



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

*EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE ELEMENTOS
ESTRUCTURALES PRESFORZADOS DAÑADOS POR CORROSIÓN: CASO
DE VIGAS*

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
**MAESTRO EN INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE EN LA RAMA DE LAS VÍAS TERRESTES**

PRESENTA:

ARTURO ZALAPA DAMIÁN

ASESOR:

M. A. Wilfrido Martínez Molina

COASESORES:

Dr. Andrés Antonio Torres Acosta

Dr. Hugo Hernández Barrios

Tesis apoyada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

MORELIA, MICHOACÁN, FEBRERO DE 2016.



RESUMEN

La siguiente investigación muestra los resultados del levantamiento de longitudes y anchos de grietas en vigas de concreto presforzado sometidas a un proceso de corrosión acelerado, mediante la aplicación de una corriente galvánica, así como la evaluación de su capacidad de carga. Se adicionó 1% de NaCl al tercio medio de cada viga en relación a la masa del cemento, con la finalidad de acelerar el proceso de corrosión en esa zona. Los resultados muestran un incremento considerable en la aparición de grietas longitudinales en el sentido del acero de presfuerzo, teniéndose un incremento en las longitudes acumuladas de 1.7 cm/día después de la conexión. De igual modo los anchos de grieta aumentaron a partir de la conexión del galvanostato, presentando un incremento 10 veces mayor. La velocidad de corrosión calculada mostró que en un año las barras de acero de presfuerzo, a la densidad de corriente aplicada, perderían 0.75 mm de radio, lo que coloca al elemento en un alto riesgo debido a la corrosión, además se observó al limpiar las barras de acero que la corrosión presentada fue de tipo localizada. Se calculó la pérdida de masa teórica (faradaica) y la gravimétrica (real) y se encontró que ambas fueron muy similares, presentando una eficiencia en el sistema de 95%. Para la capacidad de carga a flexión se tuvo una disminución promedio de 41% entre vigas que no fueron sometidas al proceso de corrosión acelerada y aquellas que si lo fueron. En el caso de las varillas extraídas de las vigas y probadas a tensión se encontró que tuvieron un porcentaje de pérdida de capacidad de carga del 12 al 15%. La investigación continúa en proceso con especímenes que se probarán a edades más avanzadas, por lo que se concluye parcialmente que la corrosión en elementos de presfuerzo afecta de manera importante a la capacidad de carga del elemento, y que su efecto es similar en elementos con y sin presfuerzo.

Palabras clave: Capacidad, portante, presforzados, corrosión, vigas.



SUMMARY

The following study shows the results of measurements of lengths and widths of cracks in prestressed concrete beams, subjected to a process of accelerated corrosion by applying a galvanic current, as well as assessing their capacity. NaCl was added in 1% to the middle third of each beam relative to the weight of cement, in order to accelerate corrosion in that area. The results show a significant increase in the occurrence of longitudinal cracks in the direction of prestressing steel, taking an increase in accumulated lengths 1.7 cm / day after connection. Similarly crack widths increased since galvanostat connection, presenting a 10-fold increase. The corrosion rate calculated showed that in one year the steel bars of prestressing lost 0.75 mm of radius, which gives the element at high risk due to corrosión, also it was observed when cleaning rebar that corrosión was located. Theoretical mass loss (faradaic) and gravimetric (real) was calculated and found that both were similar, showing a system efficiency of 95%. Bending capacity decrease 41%. For rods extracted, tension test had a percentage of loss of capacity from 12 to 15%. Research continues in process with specimens to be tested later, so it is concluded, partially, that prestressed corroded elements lose capacity and that its effect is similar in elements with or without prestressing.

Key words: Capacity, bearing, prestressed, corrosion, beams.



A mis padres,
la mejor constante en mi vida.
Los amo.



AGRADECIMIENTOS

A **Jessica**, por todo el apoyo y amor, gracias por alentarme en todo momento y no dejarme caer nunca, por todo el aprendizaje, por caminar conmigo en este viaje de vida, has sido la compañera perfecta, mi amiga, mi esposa, el amor de mi vida. Te amo bonita.

Gracias **mamá**, por creer en mí siempre, por apoyarme e inculcarme que cualquier cosa es posible, por amarme desde el primer momento, por cuidarme y enseñarme que el trabajo responsable es el mejor camino. Gracias **papá**, por tu fortaleza y dedicación, nunca he dejado de aprender de ti, has sido y seguirás siendo mi mejor maestro. Los amo.

A mis hermanas **Mireya, Yadira, Indira y Nadia**, por su apoyo incondicional y por su ejemplo de vida, porque en los momentos difíciles cierro los ojos y el recuerdo de su amor y cariño me hacen seguir adelante.

A mi asesor **M.A. Ing. Wilfrido Martínez Molina**, por el apoyo incondicional a este trabajo, por su confianza, por sus consejos y enseñanzas. Gracias por creer en el proyecto desde el primer momento. Siempre llevo presente su ejemplo de profesionalismo.

A mi asesora **Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán**, por todo el apoyo, personal y profesional, por sus consejos y atenciones, por ser una líder que predica con el ejemplo. Gracias por ser mi guía.

A mi coasesor **Dr. Andrés Antonio Torres Acosta**, por el apoyo incondicional en esta investigación, por la enseñanza y la paciencia. Gracias por todo.

A la **Dra. Angélica de Lourdes del Valle Moreno** y al **Dr. José Trinidad Pérez Quiroz**, por su participación constante, por las visitas de asesoría y todo el tiempo dedicado a este proyecto. Muchas gracias.



A **Ramón**, por el apoyo incondicional en este trabajo, por la amistad, la compañía y los consejos. Por no desistir nunca, por las palabras de aliento y de regaño, por hacer que el trabajo se convirtiera en convivencia, por ser un gran ser humano. Gracias.

A **Maybelin**, por creer en el proyecto, por tu entrega, dedicación, paciencia y la buena vibra, por tu amistad y compañerismo, por tus aportaciones y por hacer de este trabajo una experiencia de vida. Gracias.

A **Elizabeth**, por tu amistad, cariño y apoyo. Gracias por la motivación, la fuerza y la confianza, por acompañarme en esta etapa de mi vida y nunca dejarme vencer, admiro tu fortaleza y ganas de salir adelante, en ti encontré el apoyo que necesité en momentos difíciles, gracias por creer en mí, gracias por estar siempre presente.

A **Isaías**, por todo el apoyo en la realización de las pruebas en el laboratorio, gracias por apoyar incondicionalmente este proyecto.

A la maestra **Cindy** y el doctor **Hugo**, por todos los consejos y apoyo incondicional a este trabajo. A **Alberto**, por su amistad, apoyo y compañerismo. Al maestro **Jesús Zauno**, **Marco Mondragón**, **Bernabé**, **Marco Navarrete**, **Sandra**, **Rosalía**, **Judith**, **Noel**, **Jacobo**, **Mauricio** y **José Eduardo**, por todo el apoyo y aliento para que esta investigación se llevará a cabo.

A todo el personal del laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”, por darme la oportunidad de llevar a cabo toda la experimentación de este proyecto en sus instalaciones.

A la empresa EEPsA, en especial al ingeniero Edgar Ávalos, por todo el apoyo brindado, por hacer posible la obtención de las vigas expuestas en esta investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo durante estos años de estudio e investigación.



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	I
SUMMARY	II
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
1.- OBJETIVO	1
2.- INTRODUCCIÓN.....	2
3.- MARCO TEÓRICO	4
3.1 Concreto.....	4
3.1.1 Ventajas y desventajas del concreto hidráulico	5
3.1.2 Cemento	7
3.1.3 Composición química del cemento.....	7
3.1.4 Tipos de cemento	8
3.1.5 Relación agua/cemento	10
3.2 Concreto reforzado	10
3.3 Concreto presforzado.....	11
3.4 Durabilidad del concreto.....	12
3.5 Corrosión	14
3.6 Morfotipos de la corrosión.....	14
3.7 Corrosión electroquímica.....	18
3.7.1 La función del concreto en la celda electrolítica	20
3.7.2 Mecanismo de transporte	21
3.8 Tipos de corrosión en estructuras de concreto reforzado	22



3.9 Factores que desencadenan la corrosión en estructuras de concreto reforzado	26
3.9.1 Dosificación del concreto.	27
3.9.2 Compacidad y homogeneidad.....	29
3.9.3 Espesor de recubrimiento del concreto.....	29
3.9.4 Humedad ambiental	30
3.9.5 Efecto del oxígeno	30
3.9.6 Efecto de la temperatura	30
3.9.7 Estado superficial del acero	31
3.9.8 Tensiones mecánicas del acero	31
3.9.9 Contacto galvánico entre dos metales.....	31
3.9.10 Iones despasivantes.....	31
3.9.11 Carbonatación	33
3.9.12 Lixiviación	34
3.9.13 Presencia de coqueras en contacto con armaduras	34
3.9.14 Grietas en el concreto reforzado	34
3.10 Daños por corrosión en estructuras en la rama de las vías terrestres: Puentes	36
3.10.1 Tipos de puentes	36
3.10.2 Puentes en México	39
4.- METODOLOGÍA	44
4.1 Elaboración de las vigas de concreto con acero presforzado.....	44
4.2 Colocación y mantenimiento de las vigas en laboratorio	46
4.3 Aplicación de corriente	46
4.4 Pruebas realizadas a los especímenes	48
5.- DESARROLLO EXPERIMENTAL	51



5.1 Medición de grietas.....	51
5.2 Aplicación de corriente a vigas por medio de un galvanostato	52
5.3 Velocidad de corrosión	54
5.4 Pérdida de masa teórica (Faradaica)	54
5.5 Pruebas destructivas a flexión a tres puntos	55
5.5.1 Carga a Flexión.....	55
5.5.2 Medición de deformación	55
5.6 Caracterización del acero de refuerzo extraído de las vigas.....	56
5.7 Resistencia a la tensión del acero de presfuerzo.....	58
5.7.1 Resistencia a la tensión	58
5.7.2 Resistencia a la fluencia.....	59
5.7.3 Alargamiento	60
5.7.4 Alargamiento después de la fractura.....	61
5.7.5 Alargamiento por separación de cabezales.....	62
6.- RESULTADOS	63
6.1 Medición de grietas.....	63
6.1.1 Incremento en la longitud de grietas inferiores.	63
6.1.2 Gráficas del incremento longitudinal en grietas de la sección inferior. ..	65
6.1.3 Medición de anchos de grietas.....	70
6.2 Estimación de la corrosión aplicada a las barras de presfuerzo.....	73
6.2.1 Corriente total aplicada.....	73
6.2.2 Densidad de corrosión	75
6.2.3 Velocidad de corrosión	78
6.2.4 Pérdida de masa teórica (Faradaica)	79
6.3 Pruebas destructivas a flexión a tres puntos	80



6.3.1	Diagramas Carga – Deformación de las pruebas de flexión.....	80
6.3.2	Carga máxima en flexión obtenida	84
6.4	Caracterización del acero de refuerzo extraído de las vigas	86
6.5	Resistencia a la tensión del acero de presfuerzo	91
6.6	Discusión de resultados	93
6.6.1	Capacidad de carga remanente vs. Pérdida de masa por corrosión	93
7	CONCLUSIONES	96
8	REFERENCIAS	99



1.- OBJETIVO

Conocer la pérdida de capacidad portante de vigas de concreto presforzado sometidas a un proceso acelerado de corrosión, así como su relación con la aparición de grietas, y su comparación con elementos de concreto reforzado, sometidos al mismo proceso de degradación.



2.- INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la construcción el uso del concreto es fundamental en muchas de las estructuras civiles, esto por su buen desempeño a solicitudes de resistencia y durabilidad. Sin embargo, es en este último aspecto en el que muchas veces no se tiene el cuidado o conocimiento necesario para garantizar el buen desempeño de la estructura. Se sabe que este material soporta de manera satisfactoria esfuerzos a compresión, pero su capacidad de resistir esfuerzos a tensión es menor, aproximadamente del 8 al 12% la resistencia a la compresión (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004), es por ello que la combinación con acero de refuerzo es fundamental para lograr una mayor aplicación de ambos materiales en la industria de la construcción.

La combinación de ambos materiales, acero y concreto, otorga una protección por parte del concreto al acero, esto debido al pH propio del concreto que es fuertemente alcalino (de 12.5 a 13), y que genera una capa pasivante que rodea al acero embebido en el concreto (González Fernández & Miranda Vidales, 2007). Sin embargo una vez que se pierde esta ambiente pasivo, ya sea por la presencia de cloruros o sulfatos en el ambiente o en la misma mezcla, se da paso al proceso de corrosión en el acero.

El costo de la corrosión en una obra civil, y hasta en la economía de un país es significativo, de acuerdo a González-Fernández y Miranda-Vidales (2007) las pérdidas anuales causadas por corrosión pueden girar en torno al 3.5% del producto interno bruto (PIB) de un país industrializado, Pancorbo (2013) menciona que se considera que entre un 25 y un 30% de la producción mundial de hierro es destruido anualmente por la corrosión, por ello la importancia de estudiar el fenómeno de la corrosión como una manera de mejorar la calidad y la economía de cualquier obra civil que requiera del uso del concreto con refuerzo.

Una vez que comienza el proceso de corrosión el acero comienza a experimentar cambios en su volumen, incrementándose y generando esfuerzos internos en el concreto.



Debido a estos esfuerzos comienzan a aparecer grietas internas en el concreto, las cuales, con el paso del tiempo, llegan a generar manchas de óxido en el concreto. La aparición de estas grietas ocasiona la reducción de la capacidad portante del elemento.

Es aquí donde esta investigación se centra, en conocer qué tanto puede llegar a afectar la presencia de grietas ocasionadas por corrosión en el concreto, tomando como referencia lo hecho en otras investigaciones, como la hecha por Torres-Acosta y Martínez Madrid (2003), con la gran diferencia de que en dichas investigación se consideraron elementos de concreto reforzado y no de presfuerzo, de ahí la importancia de conocer si existe una diferencia entre uno y otro, o si la precarga no afecta al proceso de corrosión y degradación del elemento.

En este trabajo se presenta la experimentación realizada a elementos de concreto presforzado, a los que se les aplicó corriente galvánica mediante el uso de un galvanostato, el cual permite que la aplicación de corriente se mantenga constante. Esto con la intención de acelerar el proceso corrosión y poder así medir la velocidad con la que se corroe el acero, y el cómo se ve afectado el desempeño mecánico y físico del elemento. Además de relacionar la aparición de grietas con la capacidad portante de las vigas, es decir, cómo es que su ancho o largo afectan al desempeño del concreto presforzado.



3.- MARCO TEÓRICO

3.1 Concreto

De manera general, el concreto se define como el producto o la masa elaborada mediante el uso de un material cementicio. La mezcla de concreto, por lo general, es el producto de la reacción que hay entre el cemento hidráulico y el agua (Neville & Brooks, 2010). Por otra parte, Kosmatka et al (2004) definen al concreto como una mezcla de básicamente dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une a los agregados, normalmente arena y grava, creando una masa similar a la roca. En ocasiones, cada vez más comunes en la práctica de la ingeniería civil, se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos o adicionantes, que modifican las propiedades del concreto (González Cuevas & Robles Fernández-Villegas, 2008).

Desde el momento en que el hombre dejó de ser nómada, debido al desarrollo de sus habilidades domesticando animales y cultivando cereales, la necesidad de construir estructuras que le permitieran permanecer a salvo de los fenómenos naturales y de las amenazas de otros depredadores, se hizo evidente. El ser humano ha incursionado en la búsqueda de materiales que permitan la construcción de estructuras que brinden dicha seguridad, de los cuales se han utilizado desde hojas, ramas, piedras, tierra e incluso nieve compactada (Aïtcin, 2008). Sin embargo, con el paso del tiempo el hombre se ha visto en la necesidad de encontrar materiales que sean más durables y que además brinden no solo seguridad sino confort. Es por ello que el desarrollo del concreto marcó un cambio radical en la forma de vida de la civilización humana.

Aïtcin (2008) menciona que un gran paso para nuestros ancestros fue descubrir que ciertos materiales podían reaccionar con el limo a temperatura ambiente para crear materiales sólidos, los cuales endurecían si estaban en contacto con el agua.

El concreto como tal fue usado por primera vez en Roma aproximadamente el año 300 A. C. (Harmsen, 2005). De acuerdo a este autor, el concreto estaba constituido por agregados unidos mediante un aglomerante, el cual estaba conformado por una mezcla de cal



y ceniza volcánica. El material resultante tenía la capacidad de ser sumergido en agua y conservar sus propiedades en contraste con los morteros de cal utilizados en aquella época.

Harmsen (2005) menciona que el primer registro que se tiene del uso del concreto en los tiempos modernos, se remonta 1760 cuando el inglés John Smeaton, descubrió mientras proyectaba el faro Eddystone, que una mezcla de caliza calcinada y arcilla daba lugar a un conglomerante hidráulico resistente al agua. Años después, en 1824, el británico Joseph Aspin elaboró cemento mezclando arcilla y caliza de diferentes canteras y calentándolas en el horno. Se le llamó cemento Portland debido a la semejanza que éste guarda con semejanzas con las piedras propias de la isla de Portland, al sur de Inglaterra. Cuando esta mezcla era calentada en exceso se endurecía, y se consideraba desecho. Sin embargo, en 1845, I. C. Johnson descubrió que el mejor cemento provenía de la pulverización de la pulverización de esta sustancia desechada denominada clinker. Lo que dio paso al cemento que conocemos hoy en día.

Un buen concreto debe cumplir satisfactoriamente en cualquiera de sus dos estados: fresco y endurecido. En el estado fresco se debe considerar que la consistencia de la mezcla garantice una buena compactación del mismo en la obra en la que se vaya a utilizar, además de tener una buena cohesión que permita su transporte y colocación evitando en la medida de lo posible la segregación de la mezcla. Por otro lado, cuando se habla de concreto endurecido, el principal objetivo que se pretende alcanzar es una óptima resistencia a la compresión, sin embargo, existen otras características que de igual manera deben de cumplir con las especificaciones requeridas, tales como: durabilidad, permeabilidad, densidad, resistencia a la abrasión, resistencia a la tensión, resistencia al ataque por sulfatos, resistencia, resistividad, velocidad de pulso ultrasónico, resonancia magnética, entre otras.

3.1.1 Ventajas y desventajas del concreto hidráulico

El concreto hidráulico es uno de los materiales más utilizados en la construcción, a continuación se presentan ventajas y desventajas descritas por Harmsen (2005) y Gambhir (2004) en la utilización de este material en la construcción.



Ventajas:

- Es durable a lo largo del tiempo y no requiere de una gran inversión para su mantenimiento. Tiene una vida útil extensa.
- Tiene gran resistencia a la compresión en comparación con otros materiales.
- Es económico a largo plazo comparado con otros materiales utilizados en la construcción. Pueden ser utilizados agregados pétreos que se encuentran en la zona.
- Es resistente al efecto del agua.
- Se le puede dar la forma que uno desee haciendo uso del encofrado adecuado. Además la cimbra que se utiliza puede ser reutilizada varias veces, por lo que su uso resulta económico.
- Es durable, resistente al fuego y requiere menor mantenimiento.
- Le confiere un carácter monolítico a sus estructuras lo que les permite resistir más eficientemente las cargas laterales de viento o sismo.
- El concreto puede ser rociado o utilizado como relleno en grietas finas para procesos de reparación.
- Por su gran peso propio, la influencia de las variaciones de cargas móviles es menor.

Desventajas:

- El concreto tiene una baja resistencia a la tensión, y por lo tanto puede llegar a presentar grietas fácilmente. Por lo que se refuerza con varillas de acero, mallas o fibras.
- El concreto fresco se contrae con el secado, mientras que el concreto endurecido se expande con la humedad.
- El concreto se expande y se contrae con los cambios de temperatura. Esta expansión propicia la utilización de juntas de expansión, las cuales evitan la formación de grietas ocasionadas por el movimiento térmico.
- El concreto no es completamente impermeable a la humedad y los contenidos de solubles de sales, las cuales pueden causar eflorescencia.
- El concreto está expuesto a la desintegración por ataques de sulfatos y álcali.



- La falta de ductilidad inherente del concreto es una desventaja con respecto al diseño de resistencia sísmica.

3.1.2 Cemento

3.1.3 Composición química del cemento

La composición química del cemento está dada en términos de contenido de óxidos. Se suelen considerar cuatro compuestos como los componentes principales del cemento, los cuales se presentan a continuación:

- | | | |
|-------------------|--------------------------------|-----|
| • Óxido de calcio | CaO | (C) |
| • Sílice | SiO ₂ | (S) |
| • Alúmina | Al ₂ O ₃ | (A) |
| • Óxido de hierro | Fe ₂ O ₃ | (F) |

El cemento Portland presenta 4 fases principales:

- Alita (silicato tricálcico)
- Belita (silicato dicálcico)
- Celita (Aluminato tricálcico)
- Ferrita (aluminoferrita tetracálcica)

Las características de desarrollo de la resistencia del cemento dependen principalmente de la alita y la belita, las cuales constituyen alrededor del 75% del cemento. La alita (C₃S) endurece con rapidez y tiene una influencia importante sobre el tiempo de fraguado y a la resistencia temprana. Por otra parte la belita (C₂S) reacciona lentamente con el agua y durante los primeros 28 días contribuye poco a la resistencia mecánica y lo hace substancialmente en etapas posteriores. La celita (C₃A) por el contrario, reacciona rápidamente con el agua y puede causar fraguado rápido, indeseable a menos que se emplee un agente como el yeso.



Por último, la ferrita (C_4AF) reacciona con velocidad variable, probablemente en función de la composición química.

3.1.4 Tipos de cemento

En México hay seis tipos de cemento, según la norma NMX-C-414-ONNCCE-2010, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 3.1. Tipos de cemento.

Tipo	Descripción
CPO	Cemento Portland Ordinario, el cual puede tener hasta 5% de adición de materiales tales como escoria, puzolanas, humo de sílice o caliza.
CPP	Cemento Portland Pozolánico, que posee del 6% al 50% de material puzolánico, con relación a la masa total de cemento.
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno, el cual tiene del 6% al 60% de escoria.
CPC	Cemento Portland Compuesto, se compone de clínker, yeso y dos o más adiciones. Las adiciones pueden componer del 6% al 35% de escoria, del 6% al 35% de material puzolánico, del 1% al 10% de humo de sílice y del 6% al 35% de caliza. Independientemente del tipo y cantidad de material adicionado, la cantidad de clínker e yeso debe ser del 50% al 94%.
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice, que recibe del 1% al 10% de humo de sílice.
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno, el cual tiene una cantidad de escoria que varía del 61% al 80%.



Además, estos cementos pueden presentar características especiales, tales como:

- RS. Resistente a los Sulfatos.
- BRA. Baja Reactividad Álcali agregado.
- BCH. Bajo Calor de Hidratación.
- B. Blanco.

Esta norma también clasifica a los cementos por su resistencia a la compresión.

Tabla 3.2. Clasificación de los cementos por su resistencia a la compresión

Tipo	Descripción
20	Presentan una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de edad de 20 MPa.
30	Presenta una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de edad de 30 MPa.
30 R	Presenta una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de edad de 30 MPa., y debe presentar una resistencia a compresión de 20 MPa a los 3 días de edad.
40	Presentan una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de edad de 40 MPa.
40 R	Presenta una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de edad de 40 MPa., y debe presentar una resistencia a compresión de 30 MPa a los 3 días de edad.

Los cementos se designan por uno de los 6 tipos de cementos, seguido por la clase de resistencia y por la característica especial.



3.1.5 Relación agua/cemento

La relación agua-cemento es la relación que hay entre la cantidad de agua y la cantidad de cemento en el proporcionamiento de una mezcla de concreto. Es por ello que cuando se habla de una relación agua-cemento baja, ésta tiene la característica de contar con una mayor cantidad de cemento.

A continuación, en la tabla 3.3, se presenta la dependencia entre la relación agua/cemento y la relación a la compresión del concreto que propone el ACI (American Concrete Institute) en su criterio del diseño de mezclas.

Tabla 3.3. Dependencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto, ACI.

Relación agua/cemento por masa		
Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm ²	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	--
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

3.2 Concreto reforzado

El concreto reforzado es un material compuesto por dos elementos: concreto y acero bajo en carbono. En donde el acero no ha sido sometido a tensiones previas, en donde el peso del concreto, y las cargas de la propia estructura desarrollan esfuerzos de tracción (González Fernández & Miranda Vidales, 2007).

La idea principal al momento de utilizar concreto reforzado es que el acero provee a la estructura un complemento en la capacidad de soportar esfuerzos a flexión, como sabemos,



el concreto es un material que tiene un gran desempeño soportando esfuerzos a compresión, sin embargo, su capacidad de soportar esfuerzos a flexión está en el rango de 1.99 a 2.65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetro cuadrado (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004). Esto hace necesario que el concreto se complemente con otro material, en este caso el acero, el cual permite al elemento hecho de concreto reforzado tener un rango más amplio de resistencia a la flexión y con ello una mayor rango de deformación.

3.3 Concreto presforzado

El concreto presforzado es aquel cuyos componentes son concreto y acero de alta resistencia que es tensionado intencionalmente para compensar los esfuerzos provocados por el peso del concreto y las cargas propias de la estructura (Figura 3.1). Se divide en: concreto pretensado, en el que el acero es puesto en tensión antes de la colada del concreto, permitiendo el relajamiento del acero después del fraguado final del concreto; y el concreto postensado, en el que el refuerzo del acero es puesto en tensión después del fraguado final del concreto (González Fernández & Miranda Vidales, 2007).



