CARGA DE ROTURA kg
Muelle Central	T1	Losa L28	10.080
	T2	Losa L13	8.120
	T3	Losa L32	7.905
Muelle Sur	T1	Losa L24	10.530
	T2	Losa L10	9.990
	T3	Losa L29	10.635
Muelle Norte	T1	Losa L36	14.260
	T2	Losa L11	11.635
	T3	Losa L26	11.075

Tabla 21. Valores de carga de rotura en testigos.

A continuación, se muestran fotos ilustrativas del ensayo a compresión de las probetas testigos.

(a)



(b)

Fotografía 39. Ensayo a compresión sobre testigo T1- Muelle Central. (a) Aplicación de carga a probeta en la prensa. (b) Carga de rotura: 10.080kg.

(a) (b)

Fotografía 40. Ensayo a compresión sobre testigo T1- Muelle Sur (a) Aplicación de carga a probeta en la prensa. (b) Carga de rotura:10.530 kg.

(a) (b)

Fotografía 41. Ensayo a compresión sobre testigo T1-Mulle Norte (a) Aplicación de carga a probeta en la prensa. (b) Carga de rotura: 14.260 kg.

6.3.3. Cálculo de la resistencia real

Con las características referidas a la longitud y a los diámetros superior e inferior, procedemos por un lado a determinar la relación de esbeltez (*l*/*d*) y el área media de cada uno de ellos, de acuerdo a lo que establece la Norma ASTM C42-16 en 8.1 y las correcciones por esbeltez de acuerdo a 8.2.(Anexo 2).

SECTOR	TESTIGO N°	ELEMENTO ESTRUCTURAL	CARGA DE ROTURA kg	SECCIÓN cm^2	ALTURA PROBETA cm	DIÁMETRO PROBETA cm	TENSIÓN DE ROTURA kg/cm^2	(h/d)	*C* (h/d)	TENSIÓN CORREGIDA kg/cm^2
Muelle Central	T1	Losa L28	10.080	36,32	12,89	6,80	277,56	1,90	0,991	275,11
	T2	Losa L13	8.120	36,44	12,90	6,81	222,82	1,89	0,991	220,86
	T3	Losa L32	7.905	36,35	12,26	6,80	217,45	1,80	0,984	213,97
Muelle Sur	T1	Losa L24	10.530	36,32	13,01	6,80	289,95	1,91	0,993	287,86
	T2	Losa L10	9.990	36,39	8,59	6,81	274,54	1,26	0,941	258,29
	T3	Losa L29	10.635	36,46	10,60	6,81	291,69	1,56	0,964	281,19
Muelle Norte	T1	Losa L36	14.260	36,32	8,69	6,80	392,65	1,28	0,942	369,72
	T2	Losa L11	11.635	36,35	11,61	6,80	320,06	1,71	0,976	312,38
	T3	Losa L26	11.075	36,32	8,10	6,80	304,95	1,19	0,918	280,07

Estos valores representan la resistencia *"real"* del hormigón.

6.4. Estimación de la resistencia del hormigón

Para la estimación de la resistencia del hormigón se ha realizado una correlación entre los valores de índice esclerométrico I.E., velocidad de pulso ultrasónico Vp y el valor de rotura de testigos. Los valores del f_c **estimado del hormigón** para cada sector del muelle son. En el **Anexo 1** se presenta la memoria el detalle correspondiente.

Muelle Norte: **29 MPa**

Muelle Central: **21 MPa**

Muelle Sur: **23 MPa**

7. CONCLUSIONES

Conforme a los resultados de los ensayos, cálculos realizados y del análisis de los mismos podemos concluir:

Muelle Norte

- La resistencia del hormigón resultante es de 29MPa (Ítem 6.4, Pág. 63).
- Del relevamiento de daños se observa la presencia de corrosión de armaduras debido a la falta de recubrimiento y a la presencia de humedad y filtraciones en la estructura (figura11, pág.:39).