Figura 3.1. Proceso de pretensado en el acero de refuerzo.



3.4 Durabilidad del concreto

El concreto se proyecta en las estructuras civiles con la intención de que permanezca estable a lo largo del tiempo. Sin embargo, la constitución misma del concreto hace que contenga poros, algunos de ellos conectados entre sí, que afectan de manera crítica en su durabilidad, esto debido a la oportunidad que brindan estos poros al paso de agentes externos de penetrar por capilaridad o difusión. A continuación se presenta la tabla 3.1, extraída de González Fernández & Miranda Vidales (2007), donde se presentan los principales factores físico – químicos que limitan la durabilidad del concreto.

Tabla 3.4. Principales factores físico-químicos que limitan la durabilidad del concreto.

FCTORES DE DETERIORO	FENÓMENOS QUE PRODUCEN	MEDIDAS CORRECTORAS
Factores físicos Ciclos de hielo-deshielo	Los efectos destructores de los ciclos hielo-deshielo en el hormigón se conocen desde hace muchos años y deben su importancia a la escasa resistencia a la tracción de este material de construcción.	La correcta utilización de aditivos inclusores de aire ha reducido grandemente la frecuencia y severidad de los daños producidos por los ciclos de hielo-deshielo.
Ciclos térmicos y de humedad	Los cambios drásticos en temperatura y humedad producen variaciones de volumen que pueden fisurar el concreto	
Factores químicos Iones sulfatos	Los medios con iones sulfato, como el agua de mar, reaccionan con el A3C para dar ettringita o sal de Canlot, incluso después del fraguado, con aumento de volumen y fractura del concreto.	Utilización de cementos P .A.S (Portland antisulfatos). Existen dos caminos: las adiciones de Fe_2O_3 para consumir el Al_2O_3 como AF4C y las adiciones de yeso para consumirlo durante el fraguado formando sal de Candlot.
Medios ácidos: CO ₂ SO ₂	Debido a la alcalinidad de los cementos, el concreto reacciona con la mayoría de los medios ácidos como el CO ₂ , el SO ₂ , los ácidos minerales, etc. El CO ₂	Reducir al máximo la penetrabilidad del concreto con bajas relaciones agua/cemento, buena compactación y una



	reacciona con mucha facilidad para dar CaCO_3 obturando los poros del hormigón, resultando beneficioso para éste pero perjudicial para las armaduras, cuando el frente de carbonatación penetra hasta ellas.	hidratación o curado correctos, etc. Empleo de elevadas dosificaciones en cemento.
Reacciones expansivas Presencia de MgO	Una proporción excesiva de MgO inicialmente, a causa de su hidratación lentísima y expansiva, puede ir desmoronando el concreto. La presencia de MgO en el medio, una vez endurecido el hormigón, puede causar problemas similares al reaccionar con el agua de los poros.	Evitar un exceso de MgO en las materias primas.
Corrosión de las armaduras	Provocada esencialmente por la presencia de cloruros, o por la carbonatación del concreto. Es la causa principal del deterioro de las estructuras de concreto reforzado y se estudia, desde distintos enfoques, en todos los temas siguientes.	



3.5 Corrosión

La Real Academia de la Lengua Española (REA) define a la corrosión como: *“el desgaste paulatino de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma”*.

Esta definición es muy clara, pero obviamente es muy general, para entender lo que es la corrosión y los efectos que esta causa en los metales hay que estudiar los factores que influyen en este proceso. Pancorbo (2013) amplía la definición mencionando que dicho desgaste puede darse en cualquiera de los siguientes medios: físico (fricción, abrasión, erosión, cavitación, agrietamiento), químico (por la acción directa del oxígeno o sustancias oxidantes) o electroquímico (por efectos de la pila galvánica, corrientes vagabundas, etc.).

Cuando un metal se corroe lo que está tratando de hacer es llegar a un estado de equilibrio termodinámico, en la naturaleza los metales se encuentra oxidados ya que alcanzan gran estabilidad.

González & Vidales (2007) mencionan que además de la necesidad de los metales de estar en equilibrio, otros puntos importantes a mencionar es que la corrosión se inicia siempre en la superficie y que a temperatura ambiente o moderada la corrosión presente es de naturaleza electroquímica, lo cual ocasiona la formación y movimiento de partículas con carga eléctrica.

3.6 Morfotipos de la corrosión

De acuerdo con Pancorbo (2013), se puede hacer una clasificación de los procesos de corrosión haciendo uso de diversos criterios, a continuación se mencionan algunos:

Por la naturaleza de la sustancia corrosiva. En esta clasificación se encuentra la corrosión húmeda y la seca, en la se requiere de un líquido o humedad, mientras que en la segunda, las reacciones se llevan a cabo con gases a altas temperaturas.

La corrosión húmeda es la que se da en la mayoría de los casos. Existe electroquímica cuando el metal se encuentra en contacto con medios de conductividad



electrolítica. En especial con el agua, disoluciones salinas o la humedad de la atmósfera y de los suelos.

Corrosión seca. Cuando el metal se encuentra en un medio con altas temperaturas no es posible la presencia de alguna película líquida conductora. Por lo que la reacción ocurre entre el metal y un gas agresivo que normalmente es oxígeno.

Por los mecanismos de corrosión. Los cuales comprenden las reacciones químicas, las reacciones electroquímicas y las microbiológicas.

Corrosión química. Se da cuando el metal reacciona con medio no iónico.

Corrosión electroquímica. Si ésta se considera desde el punto de vista de la participación de iones metálicos, todos los procesos son de corrosión electroquímica. Sin embargo, es común designar a la corrosión electroquímica a la que implica un transporte simultáneo de electricidad a través de un electrolito.

Corrosión precoz. Está ocurre después de que un recubrimiento de pintura ha secado al tacto, dándose simultáneamente las siguientes condiciones:

- a) Una delgada película de pintura (espesor < 40 mm).
- b) Un sustrato a baja temperatura.
- c) Alta humedad ambiente

Corrosión por huella digital. Esta se presenta por el manejo manual del material debido a la impregnación dactilar sobre las superficies de las piezas metálicas. Esto es más común en personas que tiene condiciones ácidas en la piel o en piezas con acabados muy finos.

Corrosión por pila geológica o diferencias de composición del medio. Se da en el caso de elementos metálicos con suelos de composición o permeabilidad variable. Cuando un tubo



o material metálico atraviesa un electrolito no homogéneo se produce una diferencia de potencial en el mismo entre una zona y otra.

Corrosión - erosión. Cuando se está en presencia de un flujo, generalmente en régimen turbulento, que se encuentra sobre una superficie metálica, éste aumenta la velocidad de corrosión hasta alcanzar un límite máximo debido al desgaste mecánico. El papel de la erosión se atribuye generalmente al desprendimiento de películas superficiales protectoras, por ejemplo las películas formadas por el óxido generado por el aire o los productos adherentes de la corrosión.

Corrosión por corrientes vagabundas. Se da generalmente por la descarga a tierra de corrientes continuas dispersas existentes en algunas zonas y generadas por instalaciones de cubas electrolíticas, ferrocarriles o tranvías eléctricos, soldadores eléctricos, etc.

Corrosión microbiológica. Se produce por la actuación de organismos microbianos (hongos, bacterias y otros microorganismos), ya sea porque estos fabriquen sustancias agresivas, tales como protones o iones sulfuro o porque actúan como catalizadores de las reacciones de corrosión.

Por la apariencia del metal corroído. Cuando la corrosión se da de manera uniforme el metal se corroe a la misma velocidad por toda su superficie, mientras que cuando se presenta de manera localizada solamente resultan afectadas pequeñas áreas. A continuación se describe brevemente estos dos conceptos de manera breve y se comentaran más a detalle más adelante en este mismo capítulo.

Ataque generalizado o uniforme. Es la forma más común de corrosión, y se caracteriza por el adelgazamiento progresivo y uniforme del componente metálico. Como es de carácter generalizado, la pérdida de masa será muy parecida en toda la superficie del elemento.



Corrosión atmosférica. Se calcula que más de 80% del material metálico está expuesto a la atmósfera, donde existe una capa de humedad que actúa como electrolito, generando, por lo tanto, una corrosión de carácter electroquímico.

Ataque selectivo o localizado. Se da en una zona muy específica de la superficie del metal, ocasionando la aparición de picaduras o perforaciones aisladas. Se puede dar en dos formas: corrosión por aireación diferencial y corrosión bimetálica o ataque galvánico. Tiene la característica de que el metal más reactivo presenta una disolución más acelerada.

Corrosión en placas. En este caso la corrosión se extiende en algunas zonas, pero se presenta más como un ataque general.

El ataque en hendiduras. Aquí la corrosión se concentra en huecos, y en cualquier lugar donde haya una discontinuidad geométrica, lo cual influye en la disponibilidad del agente corroyente.

Corrosión por aireación diferencial. Se produce en aquellos lugares que favorezcan la acumulación puntual de agua/humedad en los ambientes secos o de aire o en los medios sumergidos, también puede presentarse en el interior de conductos por la obstrucción o las alteraciones del flujo, que pueden generar zonas más aireadas dentro de la propia tubería.

Socavamiento anódico. Este tipo de corrosión se da en las películas de pintura y en donde la reacción anódica es la causa principal de la delaminación o despegue del recubrimiento.

Ataque por picadura de punto o pitting. Es un caso límite de ataque localizado, donde la corrosión se concentra en un punto muy pequeño. Se presenta en forma de perforaciones en zonas relativamente no atacadas, y se desarrolla de tal manera que su ancho es comparativamente menor que su profundidad.



Corrosión filiforme. Es una forma de ataque en la cual el proceso de corrosión se manifiesta formando filamentos y representa un tipo particular de socavamiento anódico.

Corrosión por nidos de hormiga. También se conoce como corrosión por ácido fórmico, tiene lugar en tubos de cobre utilizados en sistemas de aire acondicionado, ocasionando la pérdida de líquido refrigerante y la consecuente contaminación ambiental.

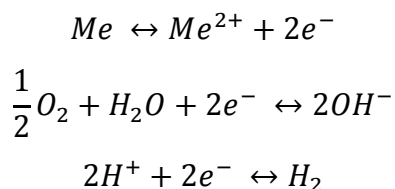
Corrosión por fricción o fretting. Se produce por el pequeño movimiento de dos sustancias en contacto, de las cuales una o ambas son metales. El movimiento genera una serie de picaduras en la superficie de metal, que son ocultas por los productos de la corrosión y sólo son visibles cuando éstos son eliminados.

Corrosión por cavitación. Se produce por la formación y colapso de burbujas en la superficie del metal (en contacto con un líquido).

Corrosión selectiva de las aleaciones. Se produce en aleaciones polifásicas, al efectuarse la separación de uno de los elementos de una aleación.

3.7 Corrosión electroquímica

En la corrosión electroquímica existen dos reacciones parciales, las cuales se dan en dos lugares diferentes dentro del elemento metálico: ánodos y cátodos locales (González Fernández & Miranda Vidales, 2007). Las semirreacciones parciales se pueden formular como sigue:





En la primera reacción se presenta el proceso parcial anódico, de oxidación, o mejor dicho de corrosión. Lo que ocurre es que el elemento pasa de ser un material en estado metálico, a un estado iónico, con lo cual adquiere características que no son aprovechables, en la construcción. En la segunda y tercer reacción se presenta el proceso catódico, las cuales son necesarias para mantener la electroneutralidad de la materia, consumiendo los electrones liberados en la primera reacción. A estos procesos se les conoce como procesos de reducción, que son opuestos a los de oxidación (González Fernández & Miranda Vidales, 2007).

De acuerdo con Pancorbo (2013), cuando existen dos metales distintos sumergidos en una disolución sumergida se genera una corriente eléctrica, ya que existe una diferencia de potenciales electroquímicos de ambos metales. Las cargas se transportan a través del líquido (electrolito), lo cual conlleva el movimiento de aniones y cationes que la transportan hacia el ánodo y el cátodo, respectivamente. La zona que es corroída es aquella del metal con mayor tendencia a la disolución (zona anódica), esto debido a que los átomos metálicos dejan sus electrones en el seno del metal, pasando a la solución como ion positivo. Por otro lado, en la superficie del metal que tiene una tendencia termodinámica menor a la disolución (zona catódica) permanece inmune al ataque.

En una celda electroquímica son necesarias básicamente dos condiciones. El ánodo y el cátodo deben estar presentes para formar una pila y una corriente continua debe circular. Ánodos y cátodos pueden estar juntos (pilas locales) o pueden estar separados. La corriente puede ser producida por la misma pila o puede ser aplicada al sistema a partir de una fuente exterior (Pancorbo Floristán, 2013).

Ánodo. Es la superficie donde se produce la corrosión y donde la corriente abandona al metal y penetra en la solución.

Cátodo. Superficie donde penetra la corriente a partir de la solución, por lo que no se lleva a cabo la corrosión

Electrolito. Sustancia a través de la cual las cargas eléctricas son transportadas por un flujo de iones.



En siguiente figura se observan los componentes de una celda electrolítica.

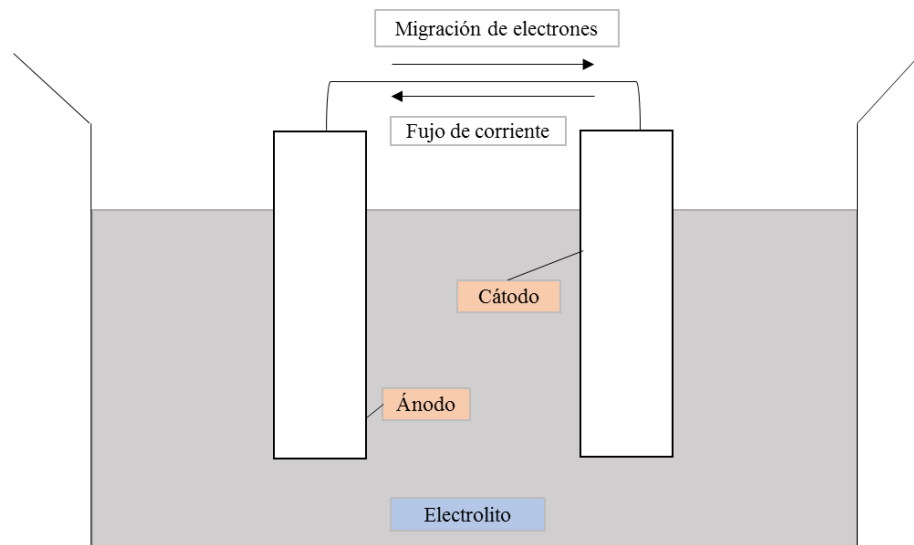


Figura 3.2. Componentes de una celda electroquímica.

3.7.1 La función del concreto en la celda electrolítica

Una vez entendido el concepto de celda electroquímica es necesario trasladar ese sistema al medio que se forma en un concreto reforzado. El concreto funciona como electrolito ya que es un medio que contiene poros en su estructura, los cuales tienen, parcialmente, fases acuosas con las cuales se asegura la conductividad eléctrica. Por lo tanto se entiende que a mayor cantidad de poros y mayor grado de saturación de los mismos, aumentará la conductividad. Es importante mencionar que en un concreto la presencia de poros es inevitable, por lo que el flujo de electrones también, por lo tanto siempre existe la posibilidad de la formación de pilas de corrosión, y con ello el movimiento de iones en los ánodos y cátodos locales.

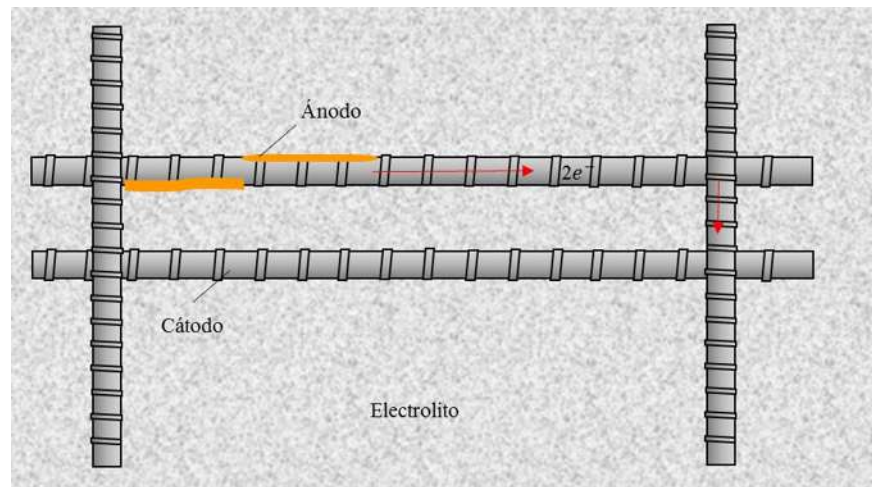


Figura 3.3. Función del concreto dentro de la celda electrolítica.

3.7.2 Mecanismo de transporte

De acuerdo con Böhni (2000), el transporte de gases (O_2 , CO_2), agua e iones (Cl^-) se presenta únicamente en la presencia de grietas, y sistemas de poros. El transporte se lleva a cabo mediante fuerzas capilares, gradientes de presión (gases, agua) o de concentración (iones), diferencia de presión absoluta (agua, gases) y migración (Figura 3.3).

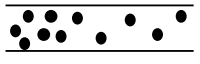
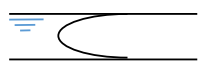
Proceso de Transporte en el Concreto		
Tipo	Fuerza de transporte	Poros
Difusión (gases e iones)	 gradiente de concentración Diferencia parcial de presión	Llenos con aire o agua
Succión capilar (líquidos)	 Tensión superficial	Llenos con aire o agua
Penetración (gases y líquidos)	 Diferencia de Presión absoluta	Llenos con aire o agua

Figura 3.4. Proceso de transporte en el concreto (Böhni, 2000)



Los parámetros característicos de este proceso de transporte son la succión de agua y la penetración, difusión y coeficiente de permeabilidad y la movilidad iónica. Sin embargo aunque el coeficiente del proceso de transporte no depende del todo de la estructura del poro, hay algunas relaciones entre los diferentes coeficientes.

3.8 Tipos de corrosión en estructuras de concreto reforzado

La Red DURAR (1998), menciona que hay diferentes tipos de corrosión que se pueden presentar en el concreto armado. A continuación se presentan los tipos considerados en dicho manual:

a) Corrosión localizada.

a.1 Corrosión por picaduras.

Son aquellas que se forman por la disolución localizada de la película pasiva, generalmente son el resultado del ingreso de iones cloruro al medio, ya sea que fueron adquiridos al estar presentes en el medio exterior o en la misma mezcla del concreto. En este caso la celda de corrosión se forma donde existe un área pasiva intacta, la cual actúa como cátodo en donde se reduce el oxígeno, mientras que existe una pequeña área en donde se pierde la película, actuando como ánodo, en la cual ocurre la disolución del acero. Una característica importante de las picaduras es que son autocatalíticas, es decir, generan las condiciones necesarias y suficientes para su continuo crecimiento.

En el ánodo se produce ácido, debido a que los iones cloruro favorecen la hidrólisis del Fe en agua para formar H^+ y Cl^- libre. Esto decrece el pH localmente y los iones cloruro permanecen en el medio para seguir interviniendo en el proceso de corrosión, agravando el problema (Red DURAR, 1998).



a.2 Corrosión en Espacios Confinados.

Se presenta cuando el oxígeno no alcanza a circular de manera continua sobre la superficie del metal, con ello se generan celdas diferenciales de oxígeno, las cuales dan lugar al proceso de corrosión en el acero de refuerzo. Algunas situaciones que inducen este tipo de daño son:

- Inyección de grietas (estructurales o por corrosión) con material epóxico, donde ya el medio agresivo ha llegado al acero de refuerzo, presentándose en esta zona un proceso acelerado de corrosión debida a la falta de oxígeno.
- Colocación de revestimientos en el acero de refuerzo, en donde el uso de epóxicos afecta en el momento en el que éstos pierden adherencia con el acero.
- La presencia de iones cloruro en el concreto, debido a su acumulación en el espacio entre resultante entre el acero y el recubrimiento. Debido a esto el pH presente en este espacio disminuye y el proceso de corrosión se incrementa causado por un proceso autocatalítico, parecido al que se presenta en el fenómeno de picadura, ocasionando pérdida de adherencia.

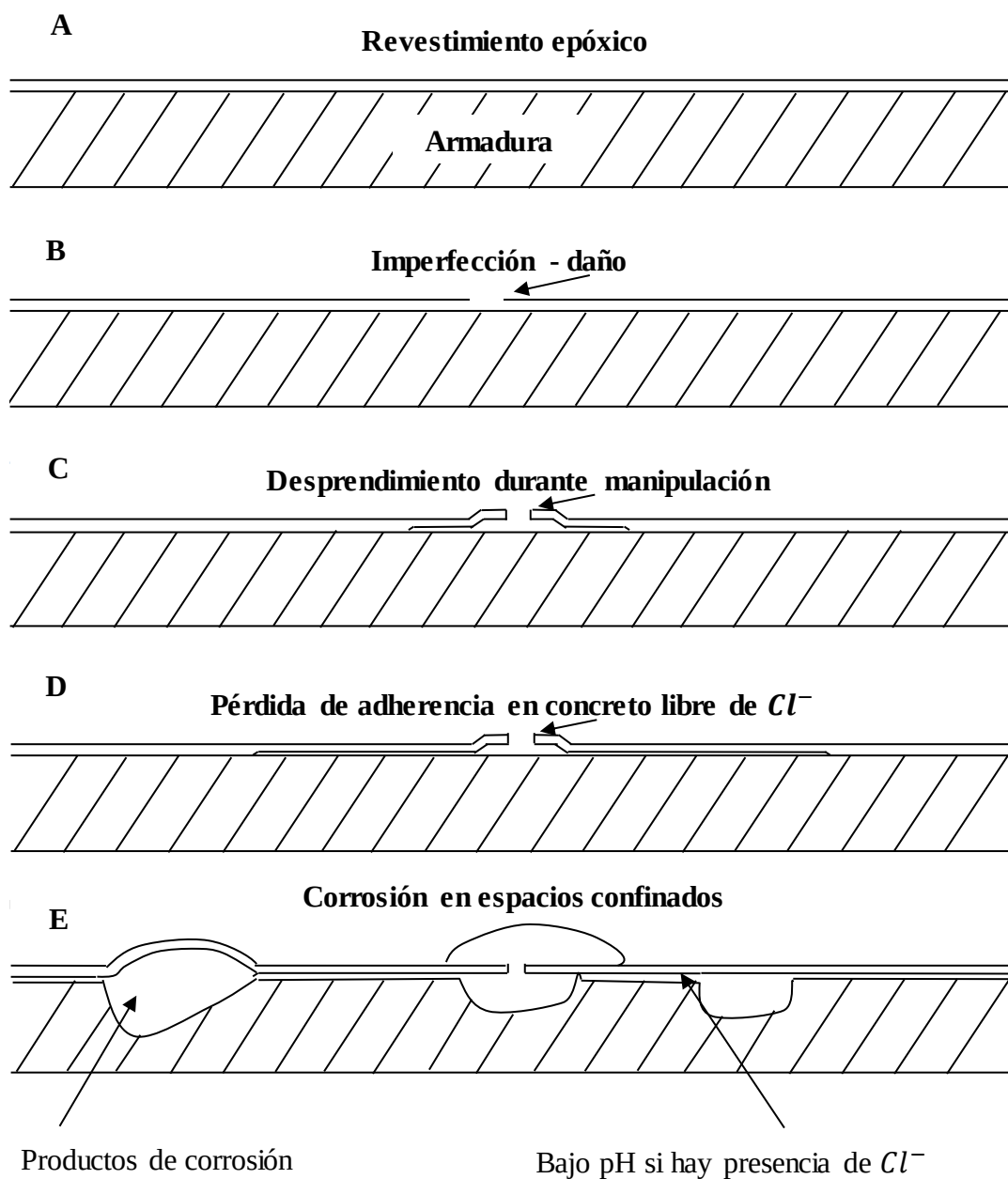


Figura 3.5. Resumen de Etapas en el Mecanismo de Corrosión por Espacios Confinados (armaduras con epoxi)(Red DURAR, 1998).



a.3 Corrosión bajo tensión.

Ocurre cuando se dan al mismo tiempo esfuerzos de tracción sobre el acero y un medio agresivo. Esto pasa preferencialmente en concreto pre- o postensado, donde se utilizan aceros de alta resistencia debido, en general, a la presencia de hidrógeno atómico difundido a través de metal. El hidrógeno puede ser introducido al sistema de diferentes maneras: corrosión del acero, protección catódica, etc. Este fenómeno está asociado principalmente a la mala calidad del concreto, y la presencia de algunos iones introducidos mediante la utilización de aditivos específicos, o bien el uso de acero templado y revenido.

Para poder ser observado este tipo de daño es necesario hacer uso de la observación microscópica de la superficie de fractura. Es muy importante el cuidado que se tenga con este tipo de corrosión ya que el daño que se genera es del tipo catastrófico, ya que está asociado a una pérdida de ductilidad y a la fractura de la armadura.

a.4 Corrosión por corrientes de interferencia.

También llamadas corrientes vagabundas, erráticas o de fuga, son aquellas que viajan a través del sistema de la estructura, pero no forman parte del circuito eléctrico / celda electroquímica específica. Para que este tipo de corrosión de presente debe existir un intercambio de corriente entre una estructura metálica y un medio electrolítico. Por su parte, la corriente que tiene un efecto mayor sobre este tipo de corrosiones aquella de tipo continua, ya que fluye continuamente en un solo sentido. Mientras que la corriente alterna puede causar un efecto menos grave.

Dentro de éstas las más comunes son aquellas cuyas fuentes de corriente son sistemas de protección catódica, las cuales trabaja cerca de las estructuras de concreto reforzado, sobre todo en medio en las cuales la resistividad presente es baja, un ejemplo de esto es el agua salobre, sistemas con potencia eléctrica, como los trenes eléctricos; máquinas de soldar, donde la estructura conectada a tierra se encuentra a cierta distancia de los electrodos de soldar, corrientes telúricas (asociadas a la actividad solar y al campo magnético de la tierra). Las corrientes que fluyen por el electrolito, independientemente de la fuente, representan la diferencia de voltaje. Cuando en este intercambio de voltaje existe una estructura de concreto reforzada con acero, la entrada de corriente actuaría como cátodo, y la salida sería la zona anódica, siendo esta la causante de la disolución del metal, corroyéndolo.



Cabe mencionar que si el acero embebido en el concreto está en estado pasivo y no contaminado de cloruros, la corriente de interferencia no produciría la corrosión de acero. Por otro lado, si el concreto tiene cloruros, el proceso de corrosión se aceleraría de manera significativa.

b) Corrosión Uniforme / Generalizada

Ésta se presenta como resultado de la presencia de carbonatación o el exceso de iones cloruro en el concreto, así como por la lixiviación producida por la percolación y/o lavado por aguas puras o ligeramente ácidas.

a) Corrosión galvánica

La corrosión galvánica se presenta cuando en el medio electrolítico existen dos metales diferentes. Cuando el acero se encuentra en un medio como el concreto, en el cual se tendrán dos situaciones diferentes de condición del acero en el mismo elemento, una en la éste se dañe o no se forma la película pasiva y otra en la que si lo haga. La zona dañada actuará como ánodo, mientras que el resto del acero lo hará como cátodo.

3.9 Factores que desencadenan la corrosión en estructuras de concreto reforzado

En elementos de concreto reforzado, el acero es protegido por la acción pasivante generada por el alto grado de alcalinidad del medio, provisto por los productos solubles de la hidratación del cemento. Por lo general el pH del concreto se encuentra en el rango de 12.5-13.5 (Torres Acosta A. A., 1999).

González y Miranda (2007), mencionan que existen tres formas de proteger al acero, dejando de lado la opción de aislarlo del medio con recubrimientos adecuados, las cuales se presentan a continuación:

- a) Reduciendo su potencial hasta introducirlo en la zona de inmunidad, lo que constituye el fundamento de la protección catódica.
- b) Elevando su potencial hasta la zona de pasivación (protección anódica).



- c) Aumentando el pH de la solución hasta alcanzar el estado pasivo.

Al hablar de corrosión en acero embebido en concreto existen varios casos especiales en los cuales la condición pasiva del concreto cambia a un estado activo. González y Miranda (2007), mencionan que para que este proceso se presente se requieren ciertos requisitos esenciales:

- 1) *La presencia de iones despasivantes, cloruros en la inmensa mayoría de los casos, en cantidad suficiente para romper localmente la película pasivante del acero.*
- 2) *La carbonatación del concreto, lo cual lleva a una disminución en el pH del mismo hasta un punto en el que ya no es posible mantener el estado pasivo.*
- 3) *Naturalmente, la combinación de ambos factores.*

Existen otros desencadenantes menores tales como:

- 4) *Pilas de pH diferencial y de aireación diferencial, debidas a coqueras, fisuras, defectos superficiales, combinación de concretos diferentes, etc.*
- 5) *Pilas galvánicas.*
- 6) *Corrientes erráticas.*

La Red DURAR (1998), indica que los actores que afectan y desencadenan la corrosión son:

3.9.1 Dosificación del concreto.

Las principales características que se buscan en el concreto es que sea resistente, sólido, compacto, sólido, homogéneo, poco poroso, con lo que pueda garantizar, además de un buen desempeño mecánico, la protección del acero de refuerzo, de las acciones agresivas de los agentes externos.



El concreto que desempeña un papel de doble protección: a) como barrera física que se opone a la penetración de los agentes agresivos externos y b) creando una capa pasivante sobre el acero, debido a su alcalinidad, que lo mantiene protegido durante un tiempo indefinido. Por esto es indispensable que se tenga un especial cuidado en la dosificación, ya que se tienen que aplicar métodos que garanticen una mínima porosidad en el concreto.

Fundamentalmente, en el concreto la pasta de cemento endurecida es la que aporta la porosidad, y es a través de ella que el agua ejerce su función de vector de transferencia de los elementos agresivos externos, por lo que la relación agua-cemento, el grado de hidratación y la cantidad de pasta son factores determinantes en la cantidad y tipos de poros en el concreto.

De acuerdo a la Red DURAR (1998), a continuación se presentan los factores que se deben considerar para garantizar la máxima compacidad en el concreto y por tanto su durabilidad.

- a) El buen proporcionamiento de los agregados pétreos, esto con la idea de tener el menor volumen de vacío que será ocupado por la pasta de cemento endurecida.
- b) La influencia que ejerce la cantidad de agua de la mezcla en la consistencia del concreto en estado fresco.
- c) La influencia de la relación agua-cemento.
- d) La influencia del grado de hidratación del cemento en la cantidad de poros del concreto endurecido.
- e) La influencia de la “característica” de los agregados pétreos que se empleen en la calidad final del concreto.
- f) La acción positiva de ciertas adiciones activas al cemento.



3.9.2 Compacidad y homogeneidad

La compacidad del concreto ayuda a entender qué tanta resistencia tiene a la penetración de los agentes agresivos externos. Ésta es inversamente proporcional a la porosidad y mientras más alta sea la primera, expresa en qué magnitud está protegido el acero de la armadura minimizando significativamente la carbonatación y el ataque de los cloruros, que son los agentes agresivos más importantes.

La compacidad se mide como la relación entre la suma de los valores absolutos de materias sólidas (grava, arena y pasta de cemento endurecida) contenida en un metro cúbico de concreto, referente al volumen aparente del mismo.

La compacidad es afectada, principalmente, por la calidad de los materiales y la adecuada proporción entre ellos. Sin embargo, se debe tener cuidado en el momento posterior a un buen proporcionamiento, ya que la compacidad puede verse afectada por un mal mezclado y un mal transporte, debido a que esto afecta la homogeneidad del concreto, propiciando la segregación de los materiales. Es indispensable que además de lo antes mencionado se tenga cuidado en el proceso de colocación y/o adecuada compactación.

Una opción lógica para tener una buena compacidad en el concreto es la de utilizar relaciones agua-cemento menores a 0.40, con ello tendremos baja porosidad y alta alcalinidad, pero de nuevo, si existe un mal curado, si se descuidan otras partes del proceso como el curado, se tendrá una mala hidratación del cemento, principalmente en la superficie del hormigón, lo cual se manifestará en un incremento de la porosidad y por lo tanto en la disminución de su resistencia a los agentes agresivos externos.

3.9.3 Espesor de recubrimiento del concreto

Para que un concreto pueda proteger de manera adecuada al acero de refuerzo hay que considerar, entre otras cosas, el espesor del mismo, ya que se busca que el recubrimiento brinde impermeabilidad a éste, que dependerá de igual manera de lo ya mencionado anteriormente (homogeneidad y compacidad).

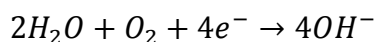
Estructuralmente se busca que el espesor sea el mínimo indispensable, ya que al no tener acero de refuerzo, esta zona puede verse afectada por fisuración, particularmente si el



elemento está sometido a esfuerzos de tracción. Es por ello que se recomienda que para lograr espesores relativamente bajos (5.0 – 7.5 cm) que ayuden a la durabilidad de la estructura, la relación agua-cemento sea baja.

3.9.4 Humedad ambiental

Para poder tener el fenómeno de corrosión en medios neutros y alcalinos es indispensable la presencia de agua, pues interviene en el proceso catódico de reducción del oxígeno:



A mayor grado de humedad mayor de corrosión y menor resistividad. Esto no sólo implica la formación de partículas con carga eléctrica, sino también su movimiento en el seno del electrolito (González Fernández & Miranda Vidales, 2007).

3.9.5 Efecto del oxígeno

Sin la presencia de oxígeno no se crean diferencias de potencial suficientes como para provocar el ciclo autocatalítico de enriquecimiento progresivo en iones H^+ y Cl^- en los resquicios, hasta alcanzar y mantener las condiciones termodinámicas adecuadas para la estabilización de iones Fe^{2+} . Es por ello que la presencia de oxígeno es indispensable en el desencadenamiento de la corrosión (González Fernández & Miranda Vidales, 2007).

3.9.6 Efecto de la temperatura

Al incrementarse la temperatura se facilita el movimiento de la moléculas facilitando el transporte de sustancias; por otro lado, su disminución puede dar lugar a condensaciones que a su vez, pueden producir incrementos locales importantes del contenido de humedad del material.



3.9.7 Estado superficial del acero

El acero que en su superficie tiene la cubierta de óxidos provenientes del proceso de conformado se presenta menos reactivo que aquél cuya superficie está libre de dicha capa. Sin embargo, la presencia de productos de oxidación producidos por la corrosión atmosférica no necesariamente demuestran igual comportamiento, siendo incluso altamente probable que de estar contaminados con agentes agresivos como el ion cloruro, se propicie la corrosión.

3.9.8 Tensiones mecánicas del acero

En aceros sometidos a grandes tensiones, como lo son los aceros pre- y postensados, no presentan problemas si el acero está exento de imperfecciones y de óxidos superficiales y si el concreto que lo rodea es de elevada calidad. Por el contrario, si la carbonación está presente en el concreto que protege al acero o existen iones despasivantes, existe un riesgo de corrosión bajo tensión. Esta corrosión se caracteriza por producir grietas no visibles, las cuales viajan con relativa rapidez hacia el interior. Cuando se alcanza una pérdida de sección crítica, el alambre se rompe de forma frágil.

3.9.9 Contacto galvánico entre dos metales

Si no hay presencia de agentes desencadenantes, el contacto de las armaduras con otros metales no suele ocasionar su corrosión. Por otro lado, debe evitarse este contacto, ya que bajo determinadas circunstancias que sitúen al acero en condiciones más favorables para la despasivación, si los otros metales lo polarizaran hacia metales más anódicos.

3.9.10 Iones despasivantes

De éstos, los cloruros son los que más afectan directamente a la pasivación del acero de refuerzo. Los iones sulfato intervienen en la degradación del concreto, lo cual puede permitir que la armadura se exponga al medio, produciendo así su corrosión (Red DURAR, 1998, pág. 36).



- a. Cloruros. Éstos provocan una disolución localizada de la capa pasiva, dando lugar a picaduras, las cuales reducen la sección de trabajo del acero, en un tiempo relativamente corto. Para que estén presentes en el concreto deben ocurrir dos cosas: a) por la presencia de éstos en materias primas (aditivos, agua, cemento o áridos), o b) porque penetren desde el exterior al estar situada la estructura en ambientes marinos o estar sometida a la acción de sales de deshielo.

Las fuentes que proveen de cloruros al concreto pueden ser varias, tanto del interior como del exterior, Pancorbo-Floristán (2013) menciona los siguientes:

- Adición $CaCl_2$ como acelerador del fraguado.
- Empleo de agua de mar en la mezcla.
- Contaminación de los agregados pétreos.
- Elementos situados en zona marítima.
- Utilización de sales de deshielo.
- Estructuras en contacto con productos químicos.

El cloruro puede presentarse en varios estados:

- Cloruro libre. Es aquel que se encuentra disuelto en el agua que existe en los poros del concreto. Por lo que puede desplazarse a través del concreto.
- Cloruro combinado. Es el que se encuentra unido a las fases sólidas del concreto, por lo que su movilidad dentro del sistema es nulo.
- Cloruro total. Es la suma de todos los cloruros presentes en el concreto, libres y combinados.

- b. Sulfatos. *Estos están presentes en suelos y aguas residuales industriales en forma de solución diluida de ácido sulfúrico. El ion sulfato forma sales, los sulfatos perjudiciales para el concreto se encuentran preferentemente en los terrenos arcillosos o en sus capas freáticas* (Red Durar, 1998, pág. 41).



Uno de los principales problemas de los sulfatos es que forma yeso al reaccionar el anión sulfato del agua con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ liberado por el cemento, el cual se deposita en los poros del concreto, donde se cristaliza con absorción de dos moléculas de agua. Este proceso propicia una expansión, la cual ejerce esfuerzos de tensión en el concreto. Puede existir la presencia de cristales cuya expansión sea tal que ocasione el desmoronamiento de concreto.

3.9.11 Carbonatación

Ocurre cuando el dióxido de carbono de la atmósfera reacciona con los componentes alcalinos de la fase acuosa del concreto y da lugar a una neutralización de todo el material (Red DURAR, 1998, pág. 42)

En el concreto que no tiene acero de refuerzo la presencia de carbonatación tiene pocas consecuencias. Pero en estructuras reforzadas esto trae consigo un problema debido a la neutralización del pH del concreto, lo que ocasiona la aparición de un “frente carbonatado”, que se revela muy bien con el indicador fenolftaleína.

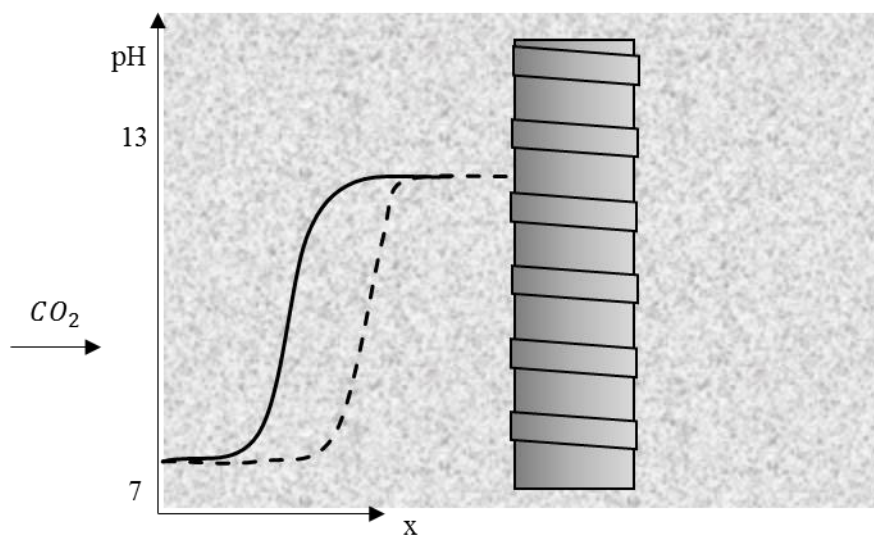


Figura 3.6. Variación de pH en el concreto debido a la carbonatación (Red DURAR, 1998, pág. 42).

Cuando este frente penetra hasta la armadura, ésta se despasa de forma generalizada como consecuencia de la disminución del pH. El tiempo que tarda en avanzar la carbonatación tiene un carácter importante, por lo que debe poner atención a la velocidad de



avance, la cual está en función de: a) el contenido de humedad del concreto, y b) su porosidad y c) su contenido en materia alcalina carbonatable.

El contenido de humedad en los poros es fundamental ya que de encontrarse completamente secos, el CO_2 no podrá reaccionar y, si están completamente saturados, su penetración será lentísima, debido a la baja solubilidad del CO_2 en el agua. Por lo que se requiere que los poros se encuentren parcialmente saturados (50 y 80%) para que se presentes condiciones óptimas para la carbonatación.

3.9.12 Lixiviación

La degradación del concreto no sólo puede ser causada por agua que contenga impurezas o por aguas de condensación industrial, aguas de fusión de glaciares, aguas de nieve, aguas de lluvias, aguas pantanosas blandas y algunas aguas procedentes de grandes profundidades, estas sustancias tienden a disolver el calcio de la estructura.

La lixiviación del hidróxido de calcio del concreto, es decir, la reducción de su contenido de su contenido de CaO, conduce, por lo tanto a la destrucción de los restantes componentes del concreto, silicatos, aluminatos y ferritos hidratados; lo que lleva al concreto a desmoronarse y perder su resistencia.

3.9.13 Presencia de coqueras en contacto con armaduras

Las discontinuidades producidas por la formación de coqueras interiores hace que haya zonas de la armadura sometidas a la elevada humedad del interior del concreto, pero sin estar en contacto con alcalinidad alguna. Estas zonas se corroerán de la misma forma que si estuvieran sometidas a una atmósfera de elevada humedad (Red DURAR, 1998, pág. 45).

3.9.14 Grietas en el concreto reforzado

Las grietas y fisuras son roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de tensiones superiores a su capacidad resistente (Toirac Corral, 2004).



La Red DURAR (1998) menciona que las fisuras en el concreto que son originadas por sollicitaciones mecánicas, se presentan, por lo general, en planos ortogonales a al refuerzo principal, puesto que éstas se colocan precisamente para absorber las tensiones de tracción que el concreto por sí mismo no es capaz de soportar.

Por otra parte las fisuras que acompañan el sentido del refuerzo, son en general, resultantes de un proceso de corrosión ya iniciado (Figura 3.6).



Figura 3.7. Grieta en el concreto en el mismo sentido que el refuerzo.

En este tipo de grietas es común observar manchas de corrosión. La abertura máxima de grietas por corrosión se limita, entre otras exigencias, por la durabilidad de la armadura. Los códigos suelen limitar el ancho de grieta a valores entre 0.1 y 0.4 mm, aunque existen medidores que van de los 0.08 a los 3.0 mm, como los utilizados este trabajo.

La característica de la grieta depende de factores como:

- La agresividad de medio ambiente.
- El recubrimiento de la armadura.
- La calidad del hormigón.



3.10 Daños por corrosión en estructuras en la rama de las vías terrestres:

Puentes

Los puentes se definen como estructuras, las cuales proporcionan una conexión o paso sobre una brecha sin bloquear la abertura o paso inferior. Dichas aberturas o pasos pueden ser corrientes, canales y ríos; arroyos y valles o carreteras y vías férreas que pasan por debajo del puente (Ponnuswamy, 2008).

Crespo (2007) define al puente como *la estructura de madera, piedra, ladrillo, concreto simple, concreto armado o fierro estructural que se utiliza para que una vía de comunicación pueda salvar un río, una depresión de terreno u otra vía de comunicación.*

De acuerdo con Ponnuswamy (2008) la referencia más antigua que se tiene de un puente es en el río Nilo, construido aproximadamente en el año 2650 A. C., sin embargo el Instituto Sueco de Construcción, el puente más antiguo se construyó en Inglaterra en el año 3306 A. C., y fue hecho de madera y tenía una longitud de 110 metros.

3.10.1 Tipos de puentes

A través de la historia se ha hecho uso de diferentes materiales para la construcción de los puentes, a continuación se presentan algunos materiales.

- Madera
- Materiales orgánicos
- Ladrillo
- Hierro
- Acero
- Concreto hidráulico
- Vidrio

De acuerdo a Denison y Stewart (2014), los puentes se clasifican por su tipología de la siguiente manera:



- Puentes de viga
- Puentes de arco
- Puentes en celosía
- Puentes móviles
- Puentes en ménsula
- Puentes colgantes
- Puentes atirantados

Estudios de campo necesario en el diseño de puentes

De acuerdo con Villalaz (2007), los estudios de campo que son necesario efectuar para el proyecto de los puentes se pueden dividir en cuatro grande partes: estudios topográficos, hidráulicos, geológicos y comerciales.

Estudios topográficos

Los estudios a considerar en este estudio son:

- Origen del kilometraje
- Plano en panta, a escala 1:200, mostrando el eje del camino, curvas de nivel, dirección de cauce, construcciones cercanas y datos importantes.
- Ángulo que forma el camino con el eje de la corriente
- Elevación y descripción del banco de nivel más próximo
- Planos de localización correspondientes a un kilómetro a cada lado de la obra
- Elevación de la subrasante que resulta más adecuada
- Importe de la indemnización que tendrían que hacerse al llevarse a cabo las obras

Estudios hidráulicos



- Una sección en el cruce y dos secciones auxiliares aguas arriba y aguas abajo a escala 1:200 considerando: nivel de aguas mínimas, nivel de aguas máximas ordinarias, nivel de aguas máximas extraordinarias, pendiente del fondo del cauce o de la superficie del agua en una extensión de 200 m a cada lado del eje del puente
- Coeficiente de rugosidad del cauce
- Velocidad superficial indicando el procedimiento usado
- Frecuencia y duración de las crecientes máximas extraordinarias, época del año en que se efectúan y dimensiones aproximadas del material de arrastre
- Si el cauce es estable o divagante o si tiene tendencias a divagar
- Si la corriente deposita o socava
- Si hay que efectuar alguna canalización
- Si el remanso afectará propiedades vecinas
- Claro mínimo de los tramos y espacio libre vertical para el paso de los cuerpos flotantes
- Datos sobre puentes construidos aguas abajo y aguas arriba próximos al cruce, tales como su longitud, longitud mínima de tramo, altura de la subrasante sobre el fondo, área hidráulica, si es o no suficiente el puente, separación entre pilas y pendiente del cauce en el cruce.

Estudios geológicos

- Caracteres generales de los materiales que forman el fondo y las márgenes de la corriente
- Corte geológico indicando los materiales del subsuelo y el de las aguas freáticas, enviando muestras inalteradas y alteradas
- Carga admisible aproximada que puede soportar cada estrato del subsuelo

Estudios comerciales

- Jornales medios en la región para diferentes categorías
- Precios unitarios de los diversos materiales en el lugar de la obra



- Cubicación de los diferentes bancos de materiales
- Vía más próxima de comunicación
- Clima dominante en la región
- Enfermedades de la región

3.10.2 Puentes en México

En México la SCT (N-PRY-CAR-6-01-001/01) clasifica a un nuevo puente o estructura similar de la siguiente manera:

- Puente. Estructura de seis metros, que se construye sobre corrientes o cuerpos de agua y cuyas dimensiones quedan definidas por razones hidráulicas.
- Viaducto. Estructura que se construye sobre barrancas, zonas urbanas u otros obstáculos y cuyas dimensiones quedan definidas por razones geométricas, dependiendo principalmente de la rasante de la vialidad y del tipo de obstáculo que cruce.
- Paso superior vehicular (PSV). Estructura que se construye en un cruce de la carretera de referencia por encima de otra vialidad y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de ambas vialidades.
- Paso inferior vehicular (PIV). Estructura que se construye en un cruce de la carretera de referencia por debajo de otra vialidad y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de ambas vialidades.
- Paso superior de ferrocarril (PSF). Estructura que se construye en un cruce de la carretera de referencia por encima de una vía de ferrocarril y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de la carretera y de la vía.
- Paso inferior de ferrocarril (PIF). Estructura que se construye en un cruce de la carretera de referencia por debajo de una vía de ferrocarril y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de la carretera y de la vía.



- Paso inferior peatonal (PIP). Estructura destinada exclusivamente al paso de personas, que se construye por encima de la carretera de referencia y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasante de la vialidad que cruza.
- Paso inferior ganadero (PIG). Estructura destinada al paso de personas y ganado, que se construye por encima de la carretera de referencia y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasante de la vialidad que cruza.
- Puente canal. Estructura destinada exclusivamente al paso del flujo de un canal, que se construye por encima de la carretera de referencia y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de la carretera y del canal.
- Puente ducto. Estructura destinada exclusivamente al cruce de uno o varios ductos por encima de la carretera de referencia y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de la carretera y de los ductos.

A continuación se presentan algunas estadísticas nacionales encaminadas a puentes. De manera general en nuestro país, de acuerdo a la SCT (2013), la distribución de la red carretera nacional por tipo de camino, se distribuye de la siguiente manera:

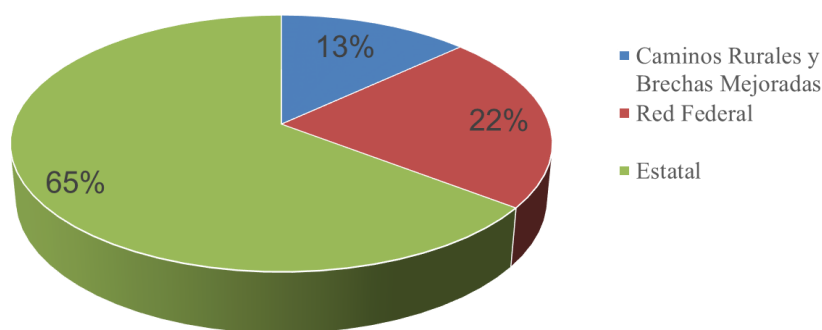


Figura 3.8. Distribución de la red carretera nacional por tipo de camino (SCT, 2013)



Con la gráfica anterior podemos ver que la mayor parte de la red carretera es de tipo estatal. A continuación se presenta una gráfica del mismo Reporte Estadístico de la SCT (2013), en donde se presentan el movimiento de carga por medio de transporte:

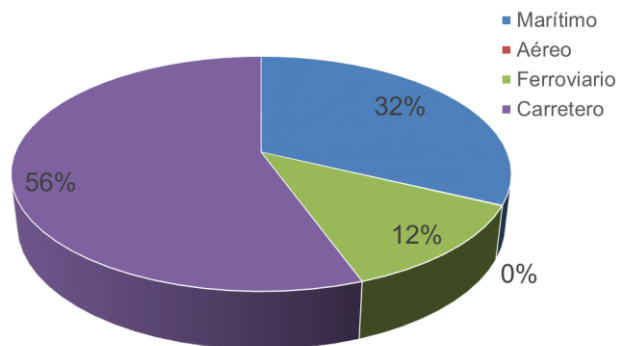


Figura 3.9 Movimiento de carga por medio de transporte (SCT, 2013)

En la gráfica anterior se puede observar que transporte carretero es el más socorrido en nuestro país, de ahí la importancia de que nuestras vialidades se encuentren en estado óptimo para la circulación de los vehículos, y parte de la estructura carretera de nuestra país está integrada por puentes que permiten salvar claros muy grandes.