  Se encontraron coqueras y eflorescencia en vigas y losas (figura11, pág.:39) las cuales afectan a la estructura con respecto a la durabilidad de la misma.

- Sobre los ensayos del frente de carbonatación medidos (Tabla1, pág.: 45), los cuales se presentan en un rango de 73% a 100% , nos indican que las armaduras se encuentran expuestas a sufrir daños progresivos por corrosión.

- En cuanto a la trascendencia de fisuras en vigas (Ítem 6.4.2; pág53), las profundidades medidas (Tabla19;pág.: 59) arrojan valores que nos indican que las vigas se encuentran seccionadas, y por lo tanto con capacidad resistente disminuida y en especial las que tienen daños asociados a esfuerzos cortantes como las encontradas en las vigas V borde 2a y VT 3b , V11e y V11e .

Muelle Central

- La resistencia del hormigón resultante es de 21MPa (Ítem 6.4, Pág. 63).
- Del relevamiento de daños se observa la presencia de corrosión de armaduras debido a la falta de recubrimiento y a la presencia de humedad y filtraciones en la estructura. Se encontraron coqueras y eflorescencia en vigas y losas (figura13, pág.:41) las cuales afectan la estructura con respecto a la durabilidad de la misma.
- Con respecto al ensayo del frente de carbonatación medido(Tabla1, pág.: 45) el cual se presenta en un rango de 67% a 100%, nos indican que las armaduras se encuentran expuestas a sufrir daños progresivos por corrosión.

- En cuanto a la trascendencia de fisuras en vigas (Ítem 6.4.2; pág54), las profundidades medidas arrojan valores que nos indican que las vigas se encuentran seccionadas, y por lo tanto con capacidad resistente disminuida y en especial las que tienen daños asociados a esfuerzos cortantes como las encontradas en las vigas VT4-c y VL8-a, VT3-c y VT3-b (Tabla 17, pág.: 56)

Muelle Sur

- La resistencia del hormigón resultante es de 23MPa (Ítem 6.4, Pág. 63).
- Del relevamiento de daños se observa la presencia de corrosión de armaduras debido a la falta de recubrimiento (fotografías 27, 28) y a la presencia de humedad y filtraciones en la estructura(fotografía 31). Se encontraron erosiones en pilares, coqueras y eflorescencia en vigas y losas (figura12, pág.:40), las cuales afectan a la estructura con respecto a la durabilidad de la misma.
- En cuanto a la durabilidad de las armaduras, el porcentaje del frente de carbonatación medido(Tabla1, pág.: 45) se presenta en un rango de 33% a 100%, éstos nos indican que dichas armaduras se encuentran expuestas a sufrir daños progresivos por corrosión.
- En relación a la trascendencia de fisuras en vigas (Ítem 6.4.2; pág54), las profundidades medidas arrojan valores que nos indican que las vigas se encuentran seccionadas, y por lo tanto con capacidad resistente disminuida y en especial las que tienen daños asociados a esfuerzos cortantes como las encontradas en las vigas VT4-c y VL8-a, VT3-c y VT3-b (Tabla 18, pág.: 57)

En virtud a todo lo expuesto en los párrafos precedentes, podemos afirmar que las estructuras de los tres muelles **SE ENCUENTRAN CON LAS MISMAS TIPOLOGÍAS DE DAÑOS EN SUS ELEMENTOS LOS CUALES PRECISAN DE INTERVENCIÓN PARA OTORGARLES LAS CONDICIONES SATISFACTORIAS DE DURABILIDAD Y CAPACIDAD RESISTENTE PARA EL ACONDICIONAMIENTO PREVISTO DE LAS MISMAS**; por tal motivo deberían llevarse adelante las recomendaciones indicadas.

8. RECOMENDACIONES

- Ejecutar la inyección de fisuras en las vigas y el posterior refuerzo de éstas por medio de la adición de compuestos de fibra de carbono.
- Realizar el saneamiento de la estructura conforme a los daños encontrados en el relevamiento de daños para proveer a los elementos afectados las condiciones necesarias que favorezcan la durabilidad de la estructura. Los mismos deberán ser ejecutados en forma previa a los trabajos de refuerzo recomendados.
- Previo a lo mencionado en el párrafo anterior, será necesario realizar las intervenciones necesarias para lograr la impermeabilización de la estructura en los puntos notables de escurrimiento de aguas de lluvia (por medio de revestimientos y sistemas de desagüe), con especial atención a las vigas perimetrales y en juntas de dilatación.

Este informe consta de 67 páginas numeradas y 1 Anexo.

Fernando de la Mora, 25 de octubre de 2019.

BIBLIOGRAFÍA

1- Fernández Cánovas Manuel. Patología y Terapéutica del Hormigón Armado. CICCP. Madrid 1.994-España.

2- J. Fernández Gómez y otros. Evaluación de la Capacidad Resistente de estructuras de Hormigón-Ensayos No Destructivos y pruebas de carga. Intemac.

3- J. Calavera .Patología De Estructuras De Hormigón Armado Y Pretensado –Tomo 1 y 2 –. Intemac

4- ASTM C 42 Standard Methods of Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.

5- Metha, P.K., Monteiro, P.J.M.Concreto: estrutura, propiedades e materiais PINI, 1.994 Brasil.

6- Adam M. Neville. Propiedades do Concreto PINI, 1.997 Brasil.

7- Gavilán Martínez Sergio. Determinación de la Resistencia del Hormigón por medio de ensayos no destructivos. Tesis de Maestría. Facultad de ciencias y Tecnología UCA. Paraguay. 2011.

8- Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, Reparación, Refuerzo y Protección.

ANEXO 1

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

ENSAYO ESCLEROMÉTRICO

Equipo utilizado	PROCEQ N 34
Nº de serie	163183
Norma de referencia	ASTM C 805 - 97

Fecha	14/9/2018
Obra	Petropar
Lectura inicial yunque	78
Lectura final yunque	78

Muelle Norte

Elemento	Pilar P1	Viga T4-b	Viga VL5-a	Losa L11
Identificacion área	E1	E2	E3	E4
Dirección ensayo	0º	0º	0º	90º
Impacto 1	36	42	32	40
Impacto 2	38	37	34	39
Impacto 3	31	42	34	40
Impacto 4	36	40	36	44
Impacto 5	34	42	38	39
Impacto 6	38	40	34	42
Impacto 7	38	42	38	40
Impacto 8	38	41	38	44
Impacto 9	34	44	38	43
Impacto 10	36	42	40	44
Impacto 11	38	41	39	46
Impacto 12	38	42	38	43
Impacto 13	35	42	39	46
Impacto 14	38	39	39	47

Operador	Ing. Moisés Ferloni

RESULTADOS OBTENIDOS

N corregido	36	41	37	43

ENSAYO ESCLEROMÉTRICO

Equipo utilizado	PROCEQ N 34
Nº de serie	163183
Norma de referencia	ASTM C 805 - 97

Fecha	14/9/2018
Obra	Petropar
Lectura inicial yunque	78
Lectura final yunque	78

Muelle Norte

Elemento	Pilar P16	Losa L25	Viga VT3-b	Viga VL9-a
Identificacion área	E5	E6	E7	E8
Dirección ensayo	0º	90º	0º	0º
Impacto 1	42	45	44	40
Impacto 2	43	46	48	41
Impacto 3	43	47	38	36
Impacto 4	42	46	47	37
Impacto 5	41	42	49	34
Impacto 6	38	39	43	40
Impacto 7	42	43	46	39
Impacto 8	42	47	42	34
Impacto 9	43	47	42	35
Impacto 10	43	43	49	35
Impacto 11	40	48	40	35
Impacto 12	45	49	48	33
Impacto 13	42	46	42	40
Impacto 14	44	50	43	38