Dentro de esta área de los puentes tenemos la siguiente distribución por tipo de material:

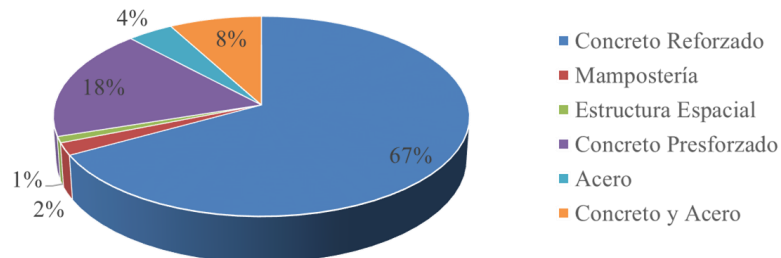


Figura 3.10 Distribución de puentes por tipo de material



De acuerdo a Torres et. al (2010) el 20 de agosto de 2000, el Director General del Instituto Mexicano del Transporte, solicitó se aprobara el proyecto de investigación denominado “Plan Nacional de Evaluación de Puentes Dañados por corrosión”.

En este proyecto se llevó a cabo como primer paso el inventario de todos los puentes administrados por la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) en formato electrónico, utilizando la base de datos existente y contenida en el Sistema de Puentes Mexicanos (SIPUMEX) (Torres, del Valle, Martínez, Pérez, & Backhoff, 2010).

Dentro de este sistema se encuentra información acerca del número de los puentes de la red federal correspondiente a cada estado de la República Mexicana, donde se tiene que el estado de Michoacán es el estado con mayor número de puentes en el país con 463, esto da un indicio de la importancia del estudio del estado en el que se encuentran y qué es lo que se puede hacer para evitar su deterioro, en el caso de los ya existentes, y cómo mejorar los procesos constructivos y minimizar fenómenos futuros de deterioro como la corrosión y carbonatación. A continuación se presenta una gráfica con la distribución de puentes de acuerdo a los diferentes estados de la República Mexicana:

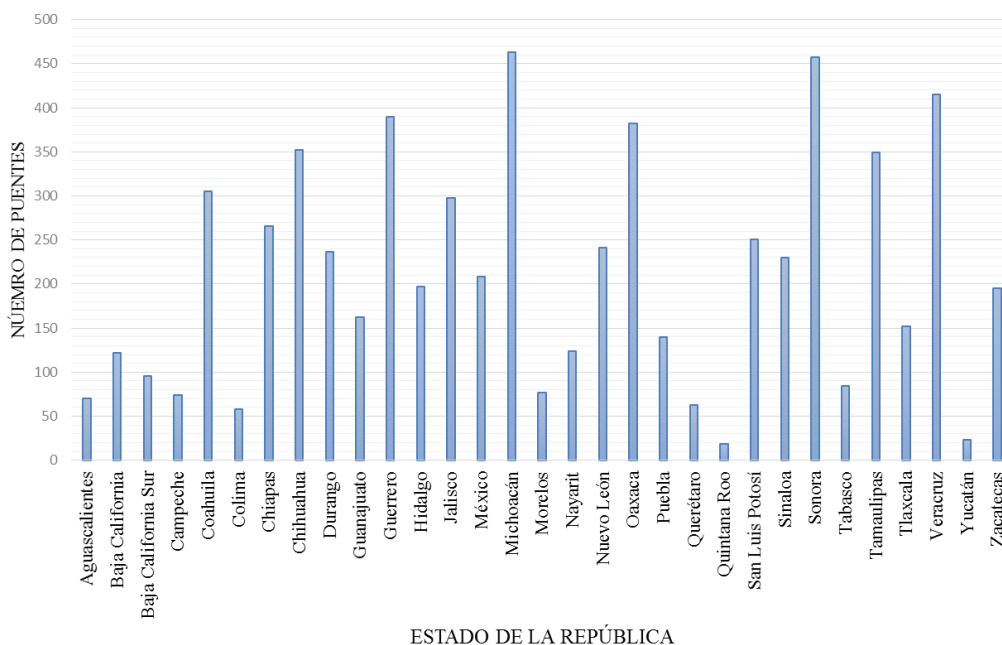


Figura 3.11 Distribución de puentes de acuerdo a los diferentes estados de la República Mexicana (Torres et al, 2010).



En nuestro país existen varios puentes que se encuentran bajo factores ambientales que afectan a las estructuras de concreto reforzado, como lo son el clima imperante en el que se encuentra el puente, posición geográfica y su distancia de los corredores industriales (Torres, del Valle, Martínez, Pérez, & Backhoff, 2010).

En la figura siguiente se presenta el mapa de puentes prioritarios para programa de inspección detallada, corrosión por cloruros (Torres, del Valle, Martínez, Pérez, & Backhoff, 2010)

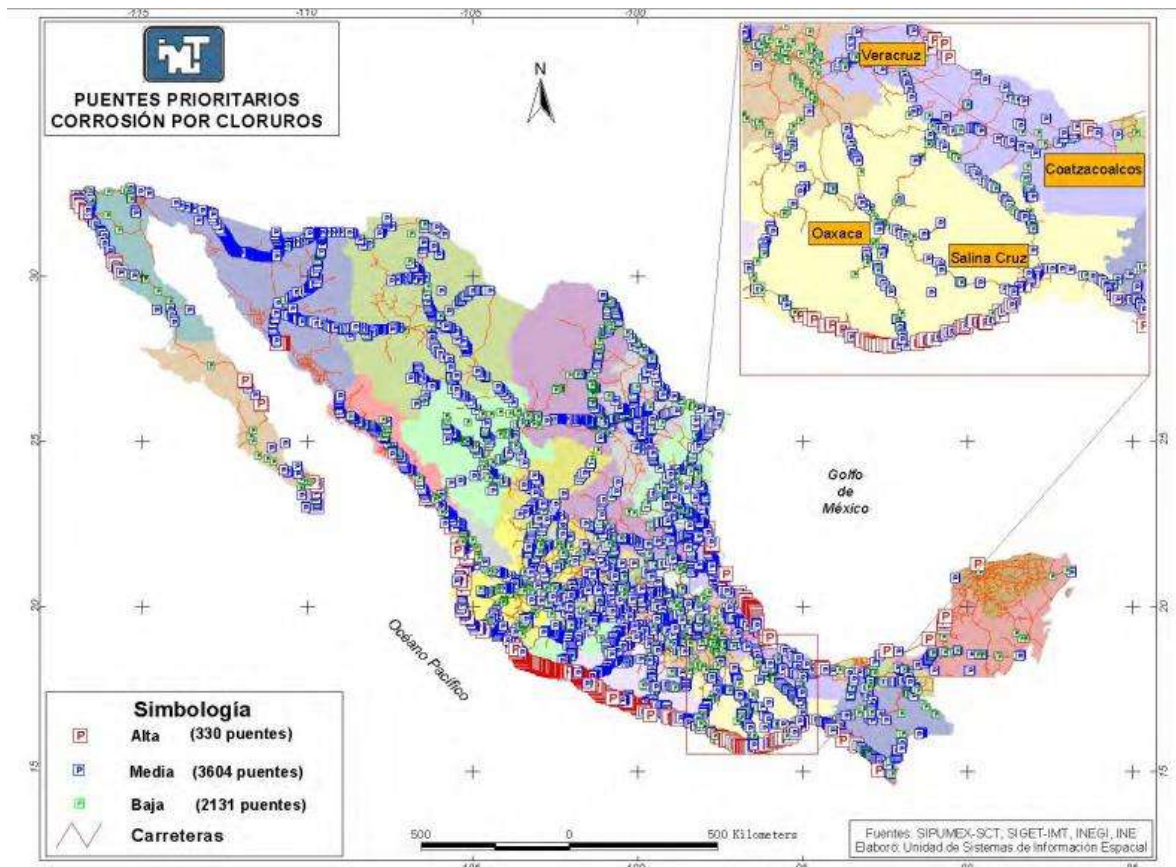


Figura 3.12 Mapa de puentes prioritarios para programa de inspección detallada, corrosión por cloruros (Torres, del Valle, Martínez, Pérez, & Backhoff, 2010).

En la figura anterior podemos observar que el estado de Michoacán es uno de los estados en los que se encuentran puentes con prioridad alta para el programa de inspección detallada. De ahí la importancia de llevar a cabo estudios que nos ayuden a entender, prevenir o reparar los daños que la corrosión causa a estructuras de transporte terrestre como lo son los puentes.



4.- METODOLOGÍA

4.1 Elaboración de las vigas de concreto con acero presforzado

Las vigas utilizadas en esta investigación fueron proporcionadas por la empresa: Elementos Estructurales Prefabricados S. A. de C. V. (EEPSA). EEPSA es una empresa dedicada a la prestación de servicios y producción de sistemas constructivos prefabricados, la cual se ubica al noreste de la ciudad de Morelia, Michoacán. Dichos elementos presentan la siguiente geometría.

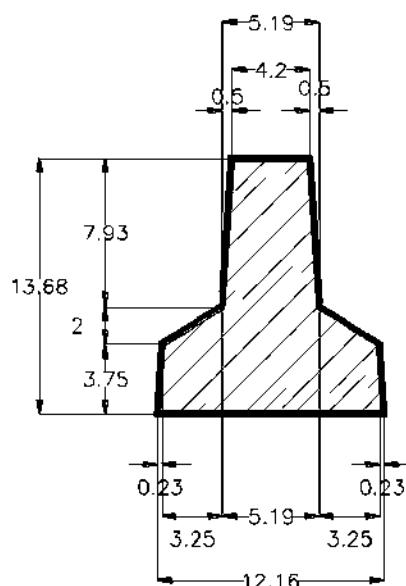


Figura 4.1. Geometría de las vigas utilizadas.

El concreto fue proporcionado por la empresa CEMEX, el cual se diseñó con un f'_c de proyecto de 400 kg/cm^2 . En el momento del colado se añadió NaCl al tercio medio, en proporción de 1% con respecto a la masa del cemento.



Figura 4.2. Colado de las vigas utilizadas en esta investigación.

El acero de refuerzo embebido en el acero es pretensado, con un esfuerzo de fluencia de $f_y = 1700 \text{ kg/cm}^2$, con un diámetro nominal de 5.0 mm. Se colocaron 5 varillas a lo largo de cada una de las vigas distribuidas de la siguiente manera: 1 varilla en la parte superior y 4 en la parte inferior (Figura 4.3)



Figura 4.3. Distribución del acero presforzado.

Se obtuvieron 9 especímenes de dichas dimensiones y características, los cuales fueron llevados al Laboratorio de Materiales Ing. Luis Silva Ruelas de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, para su estudio.



En este trabajo se presentan los resultados de 3 de estos especímenes, ya que la prueba continua en proceso para las 6 vigas restantes.

4.2 Colocación y mantenimiento de las vigas en laboratorio

Las vigas fueron colocadas sobre mesas de concreto que sirvieron de apoyo, cuyo claro aproximado es de 1.20 m y a una altura promedio de 1.0 m. (Figura 4.4).



Figura 4.4. Vigas colocadas sobre las mesas que sirvieron de apoyos.

Las vigas cubiertas con una tela 100% algodón, esto con la finalidad de mantener la humedad en los especímenes. Las vigas fueron mojadas duramente mediante una manguera con aspersor, lo cual fue necesario para evitar que el concreto ejerciera una resistencia tal que pudiera dañar el equipo que se utilizó para aplicar corriente a las varillas.

4.3 Aplicación de corriente

La aplicación de corriente se llevó a cabo mediante un galvanostato, el cual tiene la función de mantener un flujo de corriente galvánica constante (Figura 4.5), dicho aparato fue



prestado por el Instituto Mexicano del Transporte y tuvo unas adecuaciones el laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.



Figura 4.5. Galvanostato utilizado en la investigación.

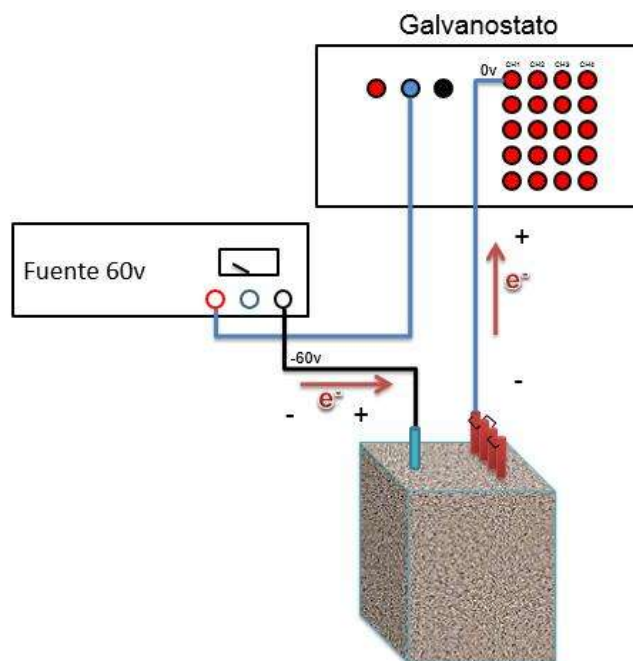


Figura 4.6. Diagrama de conexiones eléctricas.



4.4 Pruebas realizadas a los especímenes

Las pruebas que se llevaron a cabo en las vigas de concreto reforzado fueron de carácter destructivo. Dentro de las pruebas destructivas se realizaron: aplicación de corriente al acero de refuerzo embebido en el concreto para acelerar el proceso de corrosión y conocer la velocidad de corrosión. Además se midió la longitud y el ancho de las grietas semanalmente, con la finalidad de observar el incremento de las mismas (Figura 4.7).



Figura 4.7. Medición de longitud de grietas.

Para llevar a cabo la corrosión de las varillas embebidas éstas se conectaron a un galvanostato, el cual es capaz de mantener una corriente eléctrica constante. Con ello se aceleró el proceso. Esto se logró mediante una fuente que proporcionó al sistema un potencial de 400 mV por viga, la cual se distribuyó al acero de refuerzo. La varilla superior de las vigas trabajó como cátodo y las varillas inferiores como ánodo (Figura 4.8).

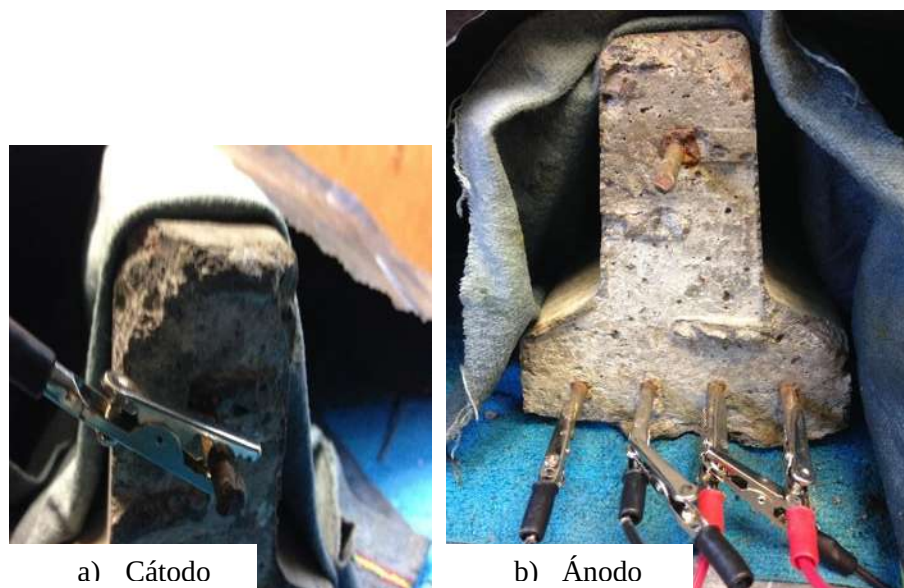


Figura 4.8. a) Cátodo (varilla superior) y b) ánodo (varilla inferior) en el sistema.

Se llevó a cabo la prueba flexión a tres puntos en las vigas para conocer la capacidad portante del elemento. Se colocó un perfil de acero en la base de la máquina universal de carga, lo cual sirvió como soporte. Además se colocó un micrómetro de carátula para tomar las mediciones de deformación.



Figura 4.9. Prueba de flexión en vigas.



Por último se caracterizó el acero de refuerzo de refuerzo extraído de las vigas para conocer la pérdida de masa que tuvieron. Se cortaron tramos de varilla para llevar a cabo la prueba de tensión.



Figura 4.10. Prueba de tensión en varillas extraídas.



5.- DESARROLLO EXPERIMENTAL

Las pruebas desarrolladas en esta investigación se llevaron a cabo en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en el área de corrosión y resistencia de materiales.

5.1 Medición de grietas

Las grietas se midieron en las vigas mediante el uso de acetato, en el cual se marcó una cuadrícula con dimensiones conocidas para poder realizar un “mapeo”, y conocer la ubicación y dirección de las grietas. Las grietas se midieron tanto en la parte inferior de la viga como en la parte lateral, lugares donde se encuentran más cercanas las varillas a corroer (ánodo).



Figura 5.1. Medición de grietas con la utilización de un acetato el cual incluye una cuadrícula para marcar coordenadas.

Una vez colocado el acetato, se prosiguió a dibujar cada una de las grietas presentes en el elemento, esto mediante la toma de coordenadas, con las cuales se fueron dibujando en el programa Excel. Al mismo tiempo se tomó la lectura del ancho de grieta con un medidor de grieta (Figura 5.3), el cual permite identificar diferentes grosores. Los grosores y posición de las grietas se tomaron a cada 2.5 cm en el sentido horizontal y a cada centímetro en el sentido vertical.



Figura 5.2. Medición de anchos de grieta.

El reporte de grietas se llevó a cabo 9 días antes de la conexión del galvanostato, y semanalmente desde el comienzo de la aplicación de corriente hasta la fecha de aplicación de carga en las vigas.



Figura 5.3. Grietómetro utilizado en esta investigación.

5.2 Aplicación de corriente a vigas por medio de un galvanostato

Para el proceso de corrosión acelerada del acero de refuerzo de las vigas se utilizó un galvanostato, el cual permite mantener una corriente galvánica constante en una celda electrolítica.



El concreto funcionó como electrolito, esto debido al agua contenida en los poros como se vio en el capítulo 3. Para esto se utilizó una fuente de 60 volts, la cual suministró un potencial de 400 mV aproximadamente a cada viga. Con este dato y el valor conocido de la resistencia en el galvanostato se obtuvo la intensidad de corriente:

$$V = R * I$$

donde:

V = voltaje (V)

R = resistencia (ohms)

I = intensidad de corriente (Amperios)

$$I = \frac{R}{V}$$

Para este cálculo se consideraron los promedios de las mediciones de potenciales, eliminando mediante un diagrama de caja los datos atípicos encontrados. El área afectada por corrosión se calculó una vez destruidas las vigas y medidas las longitudes reales afectadas, ya que se agregó NaCl al tercio medio de cada viga, por lo que el cálculo es:

$$\text{Densidad de corrosión} = \frac{\text{densidad de corriente } (\mu A)}{\text{área afectada por corrosión } (cm^2)}$$

El área afectada por corrosión se calculó con:

$$\text{Área afectada} = \text{perímetro de la varilla} * \text{longitud afectada por corrosión}$$

Esto para cada una de las varillas embebidas en las vigas, para después hacer un promedio de densidades y encontrar un valor para poder calcular la velocidad de corrosión.



5.3 Velocidad de corrosión

El objetivo de esta prueba es la de determinar la velocidad a la cual la armadura pierde sección, por corrosión de la misma (Red DURAR, 1998).

La velocidad o intensidad de corrosión (i_{corr}) se define como la pérdida de metal por unidad de superficie y tiempo. Las unidades básicas son g/cm² día, aunque la forma usual de definirla a partir de medidas de tipo electroquímico es en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ o, transformando este dato a partir de la densidad del metal, en unidades de penetración (mm/año) (Red DURAR, 1998).

Una vez calculado la intensidad de corriente se hizo uso de la siguiente tabla de conversión, extraída de Torres-Acosta (1999):

Tabla 5.1. Conversión de velocidad de corrosión a densidad de orrosión.

mpy	mm/y	mg/cm ² s	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$
1	2.54×10^{-2}	6.33×10^{-7}	2.187
39.37	1	2.492×10^{-5}	86.102
1.58×10^6	4.013×10^4	1	3.456×10^6
0.457	0.012	2.894×10^{-7}	1

Con lo que se encontró la velocidad de corrosión en mm/y.

5.4 Pérdida de masa teórica (Faradaica)

La pérdida de masa teórica se calculó con la fórmula (Torres, 1999):

$$\Delta W = 25 * I_p * t_{CRACK}$$

donde:

ΔW = Pérdida de masa teórica (g)

I_p = Corriente total aplicada (Amperios)

t_{crack} = Tiempo de durante el cual se aplicó la corriente (días)



5.5 Pruebas destructivas a flexión a tres puntos

5.5.1 Carga a Flexión

La prueba de flexión se llevó a cabo en una máquina hidráulica que se adaptó mediante el uso de un perfil de acero, que sirvió como base, ya que la platina de la máquina hidráulica no es lo suficientemente amplia para colocar las vigas (Figura 5.4).



Figura 5.4. Colocación de las vigas en la máquina universal de carga.

La aplicación de la carga se hizo en el centro medio de la viga y los apoyos se colocaron a con una separación de 1.80 metros

5.5.2 Medición de deformación

La deformación se midió en el centro de la viga haciendo uso un micrómetro con aproximación de 0.01 mm. Dicha deformación se tomó a cada 0.10 mm, es decir, cada que el micrómetro marcada un múltiplo de 0.10 mm se anotó la carga correspondiente a dicha deformación, con lo que se logró hacer una gráfica de carga-deformación. La cual es de



utilidad para observar si existe pérdida de rigidez en el elemento sometido a un proceso acelerado de corrosión (Figura 5.5).



Figura 5.5. Medición de deformación en la prueba de flexión.

5.6 Caracterización del acero de refuerzo extraído de las vigas

Después de llevar a cabo la prueba de flexión en las vigas, se procedió a remover el concreto para poder llevar a cabo la caracterización del acero (Figura 5.6).



Figura 5.6. Remoción del concreto para caracterización del acero.

Las varillas removidas se limpiaron con una carda para remover los productos de corrosión formados y pegados en su superficie. Después se prosiguió a caracterizar cara



varilla obtenida. Las características que se consideraron fueron: diámetro nominal, área nominal, diámetro efectivo, área efectiva, masa por metro lineal, separación de corrugaciones, altura de nervaduras y tipo de corrugación. La tabla 5.2 muestra el resumen que se hizo en cada una de las varillas en estudio.

Tabla 5.2. Resumen de caracterización del acero.

ENSA YE No.	1	2	3
MUESTRA No.	VCPC 1, 2, 3 (CÁTODOS)		
DIÁMETRO NOMINAL (mm.)			
ÁREA NOMINAL (cm ²)			
DIÁMETRO EFECTIVO (mm.)			
ÁREA EFECTIVA (cm ²)			
MASA POR METRO LINEAL (kg/m)			
SEPARACIÓN DE CORRUGACIONES (mm)			
ALTURA DE CORRUGACIONES (mm)			
ALTURA DE NERVADURAS (mm)			
TIPO DE CORRUGACIÓN			

Para determinar la masa de las varillas se cortó cada elemento en secciones de aproximadamente 15 cm (Figura 5.7).



Figura 5.7. Obtención de sección de varilla para su caracterización.

Una vez obtenidas las secciones se prosiguió a medir la masa de cada una de ellas con la intención de cuantificar la pérdida de masa que se presentó debido al proceso de corrosión (Figura 5.8).



Figura 5.8. Medición de la masa del acero extraído de vías probadas a flexión.

5.7 Resistencia a la tensión del acero de presfuerzo

Esta prueba se llevó a cabo basándose en la norma NMX-B-293-CANACERO-2012 Industria Siderúrgica- Alambre de Acero, sin Recubrimiento con Relevado de Esfuerzos para usarse en Concreto Presforzado- Especificaciones y Métodos de Prueba. En esta norma se establece los requisitos que deben cumplir los dos tipos de alambre redondo de acero alto carbono, si recubrimiento con relevado de esfuerzos, para usarse en concreto presforzado.

5.7.1 Resistencia a la tensión

La prueba de resistencia a tensión se llevó a cabo en la prensa universal, colocándose unas mordazas que sujetan a la varilla restringiendo su movimiento (Figura 5.9)



Figura 5.9. Prueba a tensión en varillas extraídas, después de llevar a cabo la prueba de flexión.



La prueba se llevó a cabo después de haber caracterizado al acero, procedimiento descrito en la sección 5.4 de esta sección.

La resistencia a tensión del alambre tipo BA y tipo WA debe cumplir con los requisitos especificados en la tabla 5.3.

Tabla 5.3.- Resistencia a la tensión

Diámetro nominal en mm(a)	Resistencia a la tensión mínima, en MPa (Kg/mm ²)	
	Tipo BA	Tipo WA
4.00	(b)	1 725 (176)
5.00	1655 (169)	1 725 (176)
6.00	1655 (169)	1 655 (169)
7.00	1620 (165)	1 620 (165)
NOTAS: a) Pueden suministrarse otros diámetros siempre y cuando cumplan los requisitos de esta norma. Para diámetros no listados en esta tabla, se aplica los valores de resistencia a la tensión del diámetro inmediato superior. b) Este tamaño generalmente no se suministra en el alambre tipo BA.		

5.7.2 Resistencia a la fluencia

La resistencia de la fluencia mínima para todos los alambres, medida por el método de extensión bajo la carga al 1.0%, no debe ser menor que del 85% de la resistencia a la tensión especificada en la tabla 5.3.

La extensión bajo carga debe medirse con un extensómetro calibrado con la división más pequeña no mayor de 0.0001 mm por milímetro de longitud calibrada.



La carga inicial correspondiente al esfuerzo inicial indicado en la tabla 5.4 debe aplicarse a la probeta, en el momento en el cual el extensómetro se fija y se ajusta para una lectura de 0.001 mm/mm de longitud calibrada, enseguida la carga debe tenerse hasta que el extensómetro indique una extensión de 1%. La carga para esta extensión debe anotarse. El esfuerzo correspondiente a esta carga debe cumplir los requisitos para el esfuerzo a 1% de extensión especificados en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Resistencia de fluencia

Diámetro nominal en mm(a)	Esfuerzo inicial, en MPa (kg/mm ²)	Esfuerzo mínimo a 1% de extensión en MPa (kg/mm ²)	
		Tipo BA	Tipo WA
4.00	200 (20)	(b)	1 465 (149)
5.00	200 (20)	1 407 (143)	1 465 (149)
6.00	200 (20)	1 407 (143)	1 407 (143)
7.00	200 (20)	1 377 (140)	1 377 (140)
NOTAS:			
a) Pueden suministrarse otros diámetros siempre y cuando cumplan los requisitos de esta norma. Para diámetros no listados en esta tabla, se aplica los valores de resistencia a la tensión del diámetro inmediato superior.			
b) Este tamaño generalmente no se suministra en el alambre tipo BA.			

5.7.3 Alargamiento

El alargamiento total bajo carga de todo el alambre no debe ser menor de 4.0% cuando se mide en una longitud calibrada de 250 mm. El alargamiento debe determinarse mediante un extensómetro el cual se coloca en la probeta después de aplicar la carga correspondiente al esfuerzo inicial (Figura 5.10). Si la fractura se efectúa fuera de la longitud calibrada, el alargamiento obtenido puede no ser representativo del material. Si el alargamiento así medido cumple los requisitos mínimos especificado, no es necesario hacer otra prueba, pero si el alargamiento es menor del requisito mínimo, debe descartarse y repetir la prueba.



5.7.4 Alargamiento después de la fractura

Consiste en marcar una longitud de 250 mm sobre la probeta, realizar la prueba de resistencia a la tensión especificada hasta la fractura, unir ambas puntas asegurando que coincidan las aristas de la fractura y medir la longitud final entre las marcas de la longitud calibradas y calcular el alargamiento mediante:



Figura 5.10. Medición del alargamiento final del acero, después de realizada la prueba de tensión



Figura 5.11. Ruptura de la varilla después de la prueba de tensión

$$\text{alargamiento} = \frac{\text{longitud final} - \text{longitud calibrada}}{\text{longitud calibrada}} \times 100$$



El marcado puede hacerse por métodos mecánicos o por medio de tinta indeleble, las marcas por métodos mecánicos en la probeta no deben provocar algún daño que deteriore sus propiedades mecánicas, si la fractura se presenta en alguna de las marcas se debe repetir la prueba. Las marcas hechas por cualquier otro método deben ser tan finas como las marcas de división del instrumento de medición utilizado.

5.7.5 Alargamiento por separación de cabezales

El alargamiento se determina a partir del incremento de la longitud entre los cabezales medida automáticamente por el equipo de prueba. Se debe garantizar que no haya desplazamiento entre las mordazas y esa probeta durante toda la prueba.

NOTA: Si se cumple con el requisito de alargamiento mínimo antes de la ruptura, determinando por cualquiera de los métodos anteriores, no es necesario determinar el valor final del alargamiento.



6.- RESULTADOS

6.1 Medición de grietas

6.1.1 Incremento en la longitud de grietas inferiores.

En las tablas 6.1 a 6.3 se presenta la propagación longitudinal de las grietas observadas en cada una de las vigas a las que se les aceleró la corrosión mediante la aplicación de una corriente anódica (VCPC 1, VCPC 2 Y VCPC 3). Cabe mencionar que las primeras dos mediciones fueron tomadas antes de iniciar el proceso de corrosión acelerado, a manera de referencia. Las tablas de las mediciones puntuales se encuentran en el anexo de este trabajo.

Tabla 6.1. Incremento de longitudes de grietas medidas en la parte inferior de la viga VCPC 1.

VCPC 1								
Grieta / Longitud (cm)	233 días	238 días	268 días	273 días	280 días	287 días	296 días	301 días
Grieta 1	15.13	17.23	21.70	23.20	23.20	23.20	23.20	23.95
Grieta 2	13.35	13.85	17.61	17.61	17.61	17.61	17.86	17.86
Grieta 3	7.59	9.59	10.23	10.23	10.23	10.73	10.98	10.98
Grieta 4	8.08	8.08	8.85	9.63	9.63	9.63	9.63	9.63
Grieta 5	17.73	18.51	19.55	19.55	19.55	19.55	20.31	20.31
Grieta 6	8.36	9.66	10.83	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37
Grieta 7	-	1.76	1.76	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51
Grieta 8	-	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
Grieta 9	-	-	4.03	4.03	4.03	4.03	5.15	6.43
Grieta 10	-	-	10.93	10.93	10.93	11.51	11.51	12.02
Grieta 10a	-	-	1.70	1.70	1.70	1.70	1.97	2.47
Grieta 11	-	-	11.77	32.42	57.30	57.30	57.30	57.30
Grieta 11a	-	-	-	-	-	-	8.78	8.78
Grieta 12	-	-	-	-	-	-	9.09	10.12
Grieta 13	-	-	-	-	-	-	4.25	4.25
Grieta 14	-	-	-	-	-	-	23.34	23.34
Grieta 15	-	-	-	-	-	-	-	11.89
Acumulado de longitudes	70.24	81.43	121.71	145.93	170.81	171.89	220.00	235.96



Tabla 6.2. Incremento de longitudes de grietas medidas en la parte inferior de la viga VCPC 2.

VCPC 2								
Grieta / Longitud (cm)	233 días	238 días	268 días	273 días	280 días	287 días	296 días	301 días
Grieta 1	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39	2.39
Grieta 2	7.26	7.26	7.26	7.26	7.26	7.51	7.51	7.51
Grieta 3	18.26	18.26	19.3	19.3	19.3	19.81	20.06	20.06
Grieta 4	15.67	15.67	30.78	36.89	37.14	37.9	37.9	37.9
Grieta 5	9.82	9.82	14.65	14.65	14.65	14.65	14.65	14.65
Grieta 6	2.25	2.25	12.47	13.22	13.22	13.98	13.98	13.98
Grieta 7	-	-	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71
Grieta 8	-	-	2.47	3.72	3.72	4.47	4.47	4.47
Grieta 1a	-	-	-	5.5	6.54	6.54	6.54	6.54
Grieta 9	-	-	-	3.75	3.75	4.51	4.51	5.01
Grieta 10	-	-	-	5.14	5.14	5.14	5.14	6.43
Grieta 11	-	-	-	-	9.45	9.45	9.45	9.45
Grieta 12	-	-	-	-	13.4	15.4	15.4	16.42
Grieta 4a	-	-	-	-	-	1.8	1.8	2.25
Acumulado de longitudes	55.65	55.65	125.03	147.53	171.67	179.26	179.51	182.77

Tabla 6.3. Incremento de longitudes de grietas medidas en la parte inferior de la viga VCPC 2.

VCPC 3								
Grieta / Longitud (cm)	233 días	238 días	268 días	273 días	280 días	287 días	296 días	301 días
Grieta 1	3.02	4.28	4.28	4.28	4.28	4.28	5.03	5.03
Grieta 2	9.9	14.3	16	16	16	16	16	16
Grieta 3	13.33	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84
Grieta 4	7	7	8.35	8.35	12.37	12.91	12.91	12.91
Grieta 5	15.13	15.92	22.02	24.06	24.06	24.31	24.85	24.85
Grieta 6	7.26	7.26	7.26	8.01	8.01	8.01	8.26	8.26
Grieta 7	3.82	4.07	4.07	4.57	4.57	4.57	4.89	4.89
Grieta 8	5.57	8.07	8.07	8.07	8.07	8.07	8.57	8.57
Grieta 9	-	1.75	4.56	10.82	10.82	10.82	10.82	10.82
Grieta 10	-	-	19.43	27.95	31.27	31.27	31.27	31.27
Grieta 8a	-	-	-	3.07	3.07	3.07	3.07	3.07
Grieta 11	-	-	-	-	-	8.79	8.79	8.79
Grieta 12	-	-	-	-	-	6.83	12.95	12.95
Acumulado de longitudes	65.03	76.49	107.88	129.02	136.36	152.77	161.25	161.25



6.1.2 Gráficas del incremento longitudinal en grietas de la sección inferior.

Los resultados de las tres tablas anteriores se muestran, a manera de gráfica, en las figuras 6.1 a 6.3 a continuación.

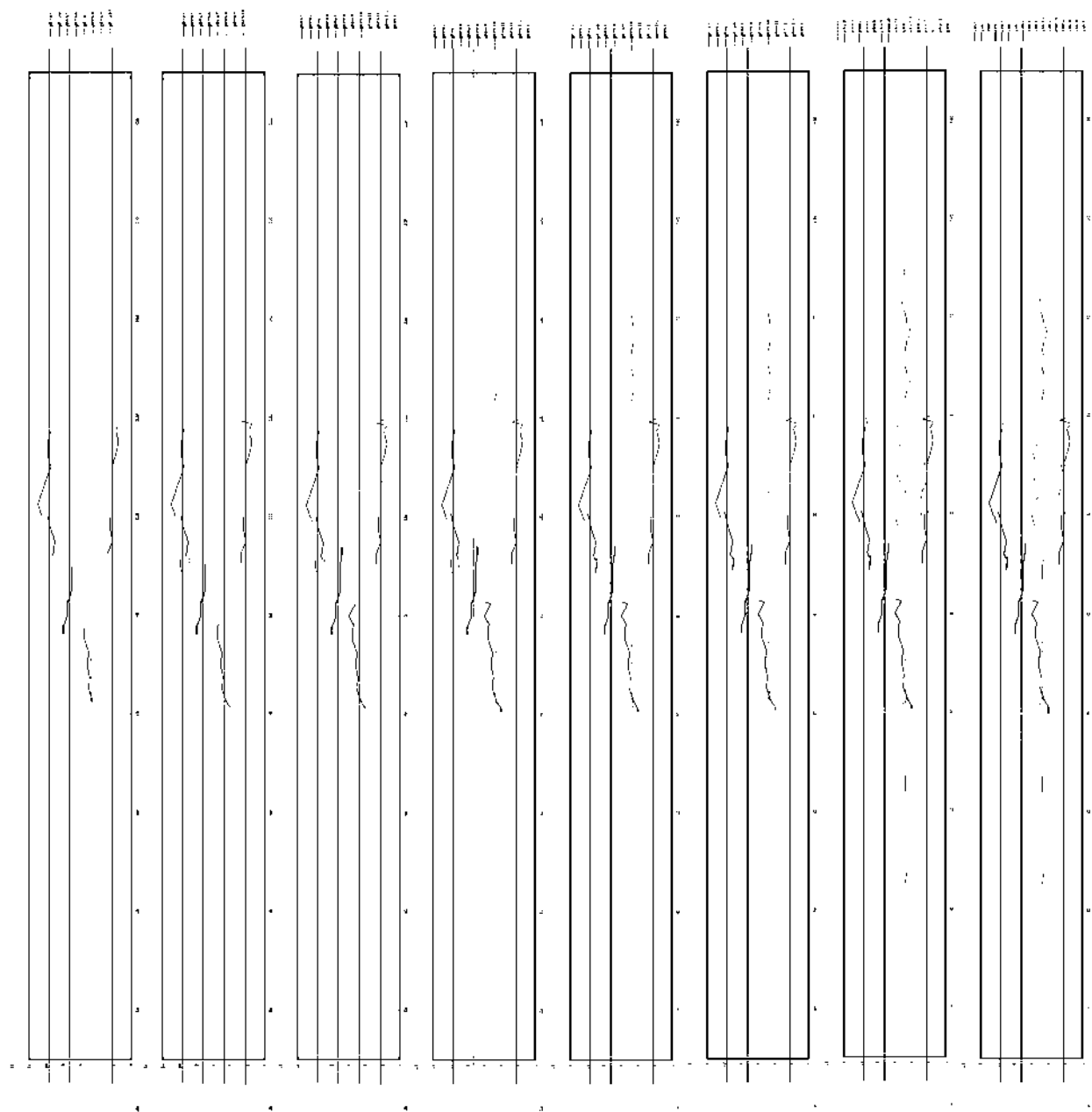


Figura 6.1. Levantamiento de grietas en la viga VCPC_1 (a) -9 días, (b) -4 días, (c) 26 días, (d) 31 días, (e) 38 días, (f) 45 días, (g) 54 días y (h) 59 días en la conexión al galvanostato (días negativos significa que aún no se conectaba).

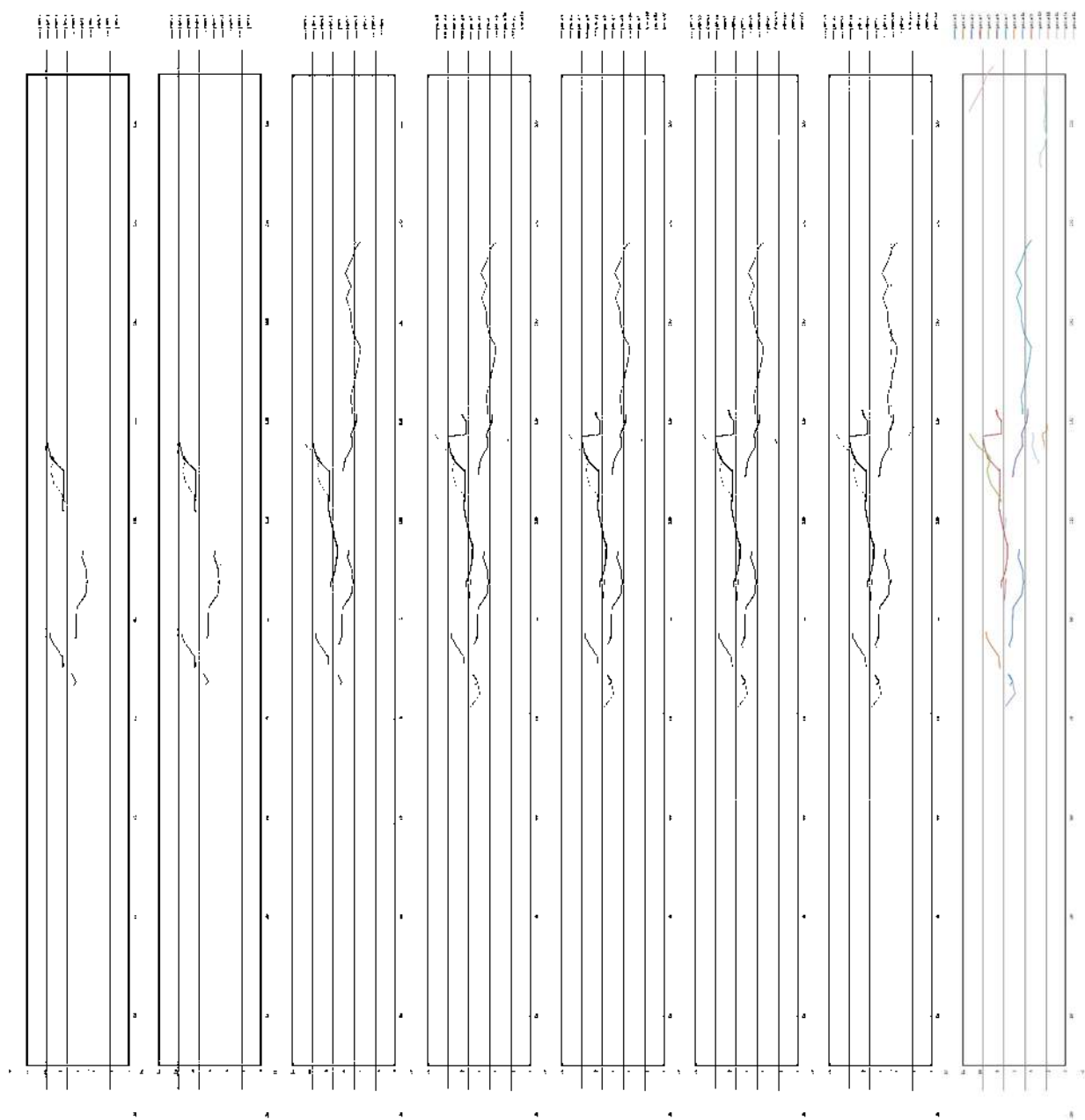
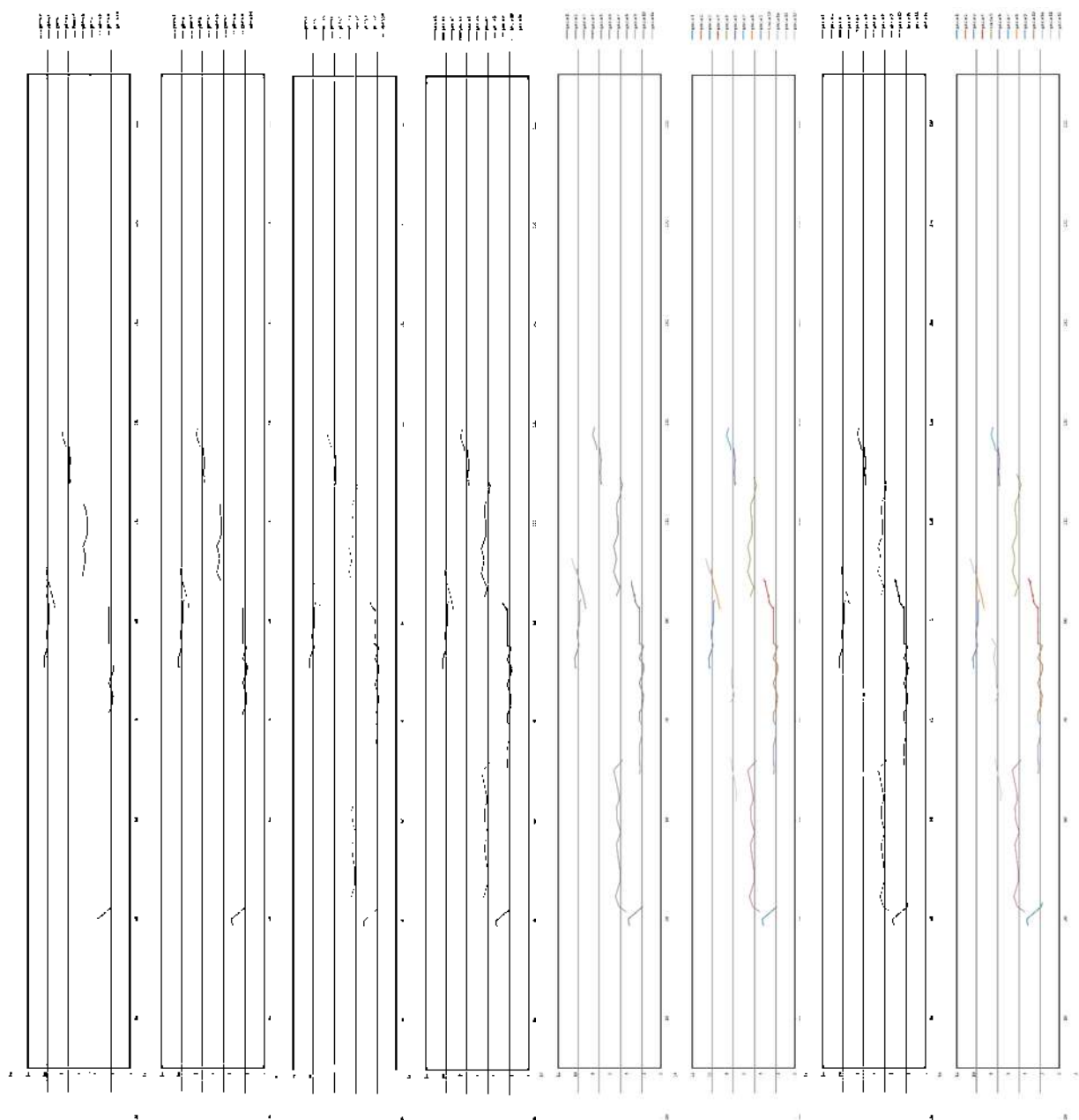
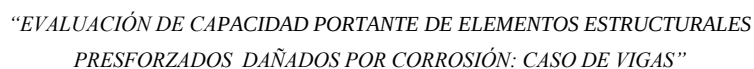


Figura 6.2. Levantamiento de grietas en la viga VCPC_2 (a) -9 días, (b) -4 días, (c) 26 días, (d) 31 días, (e) 38 días, (f) 45 días, (g) 54 días y (h) 59 días en la conexión al galvanostato (días negativos significa que aún no se conectaba).



67



En cuanto al análisis de las gráficas de propagación de la longitud de las grietas (Figuras 6.1 a 6.3), se puede observar que éstas siguen la posición que tiene el acero de presfuerzo, lo que corrobora que fueron generadas por el incremento en el volumen del acero corroído, generando expansiones en el concreto que no fueron soportadas por la resistencia del concreto a tensión y por eso se agrietaron las vigas.

Además, se observó que las grietas que aumentaron en menor proporción su longitud con el tiempo fueron aquellas que se encontraban en la zona donde no se tenía acero de refuerzo. Otro aspecto importante a señalar es que efectivamente las grietas surgieron en la zona central de la viga, que fue el lugar donde se añadió la contaminación de NaCl al momento de la fabricación de las mismas. Esto concuerda con la idea de que en esa zona estaba más activa por corrosión y se formó el ánodo antes de aplicar la corriente. También el cloruro ayudó a que la resistencia al paso de corriente sea menor, así la corriente anódica fue más centralizada a esta zona y posiblemente las porciones del acero de presfuerzo fuera de esta zona central no se hayan corroído igual.

Como puede observarse de las Tablas 6.1 a la 6.3 y las Figuras 6.1 a la 6.3, los resultados obtenidos de la longitud de cada grieta, en cada viga, en función del tiempo, todas las grietas fueron incrementando su longitud. La aparición de grietas por corrosión antes de la aplicación de la corriente anódica fue debido a que la parte central de las vigas poseía contaminación por cloruros desde la fabricación de las mismas, y el inicio de la aplicación de la corriente acelerada se retrasó más de lo planeado por la adecuación del equipo para aplicar la corriente anódica para acelerar la corrosión del acero (galvanostato), lo que generó una espera de poco más de 200 días después de la fabricación de las vigas.

En la Figura 6.4 se muestra de manera gráfica las longitudes acumuladas de todas las grietas existentes en cada una de los especímenes probados, que corresponden a los valores de la última fila de la Tabla 6.1 a la 6.3.

Al iniciar la medición de grietas se pudo observar cómo éstas se encontraban presentes incluso antes de la conexión del galvanostato, sin embargo, a partir de la conexión de éste fue que el incremento se hizo más notorio. En la longitud de grietas acumulas el incremento antes de la conexión del equipo fue de 0.30 cm/día, mientras que el incremento a partir de la conexión fue de 2 cm/día, sin embargo, esta velocidad no se vio reflejada sólo



por el aumento en la longitud de las grietas ya existentes, sino que también se tuvo un incremento promedio de 1.9 la cantidad de grietas por viga. Esto nos indica que el gran cambio se sufre no en la longitud individual de cada grieta, sino en la generación de nuevas grietas, generándose prácticamente el doble de grietas en aproximadamente una cuarta parte del tiempo de vida de los especímenes.

Como puede observarse, las tres vigas mostraron acumulados en el tiempo muy similares, sobre todo dos de ellas (VCPC1 y VCPC2), aunque la tercera no estuvo tan diferente como las otras dos.