Operador	Ing. Moisés Ferloni

RESULTADOS OBTENIDOS

N corregido	42	46	44	37

ENSAYO ESCLEROMÉTRICO

Equipo utilizado	PROCEQ N 34
Nº de serie	163183
Norma de referencia	ASTM C 805 - 97

Fecha	14/9/2018
Obra	Petropar
Lectura inicial yunque	78
Lectura final yunque	78

Muelle Central

Elemento	Viga VL6-a	Viga VL2-a	Viga VT4-c	Viga VT1-c
Identificacion área	E9	E10	E11	E12
Dirección ensayo	0º	0º	0º	0º
Impacto 1	33	37	35	32
Impacto 2	30	34	33	32
Impacto 3	36	39	29	35
Impacto 4	28	38	29	32
Impacto 5	35	38	31	34
Impacto 6	33	38	34	36
Impacto 7	29	34	32	31
Impacto 8	32	33	33	34
Impacto 9	32	34	33	32
Impacto 10	30	35	35	32
Impacto 11	33	39	32	35
Impacto 12	33	38	30	34
Impacto 13	29	37	34	37
Impacto 14	34	38	31	39

Operador	Ing. Moisés Ferloni

RESULTADOS OBTENIDOS

N corregido	32	37	32	34

ENSAYO ESCLEROMÉTRICO

Equipo utilizado	PROCEQ N 34
Nº de serie	163183
Norma de referencia	ASTM C 805 - 97

Fecha	14/9/2018
Obra	Petropar
Lectura inicial yunque	78
Lectura final yunque	78

Muelle Central

Elemento	Pilar P4	Losa L28	Losa L10	Pilar P9
Identificacion área	E13	E14	E15	E16
Dirección ensayo	0º	90º	90º	90º
Impacto 1	40	42	40	39
Impacto 2	38	44	36	38
Impacto 3	34	38	44	38
Impacto 4	31	48	40	38
Impacto 5	39	47	40	37
Impacto 6	36	43	39	39
Impacto 7	36	45	36	40
Impacto 8	36	44	40	38
Impacto 9	35	40	42	36
Impacto 10	34	45	41	38
Impacto 11	34	48	41	38
Impacto 12	32	44	44	40
Impacto 13	36	48	38	39
Impacto 14	32	46	42	40

Operador	Ing. Moisés Ferloni

RESULTADOS OBTENIDOS

N corregido	35	44	40	38

ENSAYO ESCLEROMÉTRICO

Equipo utilizado	PROCEQ N 34
Nº de serie	163183
Norma de referencia	ASTM C 805 - 97

Fecha	14/9/2018
Obra	Petropar
Lectura inicial yunque	78
Lectura final yunque	78

Muelle Sur

Elemento	Pilar P1	Pilar P16	Viga VL9-a	Viga VL6-a
Identificacion área	E17	E18	E19	E20
Dirección ensayo	0º	0º	0º	0º
Impacto 1	31	36	38	37
Impacto 2	34	31	32	33
Impacto 3	33	29	37	34
Impacto 4	34	34	39	34
Impacto 5	34	35	40	38
Impacto 6	33	33	36	32
Impacto 7	30	32	35	35
Impacto 8	29	34	38	37
Impacto 9	29	33	34	37
Impacto 10	32	34	32	35
Impacto 11	34	31	39	34
Impacto 12	31	31	40	34
Impacto 13	33	29	39	31
Impacto 14	33	32	39	34

Operador	Ing. Moisés Ferloni

RESULTADOS OBTENIDOS

N corregido	32	32	37	35

ENSAYO ESCLEROMÉTRICO

Equipo utilizado	PROCEQ N 34
Nº de serie	163183
Norma de referencia	ASTM C 805 - 97