Es también interesante observar que las pendientes de estas tres líneas son del mismo rango: 2.3 para VCPC 1, 2.10 para VCPC 2 y 1.48 para VCPC 3. En el caso de las pendientes se puede observar que las vigas VCPC2 y VCPC3 son muy similares, en cambio la VCPC1 alcanzó una pendiente un poco mayor, indicativo que el proceso de propagación de longitud de las grietas aparecidas por corrosión del acero de presfuerzo fue más rápido en esta última (VCPC1) comparado con las otras dos vigas.

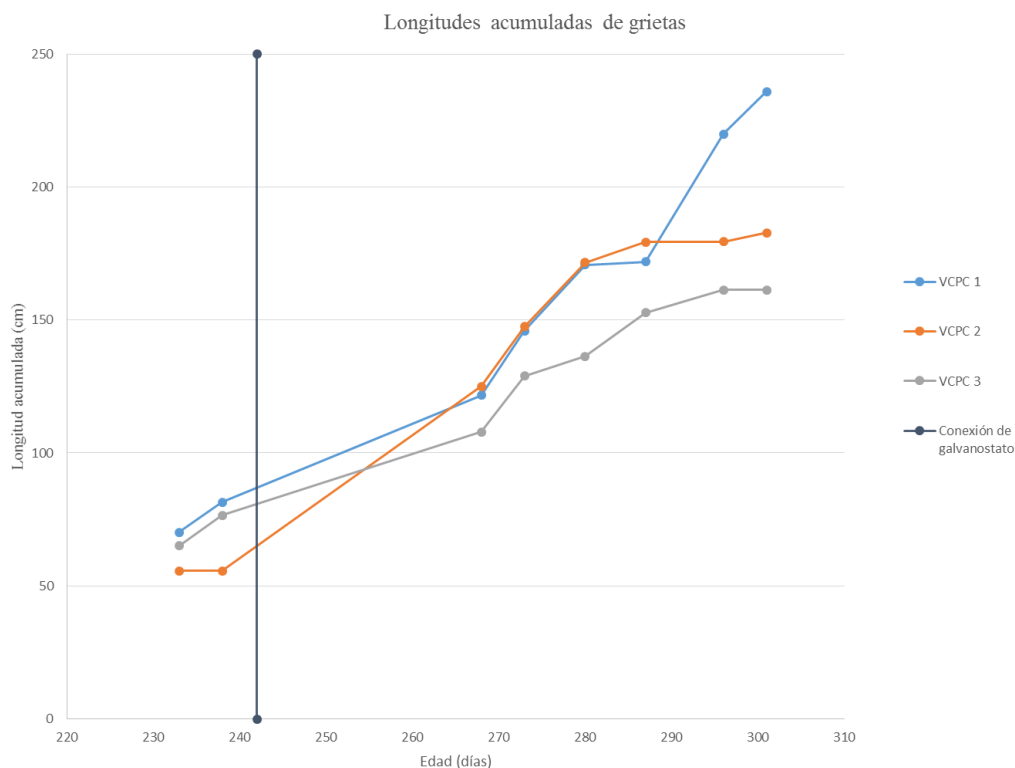


Figura 6.4. Longitud acumulada de grietas.



6.1.3 Medición de anchos de grietas

En las tablas 6.4 a 6.5 se presentan los anchos de grietas medidos en la zona inferior de las vigas sometidas al proceso de corrosión. Cabe señalar que las tablas contienen los anchos máximos registrados a diferentes edades, y no los promedios, esto debido a que el promedio puede causar una interpretación errónea de los datos, ya que al incrementarse la longitud de la grieta los anchos de grieta en los extremos son pequeños, lo que arroja como resultado un promedio pequeño, comparado con los anchos relativamente grandes que pudieran existir en los centros de las grietas. Sin embargo, todas las mediciones se presentan en el apartado anexo.

Tabla 6.4. Anchos de grieta acumulados a diferentes edades de la viga VCPC 1.

VCPC 1								
Grieta / Ancho (mm)	233 días	238 días	268 días	273 días	280 días	287 días	296 días	301 días
Grieta 1	0.15	0.15	0.15	0.15	0.25	0.25	0.30	0.30
Grieta 2	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.15	0.20	0.20
Grieta 3	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.20	0.20
Grieta 4	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15	0.20	0.20
Grieta 5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.30	0.30	0.30	0.33
Grieta 6	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15
Grieta 7	-	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10
Grieta 8	-	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Grieta 9	-	-	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Grieta 10	-	-	0.08	0.08	0.08	0.08	0.15	0.15
Grieta 10a	-	-	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Grieta 11	-	-	0.08	0.08	0.20	0.20	0.25	0.25
Grieta 11a	-	-	-	-	-	-	0.08	0.08
Grieta 12	-	-	-	-	-	-	0.08	0.1
Grieta 13	-	-	-	-	-	-	0.08	0.08
Grieta 14	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1
Grieta 15	-	-	-	-	-	-	-	0.1
Acumulado de anchos	0.78	0.94	1.31	1.31	1.58	1.70	2.41	2.58



Tabla 6.5. Anchos de grieta acumulados a diferentes edades de la viga VCPC 2.

VCPC 2								
Grieta / Ancho (mm)	233 días	238 días	268 días	273 días	280 días	287 días	296 días	301 días
Grieta 1	0.08	0.08	0.08	0.08	0.1	0.1	0.1	0.1
Grieta 2	0.08	0.08	0.08	0.1	0.1	0.15	0.15	0.15
Grieta 3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
Grieta 4	0.15	0.15	0.15	0.25	0.25	0.25	0.3	0.3
Grieta 5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Grieta 6	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.1	0.1	0.1
Grieta 7	-	-	0.08	0.08	0.08	0.1	0.1	0.1
Grieta 8	-	-	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Grieta 1a	-	-	-	0.08	0.08	0.1	0.1	0.1
Grieta 9	-	-	-	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Grieta 10	-	-	-	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Grieta 11	-	-	-	-	0.08	0.1	0.1	0.1
Grieta 12	-	-	-	-	0.08	0.1	0.1	0.1
Grieta 4a	-	-	-	-	-	0.08	0.08	0.08
Acumulado de anchos	0.74	0.74	0.9	1.26	1.54	1.77	1.82	1.82

Tabla 6.5. Anchos de grieta acumulados a diferentes edades de la viga VCPC 2.

VCPC 3								
Grieta /Ancho (mm)	233 días	238 días	268 días	273 días	280 días	287 días	296 días	301 días
Grieta 1	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Grieta 2	0.08	0.08	0.08	0.25	0.3	0.3	0.3	0.3
Grieta 3	0.1	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2
Grieta 4	0.08	0.08	0.08	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Grieta 5	0.08	0.08	0.08	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Grieta 6	0.08	0.08	0.08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Grieta 7	0.08	0.08	0.08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Grieta 8	0.15	0.15	0.15	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Grieta 9	-	0.08	0.08	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Grieta 10	-	-	0.08	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2
Grieta 8a	-	-	-	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Grieta 11	-	-	-	-	-	0.08	0.08	0.08
Grieta 12	-	-	-	-	-	0.08	0.08	0.08
Acumulado de anchos	0.73	0.86	0.94	1.81	1.91	2.12	2.12	2.12



La figura 6.5 muestra los acumulados de anchos de grieta medidos en las tres vigas sometidas al proceso de corrosión acelerado.

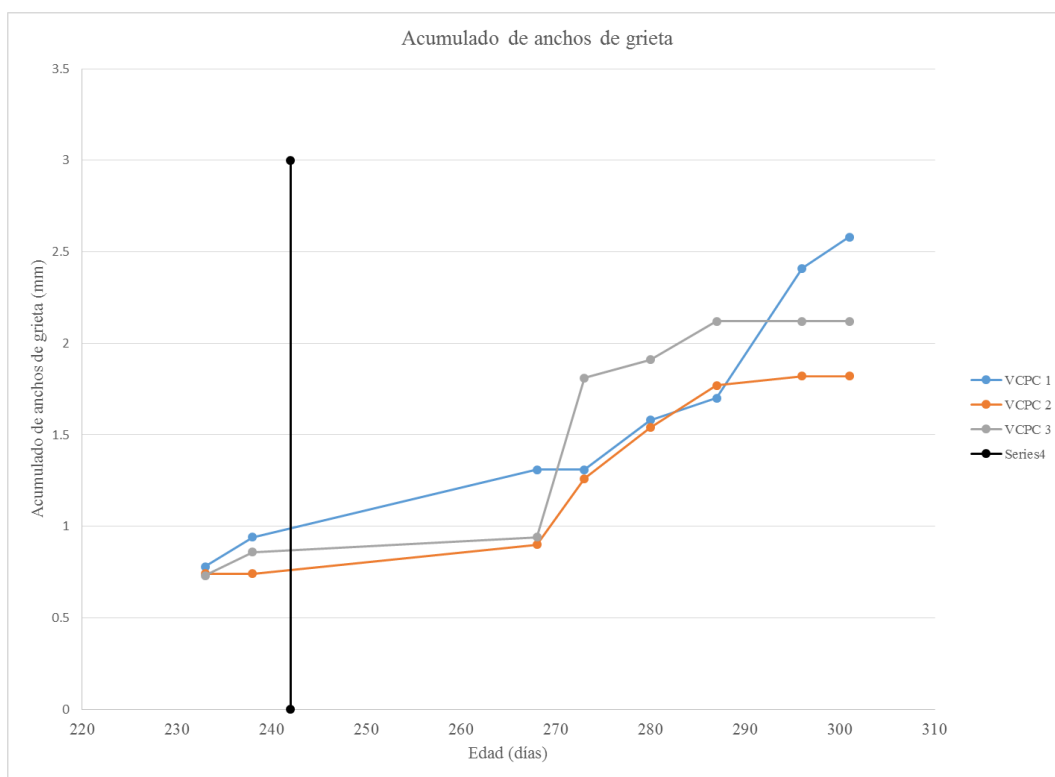


Figura 6.5. Acumulado de anchos de grieta de especímenes VCPC 1, VCPC 2 y VCPC 3

Al observar las mediciones de los anchos de grieta se encontró que éstos se incrementaron a partir de la aplicación de la corriente anódica. Se observó también que a los 238 días de edad la estructura, aún sin ser conectada al galvanostato, presentaba un acumulativo de anchos promedio de 0.85 mm, lo que corresponde a un acumulado de anchos de 0.0036 mm/día.

Después de haber estado conectada la viga al galvanostato este promedio aumentó a 0.036 mm/día, lo que representa un incremento 10 veces mayor a un cuarto de tiempo, aproximadamente, en relación al transcurrido desde la elaboración de las especímenes vigas hasta la conexión del galvanostato.

La captura de anchos máximos se presenta en el anexo de este trabajo, esto debido a la cantidad de datos que se generaron, cabe señalar que el ancho de grieta máximo que se presentó fue de 0.33 mm.



6.2 Estimación de la corrosión aplicada a las barras de presfuerzo

6.2.1 Corriente total aplicada

El sistema usado para acelerar la corrosión se le denomina galvanostato, porque mantiene la corriente galvánica lo más constante posible (por eso el nombre de galvanostato – corriente- estado-constante). El equipo utilizado fue prestado por el Instituto Mexicano del Transporte, y al cual se le hicieron unas adecuaciones en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la UMSNH.

Para determinar el valor de la corriente aplicada, se fabricó además un panel de medición de voltaje entre los extremos de unas resistencias de valor conocido. Así con la Ley de Ohm (Voltaje (V) = Corriente Total (I) x Resistencia (R)), sabiendo la resistencia y midiendo el voltaje se obtienen los valores de corriente galvánica aplicada. Los resultados de este monitoreo, convertidos a corriente galvánica, se muestran en la tabla 6.6 y las figuras 6.6 y 6.7.

Tabla 6.6. Historial de corriente galvánica medida.

Lectura	VCPC 1 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	VCPC 2 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	VCPC 3 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Lectura	VCPC 1 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	VCPC 2 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	VCPC 3 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
1	39000	40000	39000	20	40000	41300	40300
2	39000	40000	39000	21	40000	41300	40300
3	39000	40800	39800	22	40000	41300	40300
4	39500	40800	39800	23	40000	41300	40300
5	39500	40800	39800	24	40000	41300	40400
6	39500	41000	39900	25	40000	41300	40400
7	39800	41000	39900	26	40000	41300	40400
8	39800	41000	39900	27	40000	41300	40400
9	39800	41100	39900	28	40000	41300	40400
10	39900	41200	40000	29	40000	41300	40400
11	39900	41200	40000	30	40000	41300	40400
12	39900	41200	40200	31	40000	41300	40400
13	39900	41200	40200	32	40000	41400	40400
14	39900	41200	40200	33	40000	41400	40400
15	39900	41200	40300	34	40000	41400	40400
16	39900	41200	40300	35	40000	41400	40400
17	39900	41300	40300	36	40000	41400	40400
18	39900	41300	40300	37	40000	41400	40400
19	39900	41300	40300				

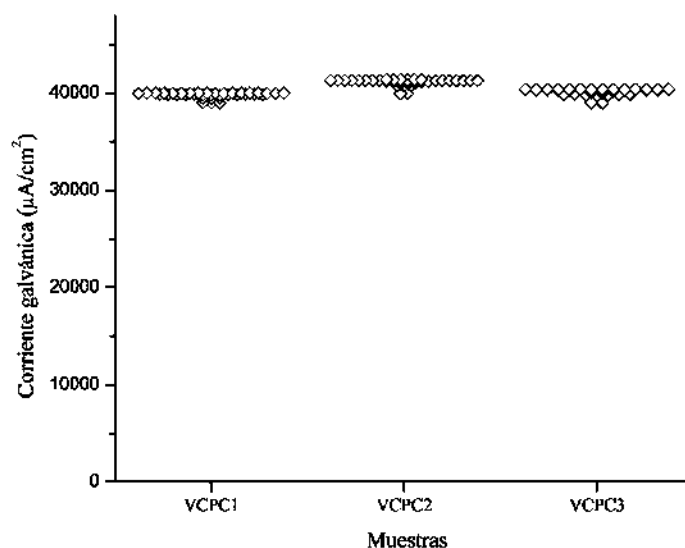


Figura 6.6. Corriente galvánica suministrada a las vigas.

Con la intención de llevar a cabo una medición más depurada se presenta a continuación un diagrama de caja para poder identificar posibles valores atípicos.

Dichos datos no afectarán de manera importante en este cálculo en particular al resultado final, sin embargo es importante hacer uso de los recursos disponibles para contar con mediciones más exactas.

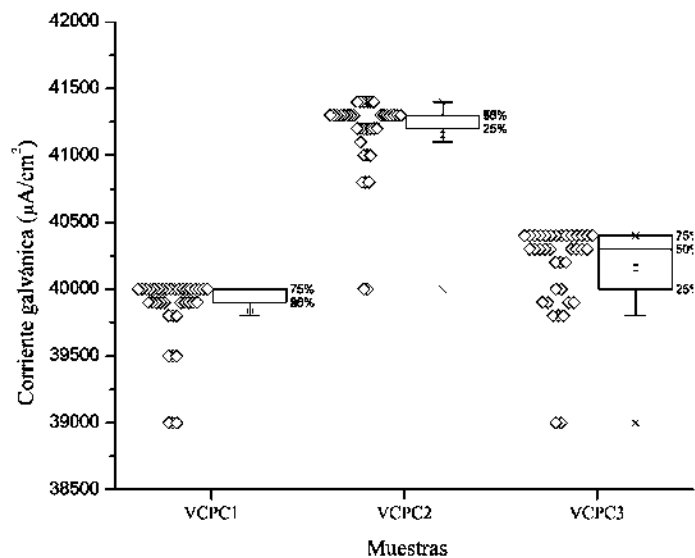


Figura 6.7. Diagrama de caja de corrientes galvánicas medidas.



6.2.2 Densidad de corrosión

A continuación se presenta el cálculo y el resultado de la velocidad de corrosión de las vigas conectadas al galvanostato.

Recordando que:

$$V = R * I$$

donde:

V = voltaje (V)

R = resistencia (ohms)

I = intensidad de corriente (Amperios)

datos:

V = [400, 413, 402] mV

R = 10 ohm

por lo tanto:

$$VCPC\ 1: I = \frac{0.4\ V}{10\ ohm} = 0.04\ Amperios = 40,000\ \mu A$$

$$VCPC\ 2: I = \frac{0.413\ V}{10\ ohm} = 0.0413\ Amperios = 41,300\ \mu A$$

$$VCPC\ 3: I = \frac{0.402\ V}{10\ ohm} = 0.0402\ Amperios = 40,200\ \mu A$$

Estos valores son los promedios obtenidos durante el tiempo de aplicación de la corriente galvánica a las cuatro barras de presfuerzo de cada una de las tres vigas corroídas, VCPC1, VCPC2 y VCPC3, correspondientes a 64 días.

Para determinar la densidad de corriente aplicada a las barras de presfuerzo de cada una de las vigas evaluadas, los valores de corriente total aplicada se deben de dividir entre el área corroída. Esta área se determinó una vez terminada la aplicación de la corriente, después



de haber realizado las pruebas destructivas a las vigas de flexión y se hayan recuperado las barras de presfuerzo al final.

En la Figura 6.7 se muestra un ejemplo de cómo quedaron las zonas activas por corrosión con óxidos rojizos, que ayudó a determinar la longitud corroída de cada barra de presfuerzo. A continuación se hacen estos cálculos de longitud corroída:



Figura 6.7. Zonas activas por corrosión con óxidos rojizos en el acero de presfuerzo.

Longitud del área afectada por corrosión en VCPC 1 = 100 cm

Longitud total afectada por corrosión = 100 cm * 4 (no. de varillas)= 400 cm

Longitud del área afectada por corrosión en VCPC 2 = 100 cm

Longitud total afectada por corrosión = 90 cm * 4 (no. de varillas)= 360 cm

Longitud del área afectada por corrosión en VCPC 3 = 110cm

Longitud total afectada por corrosión = 110 cm * 4 (no. de varillas)= 440 cm

Los valores de la longitud corroída de refuerzo y de cada viga se usaron para que, con el perímetro de las mismas barras de presfuerzo, se estimara el área corroída como a continuación se muestra:

$$\text{Densidad de corrosión} = \frac{\text{densidad de corriente } (\mu A)}{\text{área afectada por corrosión } (cm^2)}$$



donde

Área afectada por corrosión = longitud total afectada por corrosión * perímetro de la varilla

Por lo tanto:

$$\text{Densidad de corrosión VCPC 1} = \frac{40000 \mu A}{628.3185 \text{ cm}^2} = 63.66 \mu A/\text{cm}^2$$

$$\text{Densidad de corrosión VCPC 2} = \frac{41300 \mu A}{565.487 \text{ cm}^2} = 73.03 \mu A/\text{cm}^2$$

$$\text{Densidad de corrosión VCPC 3} = \frac{40200 \mu A}{691.1504 \text{ cm}^2} = 58.16 \mu A/\text{cm}^2$$

Densidad de corrosión promedio = $64.95 \mu A/\text{cm}^2$

La tabla 6.6 presenta los valores para i_{corr} en términos de vida útil, de acuerdo al Manual de la Red DURAR (1998):

Tabla 6.6. Clasificación de los valores de i_{corr} en términos de vida útil

$i_{corr}(\frac{\mu A}{cm^2})$	Nivel de Corrosión
< 0.1	Despreciable
0.1 – 0.5	Moderado
0.5 - 1	Elevado
> 1	Muy elevada

Lo anterior muestra que el resultado en las vigas en estudio está en un rango muy elevado, sin embargo la misma Red DURAR señala que en estudios de laboratorio se han



tenido resultados del orden de $100 - 200 \mu A/cm^2$. Por lo que los resultados obtenidos cumplen con esta última consideración.

6.2.3 Velocidad de corrosión

Recordando que existe una relación entre densidad de corriente y velocidad de corrosión ($1 \text{ mm/y} = 86.102 \mu A/cm^2$), se determina que la tenemos que la velocidad de corrosión promedio fue de 0.7543 mm/y . Es decir que en un año las barras de acero de presfuerzo, a la densidad de corriente aplicada, perderían 0.75 mm de radio.

Este último resultado nos indica que el elemento se encuentra en un alto riesgo debido a la corrosión, de acuerdo con lo especificado en el Manual de la Red DURAR (1998). Cabe mencionar que la clase de corrosión que se observó en el acero al ser limpiado después de la prueba de tensión fue de tipo localizada, lo cual concuerda con lo dicho por Torres et al (2002) sobre el incremento en la concentración de esfuerzos por causa de la picadura en el acero, este fenómeno se puede observar en la siguiente imagen de una varilla extraída de una de las vigas.



Figura 6.8. Estado de varilla extraída después de haber llevado a cabo la prueba de tensión.



6.2.4 Pérdida de masa teórica (Faradaica)

De acuerdo a Torres - Acosta (1999), el cálculo de la pérdida de masa teórica se realizó con la siguiente expresión:

$$\Delta W = 25 * I_p * t_{CRACK}$$

donde:

ΔW = Pérdida de masa teórica (g)

I_p = Corriente total aplicada (Amperios)

t_{crack} = Tiempo de durante el cual se aplicó la corriente (días)

$$\Delta W = 25 * 0.04 * 64 = 64 \text{ gramos}$$

Los 64 gramos se consideran por cada viga conectada, considerando una longitud total de acero afectado por corrosión de 400 cm en cada elemento, se tiene el siguiente cálculo para la pérdida de masa por metro lineal:

Si se pierden 64 gramos en 400 cm, entonces en un metro se pierden

$$\text{Pérdida de masa teórica por metro lineal} = \frac{0.064 \text{ kg}}{4.0 \text{ m}} = 0.016 \text{ kg/ml}$$

Este cálculo será comparado con la pérdida de masa gravimétrica en las varillas embebidas en las vigas después de haber sido probadas a flexión. Este cálculo se realizará más adelante en la sección 6.4 después de rescatar las barras de presfuerzo luego de haber realizado la prueba de carga a flexión, haber limpiado estas barras y conocer la pérdida gravimétrica del acero.



6.3 Pruebas destructivas a flexión a tres puntos

6.3.1 Diagramas Carga – Deformación de las pruebas de flexión

En las tablas 6.7 a 6.12 se presentan los resultados de las pruebas de carga – deformación en el centro del claro de las vigas. La medición de la deformación en las vigas se detuvo antes de que el elemento pudiera fracturarse, esto con la finalidad de no afectar al medidor de deformación colocado en el centro entre los apoyos de la viga. Como se desconocía el punto real de fluencia de ese acero, la prueba se consideró apropiado para observar la relación que existía entre la carga y la deformación en la zona elástica, antes de que llegara al punto de fluencia y se llegue a la zona plástica del elemento (cuando la fuerza no incrementa y solo incrementa la deformación). Estos valores se graficaron en la Figura 6.9 que también se presenta más adelante.

Tabla 6.7. Deformaciones medidas al centro del claro en el espécimen VCPC 1.

VCPC 1							
Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)
0.10	79	2.10	544	4.10	894	6.10	1157
0.20	95	2.20	576	4.20	900	6.20	1162
0.30	125	2.30	583	4.30	940	6.30	1172
0.40	140	2.40	610	4.40	960	6.40	1181
0.50	167	2.50	642	4.50	974	6.50	1194
0.60	192	2.60	666	4.60	1000	6.60	1212
0.70	221	2.70	676	4.70	1000	6.70	1217
0.80	242	2.80	705	4.80	1000	6.80	1225
0.90	259	2.90	713	4.90	1015	6.90	1233
1.00	290	3.00	732	5.00	1029	7.00	1237
1.10	308	3.10	755	5.10	1036	7.10	1243
1.20	338	3.20	767	5.20	1052	7.20	1246
1.30	362	3.30	786	5.30	1064	7.30	1253
1.40	394	3.40	811	5.40	1082	7.40	1260
1.50	411	3.50	824	5.50	1087	7.50	1267
1.60	444	3.60	835	5.60	1100	7.60	1273
1.70	461	3.70	840	5.70	1111	7.70	1290
1.80	472	3.80	857	5.80	1125	7.80	1293
1.90	511	3.90	894	5.90	1134	7.90	1330
2.00	530	4.00	894	6.00	1135	8.00	1340



Tabla 6.8. Deformaciones medidas al centro del claro en el espécimen VCPC 2.

VCPC 2							
Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)
0.10	71	2.10	516	4.10	936	6.10	1227
0.20	91	2.20	532	4.20	950	6.20	1249
0.30	93	2.30	579	4.30	967	6.30	1258
0.40	112	2.40	590	4.40	985	6.40	1260
0.50	126	2.50	619	4.50	996	6.50	1273
0.60	146	2.60	630	4.60	1022	6.60	1276
0.70	170	2.70	650	4.70	1046	6.70	1286
0.80	196	2.80	681	4.80	1070	6.80	1300
0.90	227	2.90	706	4.90	1074	6.90	1313
1.00	250	3.00	726	5.00	1087	7.00	1325
1.10	285	3.10	747	5.10	1103	7.10	1334
1.20	310	3.20	766	5.20	1118	7.20	1347
1.30	332	3.30	790	5.30	1141	7.30	1356
1.40	353	3.40	800	5.40	1146	7.40	1368
1.50	370	3.50	820	5.50	1150	7.50	1372
1.60	400	3.60	862	5.60	1165	7.60	1391
1.70	436	3.70	875	5.70	1177	7.70	1430
1.80	452	3.80	887	5.80	1191	7.80	1450
1.90	476	3.90	909	5.90	1198	7.90	1461
2.00	488	4.00	916	6.00	1216	8.00	1470

Tabla 6.9. Deformaciones medidas al centro del claro en el espécimen VCPC 3.

VCPC 3							
Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)
0.10	21	2.10	420	4.10	759	6.10	1000
0.20	30	2.20	444	4.20	772	6.20	1010
0.30	43	2.30	466	4.30	786	6.30	1020
0.40	61	2.40	482	4.40	800	6.40	1029
0.50	76	2.50	500	4.50	812	6.50	1037
0.60	100	2.60	522	4.60	828	6.60	1044
0.70	122	2.70	543	4.70	842	6.70	1058
0.80	143	2.80	560	4.80	853	6.80	1061
0.90	164	2.90	575	4.90	862	6.90	1070
1.00	186	3.00	594	5.00	873	7.00	1077
1.10	206	3.10	612	5.10	887	7.10	1085
1.20	230	3.20	626	5.20	900	7.20	1091
1.30	243	3.30	640	5.30	910	7.30	1099
1.40	263	3.40	655	5.40	924	7.40	1106
1.50	290	3.50	670	5.50	935	7.50	1112
1.60	311	3.60	685	5.60	949	7.60	1122
1.70	332	3.70	700	5.70	960	7.70	1128
1.80	359	3.80	718	5.80	968	7.80	1133
1.90	384	3.90	732	5.90	980	7.90	1143
2.00	400	4.00	744	6.00	989	8.00	1152



Tabla 6.10. Deformaciones medidas al centro del claro en el espécimen TEST 1.

TEST 1					
Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)
0.10	65	2.10	598	4.10	1132
0.20	91	2.20	628	4.20	1165
0.30	117	2.30	652	4.30	1194
0.40	144	2.40	680	4.40	1230
0.50	168	2.50	704	4.50	1426
0.60	196	2.60	735	4.60	1448
0.70	218	2.70	777	4.70	1465
0.80	246	2.80	780	4.80	1483
0.90	271	2.90	814	4.90	1497
1.00	297	3.00	834	5.00	1506
1.10	322	3.10	866		
1.20	351	3.20	894		
1.30	375	3.30	920		
1.40	405	3.40	943		
1.50	431	3.50	969		
1.60	462	3.60	995		
1.70	493	3.70	1023		
1.80	516	3.80	1049		
1.90	542	3.90	1081		
2.00	568	4.00	1102		

Tabla 6.11. Deformaciones medidas al centro del claro en el espécimen TEST 2.

TEST 2							
Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)
0.10	79	2.10	570	4.10	1058	6.10	1513
0.20	109	2.20	600	4.20	1080	6.20	1528
0.30	136	2.30	622	4.30	1103	6.30	1619
0.40	166	2.40	657	4.40	1128	6.40	1634
0.50	190	2.50	673	4.50	1158	6.50	1645
0.60	217	2.60	694	4.60	1181	6.60	1660
0.70	246	2.70	711	4.70	1198	6.70	1673
0.80	274	2.80	730	4.80	1250	6.80	1688
0.90	293	2.90	758	4.90	1275	6.90	1705
1.00	308	3.00	780	5.00	1293	7.00	1715
1.10	332	3.10	813	5.10	1320	7.10	1728
1.20	360	3.20	835	5.20	1340	7.20	1741
1.30	390	3.30	863	5.30	1364	7.30	1751
1.40	417	3.40	890	5.40	1382	7.40	1765
1.50	440	3.50	912	5.50	1403	7.50	1776
1.60	455	3.60	938	5.60	1426	7.60	1785
1.70	477	3.70	962	5.70	1449	7.70	1797
1.80	495	3.80	980	5.80	1467	7.80	1810
1.90	521	3.90	1011	5.90	1478	7.90	1818
2.00	546	4.00	1033	6.00	1495	8.00	1825



Tabla 6.12. Deformaciones medidas al centro del claro en el espécimen TEST 3.

TEST 3							
Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)	Deformación (mm)	Carga (kgf)
0.10	102	2.10	674	4.10	1243	6.10	1740
0.20	144	2.20	700	4.20	1305	6.20	1757
0.30	170	2.30	724	4.30	1336	6.30	1770
0.40	197	2.40	755	4.40	1353	6.40	1789
0.50	225	2.50	782	4.50	1425	6.50	1798
0.60	254	2.60	810	4.60	1451	6.60	1815
0.70	282	2.70	836	4.70	1476	6.70	1826
0.80	310	2.80	863	4.80	1496	6.80	1838
0.90	338	2.90	890	4.90	1516	6.90	1851
1.00	366	3.00	923	5.00	1531	7.00	1862
1.10	396	3.10	946	5.10	1550	7.10	1879
1.20	422	3.20	972	5.20	1576	7.20	1890
1.30	446	3.30	999	5.30	1600	7.30	1907
1.40	473	3.40	1039	5.40	1619	7.40	1919
1.50	502	3.50	1053	5.50	1639	7.50	1932
1.60	529	3.60	1085	5.60	1657	7.60	1948
1.70	560	3.70	1138	5.70	1678	7.70	1960
1.80	589	3.80	1171	5.80	1691	7.80	1972
1.90	615	3.90	1197	5.90	1708	7.90	1983
2.00	640	4.00	1214	6.00	1724	8.00	2004

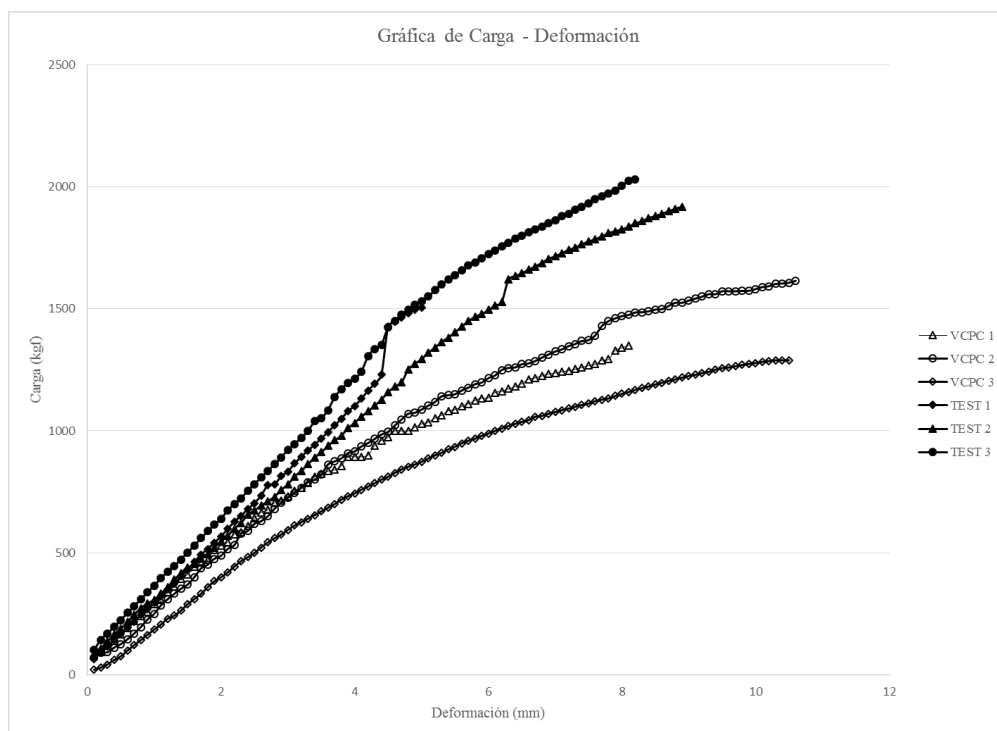


Figura 6.9. Deformaciones presentes al momento de realizar la prueba de flexión en las vigas elaboradas.



En la gráfica 6.9 se observa cómo es que las probetas que estuvieron bajo el proceso de corrosión (vigas VCPC) presentan una pendiente Carga – Deformación menor que aquellas que no estuvieron conectadas al galvanostato (vigas TEST o testigo), lo cual indica una pérdida de rigidez en el elemento ocasionada por la aparición de grietas generadas por corrosión en el acero de refuerzo. Esto corrobora lo obtenido por Torres Acosta et al. (2004) en donde vigas pequeñas reforzadas corroídas también mostraron una disminución de su rigidez en comparación con vigas sin corroer o vigas control.

6.3.2 Carga máxima en flexión obtenida

En la tabla 6.13 se presentan las cargas máximas en flexión obtenidas que soportaron las vigas corroídas (VCPC), después de haber estado conectadas 64 días al galvanostato, así como las cargas soportadas por las vigas que no fueron sometidas a este proceso (TEST).

Tabla 6.13. Cargas últimas a flexión en especímenes TEST y VCPC

Especimen	Carga (kgf)	Carga promedio (kgf)
TEST 1	2588	2608
TEST 2	2556	
TEST 3	2681	
VCPC 1	1538	1543
VCPC 2	1698	
VCPC 3	1393	

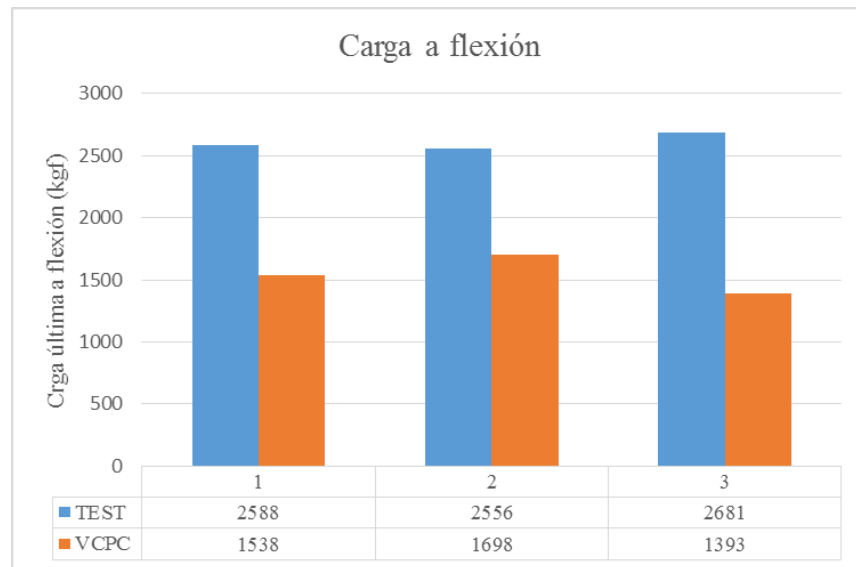


Figura 6.10. Gráfica de cargas últimas a flexión en especímenes TEST y VCPC.

Para la prueba de flexión se puede observar en la gráfica 6.10 como existe una disminución en la capacidad de carga en aquellas vigas que fueron sometidas al proceso de corrosión. La disminución fue en promedio de 1065 kgf, lo que representa una disminución promedio del 41% en la capacidad de carga del elemento. Esta definición se da a partir de la aparición de las grietas generadas por corrosión, ya que los esfuerzos generados en la viga se liberan a través de las grietas existentes, ocasionando una falla más rápida.



6.4 Caracterización del acero de refuerzo extraído de las vigas

Una vez terminadas las pruebas destructivas de resistencia a la flexión, o capacidad de carga en flexión, las vigas fueron llevadas a una zona para demoler el concreto y verificar el estado de corrosión de las barras de presfuerzo, mediante un levantamiento de caracterización superficial en ellas.

En las siguientes Tablas 6.14 a la 6.17 se muestra los datos del levantamiento de caracterización superficial que se le hizo al acero embebido en el concreto una vez realizada la prueba de flexión. La prueba se realizó en las varillas superiores sin corrosión (cátodos), como en las inferiores con corrosión acelerada (ánodos).

El primer valor obtenido de caracterización del acero de presfuerzo fue el del diámetro efectivo que, como se explicó en el Capítulo 5, se midió el diámetro del acero de presfuerzo, luego de limpiarlo con una carda de los productos de corrosión formados y pegados en su superficie, utilizando un vernier, tomando un aproximado de 5 mediciones por varilla a todo lo largo. Teniendo este valor aproximado de diámetro efectivo, se estimó el área efectiva del acero de presfuerzo después de la corrosión.

Una vez determinado este valor se procedió con el corte de las barras de presfuerzo como se explica en el Capítulo 5. Este seccionamiento de aproximadamente 15 cm fue para calcular la pérdida de masa del acero al finalizar la corrosión acelerada. Esta pérdida de masa se dividió por la longitud del tramo seccionado para estimar la pérdida de masa por unidad de longitud. Estos valores también fueron colocados en las Tablas 6.14 a la 6.17 para cada una de las barras de presfuerzo caracterizadas.



Tabla 6.14. Caracterización de las varillas embebidas en el concreto, las cuales trabajaron como cátodos en las tres vigas conectadas al galvanostato.

ENSAYE No.	1	2	3
MUESTRA No.	VCPC 1, 2, 3 (CÁTODOS)		
DIÁMETRO NOMINAL (mm.)	5.00	5.00	5.00
ÁREA NOMINAL (cm ²)	0.196	0.196	0.196
DIÁMETRO EFECTIVO (mm.)	5.20	5.00	4.70
ÁREA EFECTIVA (cm ²)	0.20	0.20	0.20
MASA POR METRO LINEAL (kg/m)	0.154	0.153	0.154
SEPARACIÓN DE CORRUGACIONES (mm)	5.7	5.3	5.5
ALTURA DE CORRUGACIONES (mm)	0.8	0.7	1.0
ALTURA DE NERVADURAS (mm)	n	n	n
TIPO DE CORRUGACIÓN	diagonal	diagonal	diagonal

Tabla 6.15. Caracterización de las varillas embebidas en el concreto, las cuales trabajaron como cátodos en las tres vigas conectadas al galvanostato.

ENSAYE No.	1	2	3
MUESTRA No.	VCPC 1 (ÁNODOS)		
DIÁMETRO NOMINAL (mm.)	5.00	5.00	5.00
ÁREA NOMINAL (cm ²)	0.196	0.196	0.196
DIÁMETRO EFECTIVO (mm.)	4.70	4.80	4.80
ÁREA EFECTIVA (cm ²)	0.19	0.17	0.18
MASA POR METRO LINEAL (kg/m)	0.146	0.136	0.138
SEPARACIÓN DE CORRUGACIONES (mm)	5.6	5.6	5.9
ALTURA DE CORRUGACIONES (mm)	0.0	0.0	0.0
ALTURA DE NERVADURAS (mm)	n	n	n
TIPO DE CORRUGACIÓN	diagonal	diagonal	diagonal



Tabla 6.16. Caracterización de las varillas embebidas en el concreto, las cuales trabajaron como cátodos en las tres vigas conectadas al galvanostato.

ENSA YE No.	1	2	3
MUESTRA No.	VCPC 2 (ÁNODOS)		
DIÁMETRO NOMINAL (mm.)	5.00	5.00	5.00
ÁREA NOMINAL (cm ²)	0.196	0.196	0.196
DIÁMETRO EFECTIVO (mm.)	4.74	4.65	4.70
ÁREA EFECTIVA (cm ²)	0.17	0.17	0.17
MASA POR METRO LINEAL (kg/m)	0.135	0.132	0.134
SEPARACIÓN DE CORRUGACIONES (mm)	5.5	5.5	5.5
ALTURA DE CORRUGACIONES (mm)	0.0	0.0	0.0
ALTURA DE NERVADURAS (mm)	n	n	n
TIPO DE CORRUGACIÓN	diagonal	diagonal	diagonal

Tabla 6.16. Caracterización de las varillas embebidas en el concreto, las cuales trabajaron como cátodos en las tres vigas conectadas al galvanostato

ENSA YE No.	1	2	3
MUESTRA No.	VCPC 3 (ÁNODOS)		
DIÁMETRO NOMINAL (mm.)	5.00	5.00	5.00
ÁREA NOMINAL (cm ²)	0.196	0.196	0.196
DIÁMETRO EFECTIVO (mm.)	4.90	4.70	4.70
ÁREA EFECTIVA (cm ²)	0.19	0.18	0.18
MASA POR METRO LINEAL (kg/m)	0.146	0.138	0.141
SEPARACIÓN DE CORRUGACIONES (mm)	5.8	5.5	5.5
ALTURA DE CORRUGACIONES (mm)	0.0	0.0	0.0
ALTURA DE NERVADURAS (mm)	n	n	n
TIPO DE CORRUGACIÓN	diagonal	diagonal	diagonal



Los valores de pérdida de masa se muestran de manera gráfica en la Figura 6.# a continuación, tanto en la barra denominada cátodo como en las barras determinadas ánodos por separado.

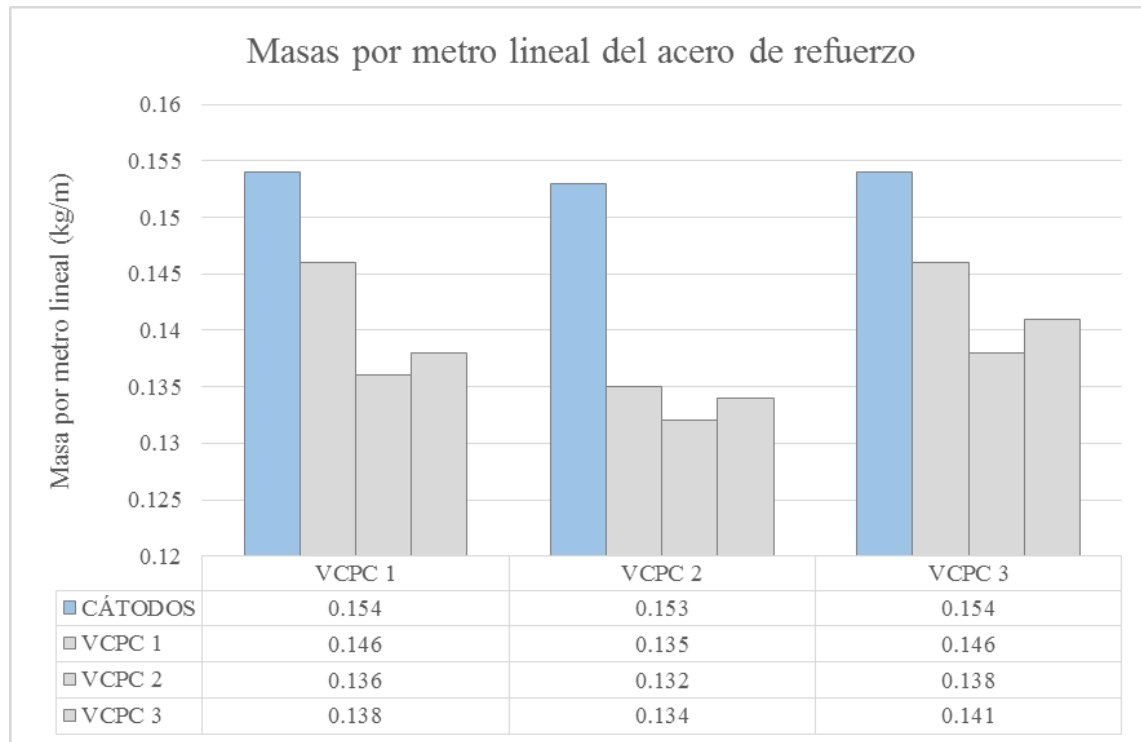


Figura 6.11. Masa por metro lineal del acero de refuerzo.

Ahora, comparando los valores de masa pérdida Faradámica (o teórica) y la masa perdida gravimétrica se obtuvieron los valores promedio siguientes:

Pérdida de masa teórica = 0.016 kg/ml

Pérdida de masa gravimétrica = 0.0152 kg/ml

Aquí podemos observar como el valor teórico y el gravimétrico (o real) son muy próximos entre sí, lo que hace que el sistema usado tuviera una eficiencia adecuada. Si se divide la pérdida gravimétrica entre la pérdida teórica, se obtiene la eficiencia del sistema, si este valor fuera igual a 1, entonces el sistema sería cien por ciento eficiente, para el caso de esta investigación se tiene que:



$$\text{Porcentaje de Eficiencia} = \frac{0.0152 \text{ kg/ml}}{0.016 \text{ kg/ml}} = 0.95$$

Lo cual indica que el equipo estuvo funcionando con una eficiencia del 95%.

A continuación la Tabla 6.17 presenta los valores de pérdida de masa promedio de las tres barras de presfuerzo para las tres vigas evaluadas.

Tabla 6.17. Pérdida de masa por metro lineal en el acero de refuerzo.

Especimen	Masa inicial (kg/m)	Masa final (kg/m)	Masa perdida (kg/m)	Promedio de masa perdida (kg/m)	Porcentaje de pérdida
VCPC 1	0.154	0.1400	0.0140	0.0152	9%
VCPC 2	0.153	0.1337	0.0193		13%
VCPC 3	0.154	0.1417	0.0123		8%

Es claro observar que los valores de pérdida de masa para las vigas VCPC1 y VCPC2 fueron mayores (9% y 13%, respectivamente) que la obtenida en las barras de presfuerzo de la viga VCPC3 (8%), por lo que esta diferencia de carga máxima de tensión en las barras tomadas de la VCPC3 podría ser reflejado este efecto de una menor disminución de resistencia en tensión del presfuerzo evaluado.



6.5 Resistencia a la tensión del acero de presfuerzo

Para verificar si las barras de presfuerzo que fueron corroídas (ánodos) disminuyeron su capacidad de carga de manera individual, se realizaron pruebas de tensión directa en los tramos cortados luego de realizar la inspección de la pérdida de masa de dichos tramos.

La tensión en el acero de refuerzo se llevó a cabo tanto en las varillas de la parte superior de la viga (cátodo) como en las varillas de la parte inferior (ánodos), de esta manera se compararían los resultados de las barras corroídas vs. las barras sin corrosión acelerada que serían usadas como barras testigo o control. Los resultados se presentan en la Tabla 6.18.

Se puede observar en esta última tabla que las varillas que actuaron como ánodos (corroídas) presentan una disminución en su capacidad de carga a tensión. Para poder obtener un promedio del porcentaje de pérdida de carga se puede hacer uso de los dos primeros porcentajes ya que son los que presentan una mayor similitud, y el resultado es un 15% de pérdida de capacidad de carga, sin embargo si optamos por incluir al tercer valor en este promedio, entonces se encuentra que el promedio cambia a 12.33%. Por lo que se tomara el rango que se genera con ambos cálculos:

Tabla 6.18. Cargas aplicadas en la prueba de tensión en varillas.

Elemento	Cargas de tensión (kgf)			Promedio de cargas de tensión (kgf)	Esfuerzo promedio a la tensión (kgf/cm ²)	Porcentaje de pérdida de capacidad (%)
Cátodo VCPC 1	4000			4000	20408	14
Ánodo VCPC 1	3664	3227	3438	3443	17566	
Cátodo VCPC 2	4017			4017	20495	16
Ánodo VCPC 2	3506	2733	3875	3371	17201	
Cátodo VCPC 3	4126			4126	21051	7
Ánodo VCPC 3	3971	n	3683	3827	19526	

Porcentaje de pérdida de capacidad de carga: 12 – 15 %



Es claro observar que los valores de pérdida de masa para las vigas VCPC1 y VCPC2 fueron mayores (9% y 13%, respectivamente) que la obtenida en las barras de presfuerzo de la viga VCPC3 (8%), por lo que esta diferencia de carga máxima de tensión en las barras tomadas de la VCPC3 podría ser reflejado este efecto de una menor disminución de resistencia en tensión del presfuerzo evaluado.



6.6 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos servirán ahora para determinar la posible existencia de coincidencias de estos valores con los obtenidos en la literatura. En el estudio realizado se utilizaron elementos prefabricados y presforzados, siendo que regularmente se han utilizado en investigaciones previas y recientes elementos de concreto reforzado. Es así como nació el interés de verificar la existencia de posibles diferencias en los resultados de la vida residual de elementos de concreto reforzado vs. elementos de concreto presforzado.

6.6.1 Capacidad de carga remanente vs. Pérdida de masa por corrosión

Para iniciar se utilizará la Figura 6.12 basada en el trabajo de Torres-Acosta y Martínez-Madrid (2003) en donde se relaciona la pérdida de radio por corrosión y la capacidad remanente de carga estructural. Los valores de las tres vigas estudiadas (VCPC1, VCPC2 y VCPC3) se muestran en esta figura en color rojo.

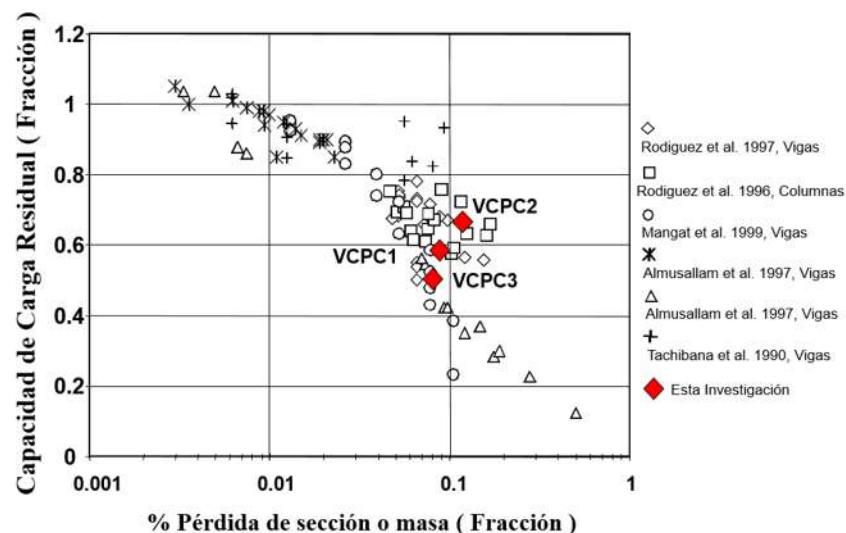


Figura 6.12. Relación entre la pérdida de masa y la capacidad remanente de la carga estructural (Torres-Acosta y Martínez-Madrid, 2003).