Fecha	14/9/2018
Obra	Petropar
Lectura inicial yunque	78
Lectura final yunque	78

Muelle Sur

Elemento	Viga VT4-c	Viga VT4-b	Losa L24	Losa L27
Identificacion área	E21	E22	E23	E24
Dirección ensayo	0º	0º	90º	90º
Impacto 1	36	36	44	46
Impacto 2	35	32	48	48
Impacto 3	37	30	49	48
Impacto 4	39	32	46	44
Impacto 5	34	34	45	46
Impacto 6	33	38	46	46
Impacto 7	32	34	44	44
Impacto 8	34	38	49	48
Impacto 9	39	38	49	50
Impacto 10	30	34	42	50
Impacto 11	35	34	46	47
Impacto 12	33	36	47	47
Impacto 13	33	36	46	49
Impacto 14	33	34	46	50

Operador	Ing. Moisés Ferloni

RESULTADOS OBTENIDOS

N corregido	35	35	46	47

ENSAYO DE VELOCIDAD DE IMPULSO ULTRASONICO

Fecha	14/9/2018
Obra	Petropar
Equipo utilizado	SURFER
Nº de serie	12018677
Norma de referencia	ASTM C 597

Medición directa		1
Medición indirecta		2

Elemento U1 — Pilar P1 — *Muelle Norte*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		3590		3660		3420		3460
V (m/s)		3750		3330		3140		3290

Elemento U2 — *Viga T4-b*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		2540		1950		2750		2630
V (m/s)		2150		2580		2620		2720

Elemento U3 — *Viga VL5-a*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		1870		1750		2310		1830
V (m/s)		2000		2450		2240		2380

Elemento U4 — *Losa L11* — *Muelle Norte*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		1930		2500		2120		2140
V (m/s)		1680		1580		2040		2070

Elemento U5 *Pilar P16* *Muelle Norte*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		1910		2380		3390		3500
V (m/s)		2214		3590		3780		1870

Elemento U6 *Losa L25*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		1660		1760		1730		1780
V (m/s)		1800		1510		1970		2150

Elemento U7 *Viga VT3-b* *Muelle Norte*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		2560		2020		2340		1820
V (m/s)		2080		3660		3348		3830

Elemento U8 *Viga VL9-a*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		1670		2130		1830		1780
V (m/s)		1920		2050		3340		2320

Elemento U9 *Viga VL6-a* *Muelle Central*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		2200		2060		1810		2040
V (m/s)		2840		3130		2410		3100

Elemento U10 *Viga VL2-a*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		2340		1660		3110		1760
V (m/s)		3210		3090		3020		3290

Elemento U11 *Viga VT4-c*

Tipo de medición	2	Indirecta	2	Indirecta	2	Indirecta	2	Indirecta
V (m/s)		2740		2600		2090		2750
V (m/s)		2040		2060		2110		3050

Elemento U12 *Viga VT1-c* *Muelle Central*

Tipo de medición	2	Indirecta	2	Indirecta	2	Indirecta	2	Indirecta
V (m/s)		1690		2240		2180		1760
V (m/s)		3200		3210		3320		3350

Elemento U13 *Pilar P4*

Tipo de medición	2	Indirecta	2	Indirecta	2	Indirecta	2	Indirecta
V (m/s)		2290		3180		2300		1770
V (m/s)		3180		2960		2140		3096

Elemento U14 *Losa L28*

Tipo de medición	2	Indirecta	2	Indirecta	2	Indirecta	2	Indirecta
V (m/s)		1840		1630		2200		1700
V (m/s)		1600		1790		1960		2230

Elemento U15 *Losa L10* *Muelle Central*

Tipo de medición	2	Indirecta	2	Indirecta	2	Indirecta	2	Indirecta
V (m/s)		1500		1260		1330		1830
V (m/s)		1720		1800		2300		1510

Elemento U16 *Pilar P9*

Tipo de medición	2	Indirecta	2	Indirecta	2	Indirecta	2	Indirecta
V (m/s)		3300		2120		2240		2450
V (m/s)		3940		2680		3500		3680

Elemento U17 *Pilar P1* *Muelle Sur*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		2430		2230		2110		2290
V (m/s)		3050		3040		3170		3500

Elemento U18 *Pilar P16*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		1830		2080		1800		2250
V (m/s)		3100		3600		3050		3210

Elemento U19 *Viga VL9-a*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		2130		2820		1650		1790
V (m/s)		2060		2690		2150		1760

Elemento U20 *Viga VL6-a*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		1740		2110		2110		1780
V (m/s)		3450		3190		3310		3830

Elemento U21 *Viga VT4-c*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		2370		2480		2680		2710
V (m/s)		3500		3570		3640		3100

Elemento U22 *Viga VT4-b*

Tipo de medición	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**	2	**Indirecta**
V (m/s)		2190		2030		2000		1680
V (m/s)		1630		1760		2680		1580

Elemento U23	*Losa L24*			
Tipo de medición	2 **Indirecta**	2 **Indirecta**	2 **Indirecta**	2 **Indirecta**
V (m/s)	2310	1960	1930	2380
V (m/s)	2430	2220	2660	1950

Elemento U24	*Losa L27*	*Muelle Sur*		
Tipo de medición	2 **Indirecta**	2 **Indirecta**	2 **Indirecta**	2 **Indirecta**
V (m/s)	3530	2720	1780	3660
V (m/s)	2760	2020	1780	1620

Operador	Ing. Moises Ferloni

ENSAYO DE VELOCIDAD DE IMPULSO ULTRASONICO

Fecha	6/6/2018
Obra	España San Lorenzo
Equipo utilizado	Controls UPV 58-E48
Nº de serie	12018677
Norma de referencia	ASTM C 597

Medición directa		1
Medición indirecta		2

Elemento		*T1*		*Muelle C*
Tipo de medición	1	**Directa**	1	**Directa**
Distancia (cm)		12,9		12,9
Tiempo (us)		40,4		38,2
V (m/s)		3191		3374

Elemento		*T2*		
Tipo de medición	1	**Directa**	1	**Directa**
Distancia (cm)		12,4		12,4
Tiempo (us)		38,9		39,4
V (m/s)		3185		3145

Elemento		*T3*		
Tipo de medición	1	**Directa**	1	**Directa**
Distancia (cm)		12,3		12,3
Tiempo (us)		40,9		40,7
V (m/s)		2998		3012

Elemento		*T1*		*Muelle S*
Tipo de medición	1	**Directa**	1	**Directa**
Distancia (cm)		13,0		13,0
Tiempo (us)		36,9		36,1
V (m/s)		3526		3604

Elemento		*T2*		
Tipo de medición	1	**Directa**	1	**Directa**
Distancia (cm)		8,6		8,6
Tiempo (us)		26,7		27,6
V (m/s)		3217		3112

Elemento		*T3*		
Tipo de medición	1	**Directa**	1	**Directa**
Distancia (cm)		10,6		10,6
Tiempo (us)		32,4		32,2
V (m/s)		3272		3292

Elemento		*T1*		*Muelle N*
Tipo de medición	1	**Directa**	1	**Directa**
Distancia (cm)		8,7		8,7
Tiempo (us)		22,2		23,2
V (m/s)		3914		3746

Elemento		*T2*		
Tipo de medición	1	**Directa**	1	**Directa**
Distancia (cm)		11,6		11,6
Tiempo (us)		31,4		32,1
V (m/s)		3697		3617

Elemento		*T3*		
Tipo de medición	1	**Directa**	1	**Directa**
Distancia (cm)		8,1		8,1
Tiempo (us)		25,2		27,7
V (m/s)		3214		2924

Operador	Ing. Rita Abdala

OBRA: Petropar - Sector Muelle Norte

Elementos: Losas, Vigas y Pilares

RESULTADOS DE ENSAYOS

Identificación	I.E	Vp (m/s)	*f*c (MPa)
E1	36	3455	-
E5	42	2829	-
E2	41	2493	-
E3	37	2104	-
E7	44	2707	-
E8	37	2130	-
E4	43	2008	31,24
E6	46	1795	-
T1	-	-	36,97
T3	-	-	28,01

Asignación de resistencias individuales a los elementos ensayados
Considerando la fórmula de correlación $f_c = 1{,}144IE + 0{,}019V^4 - 19{,}030$ (1)

Identificación	I.E	Vp (m/s)	fc (MPa)	fc (MPa)- fórmula correlación
E1	36	3455	-	25,19
E5	42	2829	-	30,40
E2	41	2493	-	28,77
E3	37	2104	-	23,59
E7	44	2707	-	32,74
E8	37	2130	-	23,61
E4	43	2008	31,24	30,06
E6	46	1795	-	33,30
T1	-	-	36,97	-
T3	-	-	28,01	-

Norma: EN 13791:2007.

Determinación del tipo de enfoque

N: tamaño de la muestra

N ≥ 15: Enfoque A

3 ≤ N ≤ 14: Enfoque B

$\boxed{N = 9}$ → $\boxed{\text{Enfoque B}}$

Para determinar la resistencia caracteristica in-situ de la región de ensayo se consideran los siguientes valores:

$$\boxed{f_{m(n),is} = 29{,}5 \quad \textbf{MPa}}$$

$$\boxed{f_{is,minimo} = 23{,}59 \quad \textbf{MPa}}$$

donde:

$f_{m(n),is}$ ... Valor promedio de los resultados obtenidos en las N amasadas ensayadas

$f_{is,minimo}$.... Valor minimo de los resultados obtenidos en las N amasadas ensayadas

La resistencia caracteristica in-situ de la región de ensayo resulta del menor resultado de las siguientes expresiones:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k$$

$$f_{ck,is} = f_{is,minimo} + 4$$

donde:

k ..... Coeficiente dado en la Tabla 2 que depende del numero de resultados N.

La relación entre la resistencia caracteristica in situ y la resistencia caracteristicade probetas normalizadas es 0.85. (Tabla 1)

$k = 5$

$$f_{ck,is1} = 29{,}53 - 5 = 24{,}50$$

$$f_{ck,is2} = 23{,}59 + 4 = 27{,}59$$

$$f_{ck,is} = f_{ck,is(minimo)} = 24{,}50 \quad \text{MPa}$$

$$f_{ck,est} = 24{,}50 \;/\; 0{,}85 = 28{,}82 \quad \text{MPa}$$

$$\boxed{f_{C\,ADOPTADO} = 29 \quad \textbf{MPa}}$$

OBRA: Petropar - Sector Muelle Central

Elementos: Losas, Vigas y Pilares

RESULTADOS DE ENSAYOS

Identificación	I.E	Vp (m/s)	*f*c (MPa)
E13	35	2615	-
E16	38	2989	-
E9	32	2449	-
E10	37	2685	-
E11	32	2430	-
E12	34	2619	-
E14	44	1869	27,51
E15	40	1656	-
T2	-	-	22,09
T3	-	-	21,40

Asignación de resistencias individuales a los elementos ensayados
Considerando la fórmula de correlación $f_c = 1{,}144IE + 0{,}019V^4 - 19{,}030$ (1)

Identificación	I.E	Vp (m/s)	fc (MPa)	fc (MPa)- fórmula correlación
E13	35	2615	-	22,24
E16	38	2989	-	24,25
E9	32	2449	-	20,37
E10	37	2685	-	23,02
E11	32	2430	-	20,52
E12	34	2619	-	21,55
E14	44	1869	27,51	26,96
E15	40	1656	-	24,64
T2	-	-	22,09	-
T3	-	-	21,40	-

Norma: EN 13791:2007.
Determinación del tipo de enfoque
N: tamaño de la muestra
N ≥ 15: Enfoque A
3 ≤ N ≤ 14: Enfoque B

N = 10 → Enfoque B

Para determinar la resistencia caracteristica in-situ de la región de ensayo se consideran los siguientes valores:

$f_{m(n),is}$ = 22,8 **MPa**

$f_{is,minimo}$ = 20,37 **MPa**

donde:

$f_{m(n),is}$ ... Valor promedio de los resultados obtenidos en las N amasadas ensayadas

$f_{is,minimo}$.... Valor minimo de los resultados obtenidos en las N amasadas ensayadas

La resistencia caracteristica in-situ de la región de ensayo resulta del menor resultado de las siguientes expresiones:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k$$

$$f_{ck,is} = f_{is,minimo} + 4$$

donde:

k ..... Coeficiente dado en la Tabla 2 que depende del numero de resultados N.

La relación entre la resistencia caracteristica in situ y la resistencia caracteristicade probetas normalizadas es 0.85. (Tabla 1)

k = 5

$f_{ck,is1}$ = 22,76 - 5 = 17,80

$f_{ck,is2}$ = 20,37 + 4 = 24,37

$f_{ck,is} = f_{ck,is(minimo)}$ = 17,80 MPa

$f_{ck,est}$ = 17,80 / 0,85 = 20,94 MPa

$f_{C\ ADOPTADO}$ = 21 **MPa**

OBRA: Petropar - Sector Muelle Sur

Elementos: Losas, Vigas y Pilares

RESULTADOS DE ENSAYOS

Identificación	I.E	Vp (m/s)	*f*c (MPa)
E17	32	2728	-
E18	32	2615	-
E19	37	2131	-
E20	35	2690	-
E21	35	3006	-
E22	35	1944	-
E23	46	2230	28,79
E24	47	2484	-
T2	-	-	25,83
T3	-	-	28,12

Asignación de resistencias individuales a los elementos ensayados
Considerando la fórmula de correlación $f_c = 1{,}144IE + 0{,}019V^4 - 19{,}030$ (1)

Identificación	I.E	Vp (m/s)	fc (MPa)	fc (MPa)- fórmula correlación
E17	32	2728	-	20,65
E18	32	2615	-	20,73
E19	37	2131	-	23,00
E20	35	2690	-	21,98
E21	35	3006	-	22,13
E22	35	1944	-	21,71
E23	46	2230	28,79	28,03
E24	47	2484	-	28,75
T2	-	-	25,83	-
T3	-	-	28,12	-

Norma: EN 13791:2007.
Determinación del tipo de enfoque
N: tamaño de la muestra
N ≥ 15: Enfoque A
3 ≤ N ≤ 14: Enfoque B

N = 10 → Enfoque B

Para determinar la resistencia caracteristica in-situ de la región de ensayo se consideran los siguientes valores:

$f_{m(n),is}$ = 24,2 **MPa**

$f_{is,minimo}$ = 20,65 **MPa**

donde:

$f_{m(n),is}$ ... Valor promedio de los resultados obtenidos en las N amasadas ensayadas

$f_{is,minimo}$.... Valor minimo de los resultados obtenidos en las N amasadas ensayadas

La resistencia caracteristica in-situ de la región de ensayo resulta del menor resultado de las siguientes expresiones:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k$$

$$f_{ck,is} = f_{is,minimo} + 4$$

donde:

k ..... Coeficiente dado en la Tabla 2 que depende del numero de resultados N.

La relación entre la resistencia caracteristica in situ y la resistencia caracteristicade probetas normalizadas es 0.85. (Tabla 1)

k = 5

$f_{ck,is1}$ = 24,17 - 5 = 19,20
$f_{ck,is2}$ = 20,65 + 4 = 24,65

$f_{ck,is} = f_{ck,is(minimo)}$ = 19,20 MPa

$f_{ck,est}$ = 19,20 / 0,85 = 22,59 MPa

$f_{C\ ADOPTADO}$ = 23 **MPa**