Puede observarse que los resultados obtenidos de capacidad de carga y pérdida de masa promedio por corrosión (valor similar a pérdida de radio por corrosión), entre elementos reforzados y los presforzados usados en esta investigación fueron muy similares.

Los valores de las tres vigas cayeron dentro de la nube de datos de elementos reforzados, lo que hace pensar que no existe diferencia alguna y que la fuerza de pre-compresión debida al presforzado no afectó el resultado final de capacidad de carga de las vigas presforzadas.

Este resultado se podrá corroborar con los valores que pudieran obtenerse de las otras vigas presforzadas que aún están en proceso de corrosión acelerada y se presentarán sus resultados más adelante.

6.6.2 Ancho máximo de grieta vs. Pérdida de masa por corrosión

La Figura 6.13 muestra los valores obtenidos (rombos color rojo) de ancho máximo de grieta y pérdida de masa por corrosión de las tres vigas evaluadas (VCPC1, VCPC2 y VCPC3). Se observa que los valores obtenidos en esta investigación se ubicaron en la misma nube de datos de investigaciones previas realizadas con elementos de concreto reforzados. Pero en esta ocasión se observa un desfaseamiento entre los tres puntos obtenidos en comparación de los demás de otras investigaciones de concreto reforzado.

En esta ocasión los tres puntos se sesgaron hacia la derecha, indicando que para la misma pérdida de acero por corrosión (de radio o de masa), se obtuvieron anchos de grieta menores. Esto corrobora lo observado en la investigación de Mullins et al. (2001) en donde se usaron pilas presforzadas de concreto y las grietas formadas en experimentos de corrosión acelerada, tuvieron anchos menores que los observados en elementos de concreto sin presfuerzo (o simplemente reforzadas).

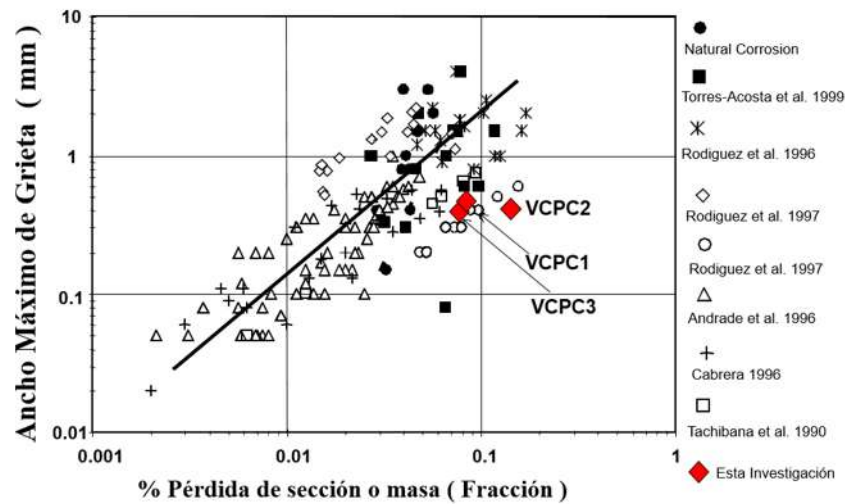


Figura 6.13. Relación entre la pérdida de sección o masa y el ancho máximo de grieta (Torres-Acosta y Martínez-Madrid, 2003).

Esto podría deberse a que el concreto pre-comprimido por la carga de presfuerzo que genera un estado de esfuerzos en compresión en el concreto, disminuye las tensiones por las expansiones de los productos de corrosión en la interface del acero y del concreto. Este estado de esfuerzos biaxiales pudiera disminuir la propagación de las grietas por corrosión, disminuyendo su longitud total de grieta y sus anchos máximos. De nueva cuenta esto se podrá verificar con los resultados que se obtendrán con las otras vigas que conforman el proyecto y que serán presentadas muy pronto.



7 CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo muestran que la aparición de grietas sucedió en las zonas donde se encontraba el acero, y en el tercio medio contaminado con NaCl, lo que nos indica que fueron generadas por el proceso del aumento de volumen del acero corroído. Además las grietas que no se encontraban en la zona del acero fueron las que se incrementaron en menor proporción. También se encontró que efectivamente la zona contaminada con NaCl presentó una mayor resistencia al paso de corriente en el acero, ya que el fenómeno de corrosión se concentró en el centro de la viga.

La aplicación de corriente galvánica en el acero, aceleró el proceso de crecimiento de grietas en el concreto, debido al aumento de volumen en el metal, incrementando hasta 6 veces la velocidad de crecimiento acumulado de las mismas. Aumento que se dio debido a la aparición de nuevas grietas, es decir, la corrosión elevó la longitud de las grietas, pero lo que realmente afectó al valor de longitud de grietas acumuladas, fue la aparición de nuevas ocasionadas por la aplicación de la corriente anódica. Los anchos de grieta también se vieron afectados por la aplicación de la corriente anódica, incrementando 10 veces el promedio del acumulativo de anchos, teniéndose un ancho máximo de grieta de 0.33 mm.

Con la corriente galvánica aplicada se logró una velocidad de corrosión relativamente alta, lo cual fue fundamental para obtener resultados en un periodo de tiempo relativamente corto. Para esta investigación, hecha con elementos presforzados (pretensados), una densidad de corriente de corrosión de $64.95 \mu A/cm^2$ ocasionó una velocidad de corrosión de 0.75 mm/año.

La corrosión en el acero fue de tipo localizada, lo que corresponde con la literatura (Torres-Acosta et al 2002). Esto implica que los esfuerzos se concentren en las zonas de



picadura. Lo cual se corroboró en la prueba de tensión en el acero, presentándose la falla en la zona de corrosión localizada.

Mediante la prueba de flexión en las vigas se encontró que la relación entre carga-deformación disminuye en elementos que presentan daños por corrosión, lo que indica una pérdida de rigidez en los elemento corroídos. La capacidad de carga también se ve afectada, teniéndose una disminución de hasta el 41% con respecto a elementos no corroídos, ocasionada por la aparición de grietas.

La corrosión ocasionó la disminución de la masa del acero en un rango del 8 al 13% en el tercio medio, lo que se vio reflejado en la prueba a tensión, donde se observó que efectivamente los elementos con un porcentaje de pérdida de masa mayor, fueron los tuvieron un porcentaje de pérdida de capacidad mayor. Además de observarse lo antes mencionado sobre la aparición de la falla en el acero en las zonas donde se encontraba concentrada la corrosión localizada.

Se observó que al relacionar la capacidad de carga residual y el porcentaje de pérdida de masa de los elementos presforzados de esta investigación, esta coincide con la expuesta por Torres-Acosta y Martínez-Madrid (2003) en elementos reforzados. Lo que indica que el pretensado de las varillas no afecta o mejora a la capacidad de carga del elemento.

Al compararse la relación entre anchos máximos de grieta y la pérdida de masa por corrosión, estudiados en esta investigación, y los expuestos por Torres-Acosta y Martínez-Madrid (2003) en elementos reforzados, se encontró que los anchos de grieta son menores en elementos presforzados que en elementos reforzados para una misma pérdida. Lo cual implica que se debe tener mayor cuidado cuando se lleve a cabo una inspección visual de grietas en elementos presforzados.

Es también importante mencionar que las varillas que funcionaron como cátodo en cada viga permanecieron libres de corrosión, lo que corrobora que la varilla escogida como cátodo trabajó de manera correcta durante todo el proceso.



Finalmente se puede concluir que la corrosión de los elementos presforzados afectó de manera importante la capacidad de carga del elemento, así como las características del acero de presfuerzo, disminuyendo su masa y capacidad de carga a la tensión. Además se debe tener especial atención a las grietas que aparecen debido a la corrosión, identificándolas como aquellas que aparecen en el sentido de la localización longitudinal del acero.



8 REFERENCIAS

- Aïtcin, P. C. (2008). *Binders for Durable and Sustainable Concrete*. New York, NY: Taylo & Francis.
- Alonso-Guzmán, E. M., Martínez, L., Martínez-Molina, W., & Villaseñor, L. (2002). Mechanical properties of concrete elaborated with igneous aggregates. *Cement and concrete research*, 317-321.
- Bazán, E., & Meli, R. (2011). *Diseño Sísmico de Edificios*. México, D. F.: Limusa.
- Böhni, H. (2000). *Corrosion in reinforced concrete structures*. Inglaterra: Woodhead Publishing Limited.
- Comisión Federal de Electricidad. (2008). *Manual de Diseño de Obras Civiles: Diseño por Viento*. México, D. F. .
- Crespo Villalaz, C. (2007). *Vías de Comunicación; Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos* (Cuarta ed.). México, D. F.: Limusa.
- Denison, E., & Stewart, I. (2014). *CÓMO LEER PUENTES. Un apasionante recorrido a lo largo de la historia*. (J. M. Gómez Acosta, Trad.) Madrid, España: Akal.
- González Cuevas, Ó., & Robles Fernández-Villegas, F. (2008). *Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado*. México, D. F.: Limusa.
- González Fernández, J. A., & Miranda Vidales, J. (2007). *Corrosión en las estructuras de hormigón armado: fundamentos, medida, diagnosis y prevención*. Madrid, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Harmesen, T. E. (2005). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado* (Cuarta ed.). Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
- Martínez-Molina, W., Medina-Olvera, S., Rojas-Gutiérrez, E., Torres-Acosta, A. A., Alonso-Guzmán, E. M., & Lara-Gómez, C. (2010). Aances en la síntesis y caracterización de recubrimientos geopoliméricos inorgánicos-orgánicos, utilizados como recubrimientos anticorrosivos en concreto reforzado de resistencia media. *Congreso Internacional NACE, Mexican Sector*, 1-12.



- Martínez-Molina, W., Torres-Acosta, A. A., Jáuregui, J. C., Chávez-García, H. L., Alonso-Guzmán, E. M., Graff, M., & Arteaga-Arcos, J. C. (2014). Predicting Concrete Compressive Strength and Modulus of Rupture Using Different NDT Techniques. *Advances in Materials Science and Engineering*.
- Meli Piralla, R. (1985). *Diseño Estructural*. Mexico, D. F.: Limusa.
- Mullins, G., Sen, R., Goulish, A., Suh, K. S., Pai, N., Mehrani, A., & Torres-Acosta, A. A. (2001). Lateral Capacity of Corroded Pile Bents. *Final Report to Florida Department of Transportation, Contract Grant No. BC353*.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete Technology*. Inglaterra: Pearson.
- NMX-B-293-CANACERO-2012. (2012). *Industria Siderúrgica-Alambre de acero, sin recubrimiento con revelado de esfuerzos para usarse en concreto presforzado-Especificación y métodos de prueba*. México D. F.: CANACERO.
- Pancorbo Floristán, F. J. (2013). *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. México, D. F.: Alfaomega.
- Ponnuswamy, S. (2008). *Bridge engineering*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Education.
- Red DURAR. (1998). *Manual de Inspección. Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado* (Segunda ed.). Río de Janeiro: CYTED Program.
- Rivera Vargas, D. (2007). Evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de puentes urbanos. *Cuadernos de Investigación*(51).
- S. d. (2001). Proyecto de Puentes y Estructuras.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2001). Proyecto de Puentes y Estructuras. En *PRY. PROYECTO*.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2001). Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares. En *PRY. PROYECTO*.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2013). *Anuario Estadístico Sector Comunicaciones y Transportes*. México, D. F.
- Toirac Corral, J. (2004). patología de la construcción, grietas y fisuras en obras de hormigón. Origen y prevención. *Ciencia y Sociedad*, 29(1), 72-114.
- Torres Acosta, A. A. (1999). *Cracking induced by localized corrosion of reinforcement in chloride contaminated concrete*. Tampa, Florida: University of South Florida.



- Torres Acosta, A. A., Fabela Gallegos, M. d., Vázquez Vega, D., Hernández Jiménez, J. R., Martínez Madrid, M., & Muñoz Noval, A. (2002). *Cambios en la rigidez y resistencia a la flexión de vigas de concreto dañadas por corrosión del refuerzo*. Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte.
- Torres Acosta, A., del Valle Moreno, A., Martínez Madrid, M., Pérez Quiroz, J. T., & Backhoff Polhs, M. (2010). Plan Nacional de Evaluación de Puentes Federales, Libres de Peaje Dañados por Corrosión (2000-2005). Una Cuatificación de Resultados, Proyectos y Colaboraciones. *Intituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica 327*.
- Torres, A., del Valle, A., Martínez, M., Pérez, J. T., & Backhoff, M. (2010). Plan nacional de evaluación de puentes federales, libres de peaje dañados por corrosión (2000-2005). Una cuantificación de resultados, proyectos y colaboraciones. *Publicación Técnica IMT(327)*.
- Torres-Acosta, A., & Martínez-Madrid, M. (July-August de 2003). Residual Life of Corroding Reinforced Concrete Structures in Marine Environment. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15(4), 344-353.



ANEXO

[illegible]



Viga VCPC 1_238 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
1.50	3.75	2.50		1.00	7.00	17.50	4.00		0.30	28.50	71.25	4.00		0.08	34.50	86.25	8.00		0.08	40.20	100.50	2.80		0.08
2.00	5.00	2.80	1.29	1.00	8.00	20.00	4.00	2.50	0.40	29.00	72.50	4.50	1.35	0.08	35.00	87.50	8.00	1.25	0.08	41.00	102.50	2.80	2.00	0.08
3.00	7.50	2.50	2.52	1.00	9.00	22.50	3.80	2.51	0.40	30.00	75.00	5.00	2.55	0.10	36.00	90.00	7.50	2.55	0.08	42.00	105.00	2.20	2.57	0.08
4.00	10.00	3.00	2.55	1.00	9.50	23.75	4.00	1.27	0.40	31.00	77.50	4.90	2.50	0.15	37.00	92.50	7.50	2.50	0.08	43.00	107.50	2.50	2.52	0.10
4.50	11.25	3.50	1.35	0.40	10.00	25.00	4.00	1.25	0.20	32.00	80.00	5.20	2.52	0.15	38.00	95.00	7.00	2.55	0.08	44.00	110.00	2.50	2.50	0.08
					11.00	27.50	4.00	2.50	0.40	33.00	82.50	5.00	2.51	0.15	39.00	97.50	7.00	2.50	0.08					
					12.00	30.00	4.00	2.50	0.40	34.00	85.00	5.50	2.55	0.08	39.80	99.50	7.00	2.00	0.08					
					13.00	32.50	4.00	2.50	0.40	35.00	87.50	5.50	2.50	0.08	40.00	100.00	7.00	0.50	0.08					
					14.00	35.00	3.50	2.55	0.50	35.30	88.25	5.40	0.76	0.08										
					15.00	37.50	3.50	2.50	0.40															
					16.00	40.00	3.80	2.52	0.50															
					17.00	42.50	3.50	2.52	0.40															
					18.00	45.00	3.50	2.50	0.50															
					19.00	47.50	3.50	2.50	0.50															
					20.00	50.00	3.80	2.52	0.50															
					21.00	52.50	3.80	2.50	0.60															
					22.00	55.00	3.50	2.52	0.40															
					23.00	57.50	4.00	2.55	0.80															
					24.00	60.00	4.00	2.50	0.80															
					25.00	62.50	3.80	2.51	0.60															
					26.00	65.00	3.50	2.52	0.30															
Longitud total = 7.70 cm					Longitud total = 47.72 cm					Longitud total = 17.23 cm					Longitud total = 13.85 cm					Longitud total = 9.59 cm				
Ancho Promedio = 0.88 mm					Ancho Promedio = 0.46 mm					Ancho Promedio = 0.11 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm				
Ancho máximo = 1.00 mm					Ancho máximo = 0.80 mm					Ancho máximo = 0.15 mm					Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.10 mm				

Viga VCPC 1_238 días de edad

[illegible]



Viga VCPC 1_268 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
1.5	3.75	2.5		1	7	17.5	4		0.3	28.5	71.25	4		0.08	34.5	86.25	8		0.08	40.2	100.5	2.8		0.08
2	5	2.8	1.29	1	8	20	4	2.50	0.4	29	72.5	4.5	1.35	0.08	35	87.5	8	1.25	0.08	41	102.5	2.8	2.00	0.08
3	7.5	2.5	2.52	1	9	22.5	3.8	2.51	0.4	30	75	5	2.55	0.1	36	90	7.5	2.55	0.08	42	105	2.2	2.57	0.08
4	10	3	2.55	1	9.5	23.75	4	1.27	0.4	31	77.5	4.9	2.50	0.15	37	92.5	7.5	2.50	0.08	43	107.5	2.5	2.52	0.1
4.5	11.25	3.5	1.35	0.4	10	25	4	1.25	0.2	32	80	5.2	2.52	0.15	38	95	7	2.55	0.08	44	110	2.5	2.50	0.08
					11	27.5	4	2.50	0.4	33	82.5	5	2.51	0.15	39	97.5	7	2.50	0.08	44.2	110.5	2.1	0.64	0.08
					12	30	4	2.50	0.4	34	85	5.5	2.55	0.08	39.8	99.5	7	2.00	0.08					
					13	32.5	4	2.50	0.4	35	87.5	5.5	2.50	0.08	40	100	7	0.50	0.08					
					14	35	3.5	2.55	0.5	35.3	88.25	5.4	0.76	0.08	41	102.5	6.8	2.51	0.08					
					15	37.5	3.5	2.50	0.4	36	90	6	1.85	0.08	41.5	103.75	6.8	1.25	0.08					
					16	40	3.8	2.52	0.5	37	92.5	5.2	2.62	0.08										
					17	42.5	3.5	2.52	0.4															
					18	45	3.5	2.50	0.5															
					19	47.5	3.5	2.50	0.5															
					20	50	3.8	2.52	0.5															
					21	52.5	3.8	2.50	0.6															
					22	55	3.5	2.52	0.4															
					23	57.5	4	2.55	0.8															
					24	60	4	2.50	0.8															
					25	62.5	3.8	2.51	0.6															
					26	65	3.5	2.52	0.3															
Longitud total = 7.70 cm					Longitud total = 47.72 cm					Longitud total = 21.70 cm					Longitud total = 17.61 cm					Longitud total = 10.23 cm				
Ancho Promedio = 0.88 mm					Ancho Promedio = 0.46 mm					Ancho Promedio = 0.10 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm				
Ancho máximo = 1.00 mm					Ancho máximo = 0.80 mm					Ancho máximo = 0.15 mm					Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.10 mm				

Viga VCPC 1_268 días de edad

[illegible]



Viga VCP C 1_273 días de edad																								
Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
1.50	3.75	2.50		1.00	7.00	17.50	4.00		0.30	28.20	70.50	4.00		0.08	34.50	86.25	8.00		0.08	40.20	100.50	2.80		0.08
2.00	5.00	2.80	1.29	1.00	8.00	20.00	4.00	2.50	0.40	28.50	71.25	4.00	0.75	0.08	35.00	87.50	8.00	1.25	0.08	41.00	102.50	2.80	2.00	0.08
3.00	7.50	2.50	2.52	1.00	9.00	22.50	3.80	2.51	0.40	29.00	72.50	4.50	1.35	0.08	36.00	90.00	7.50	2.55	0.08	42.00	105.00	2.20	2.57	0.08
4.00	10.00	3.00	2.55	1.00	9.50	23.75	4.00	1.27	0.40	30.00	75.00	5.00	2.55	0.10	37.00	92.50	7.50	2.50	0.08	43.00	107.50	2.50	2.52	0.10
4.50	11.25	3.50	1.35	0.40	10.00	25.00	4.00	1.25	0.20	31.00	77.50	4.90	2.50	0.15	38.00	95.00	7.00	2.55	0.08	44.00	110.00	2.50	2.50	0.08
					11.00	27.50	4.00	2.50	0.40	32.00	80.00	5.20	2.52	0.15	39.00	97.50	7.00	2.50	0.08	44.20	110.50	2.10	0.64	0.08
					12.00	30.00	4.00	2.50	0.40	33.00	82.50	5.00	2.51	0.15	39.80	99.50	7.00	2.00	0.08					
					13.00	32.50	4.00	2.50	0.40	34.00	85.00	5.50	2.55	0.08	40.00	100.00	7.00	0.50	0.08					
					14.00	35.00	3.50	2.55	0.50	35.00	87.50	5.50	2.50	0.08	41.00	102.50	6.80	2.51	0.08					
					15.00	37.50	3.50	2.50	0.40	35.30	88.25	5.40	0.76	0.08	41.50	103.75	6.80	1.25	0.08					
					16.00	40.00	3.80	2.52	0.50	36.00	90.00	6.00	1.85	0.08										
					17.00	42.50	3.50	2.52	0.40	37.00	92.50	5.20	2.62	0.08										
					18.00	45.00	3.50	2.50	0.50	37.10	92.75	5.90	0.74	0.08										
					19.00	47.50	3.50	2.50	0.50															
					20.00	50.00	3.80	2.52	0.50															
					21.00	52.50	3.80	2.50	0.60															
					22.00	55.00	3.50	2.52	0.40															
					23.00	57.50	4.00	2.55	0.80															
					24.00	60.00	4.00	2.50	0.80															
					25.00	62.50	3.80	2.51	0.60															
					26.00	65.00	3.50	2.52	0.30															
Longitud total = 7.70 cm					Longitud total = 47.72 cm																			



“EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRESFORZADOS DAÑADOS POR CORROSIÓN: CASO DE VIGAS”

Viga VCPC 1_273 días de edad

Medición	Grieta 6		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 7		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 8		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 9		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 10		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
40.50	101.25	9.00		0.08	43.60	109.00	10.20		0.08	48.00	120.00	2.00		0.08	39.70	99.25	9.00		0.08	39.50	98.75	9.80		0.08
40.80	102.00	9.20	0.78	0.08	44.00	110.00	10.50	1.04	0.08	48.20	120.50	2.20	0.54	0.08	40.00	100.00	9.00	0.75	0.08	40.00	100.00	9.90	1.25	0.08
41.00	102.50	9.20	0.50	0.08	45.00	112.50	11.00	2.55	0.08	49.00	122.50	1.80	2.04	0.08	40.70	101.75	8.80	1.76	0.08	40.60	101.50	9.90	1.50	0.08
42.00	105.00	9.00	2.51	0.15	46.00	115.00	10.50	2.55	0.25	50.00	125.00	1.50	2.52	0.10										
43.00	107.50	9.50	2.55	0.10	47.00	117.50	10.00	2.55	0.20	51.00	127.50	1.80	2.52	0.08										
44.00	110.00	9.80	2.52	0.10	48.00	120.00	9.50	2.55	0.10	51.50	128.75	1.50	1.29	0.08										
44.30	110.75	10.00	0.78	0.10	49.00	122.50	9.80	2.52	0.10	51.70	129.25	2.70	1.30	0.08										
					50.00	125.00	9.80	2.50	0.08	52.00	130.00	1.80	1.17	0.08										
					51.00	127.50	9.50	2.52	0.08															
					51.30	128.25	9.70	0.78	0.08															

Viga VCPC 1_273 días de edad

[illegible]



Viga VCPC 1_280 días de edad

[illegible]

Viga VCPC 1_280 días de edad

[illegible]



“EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRESFORZADOS DAÑADOS POR CORROSIÓN: CASO DE VIGAS”



Viga VCPC 1 280 días de edad

Medición	grieta 11		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	grieta 12		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	grieta 12a		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	grieta 13		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y		
51.00	127.50	9.10		0.08	43.80	109.50	2.80		0.08	45.00	112.50	3.10		0.08	41.70	104.25	6.80		0.08
52.00	130.00	9.50	2.53	0.08	44.00	110.00	2.90	0.51	0.08	45.60	114.00	3.90	1.70	0.08	42.00	105.00	6.80	0.75	0.08
52.60	131.50	9.50	1.50	0.08	45.00	112.50	3.00	2.50	0.08						43.00	107.50	5.60	2.77	0.08
					46.00	115.00	2.70	2.52	0.08						44.00	110.00	6.00	2.53	0.08
					47.00	117.50	2.00	2.60	0.08						45.00	112.50	5.80	2.51	0.08
					48.00	120.00	2.50	2.55	0.08						45.80	114.50	4.90	2.19	0.08
					48.10	120.25	2.50	0.25	0.08						46.00	115.00	4.90	0.50	0.15
															47.00	117.50	5.70	2.62	0.15
															48.00	120.00	5.50	2.51	0.20
															49.00	122.50	5.80	2.52	0.15
															50.00	125.00	5.20	2.57	0.10
															50.40	126.00	4.90	1.04	0.10
															51.00	127.50	5.80	1.75	0.10
															52.00	130.00	5.30	2.55	0.08
															53.00	132.50	5.20	2.50	0.08
															54.00	135.00	4.50	2.60	0.08
															54.20	135.50	4.50	0.50	0.08
															55.00	137.50	4.10	2.04	0.08
															56.00	140.00	4.90	2.62	0.08
															57.00	142.50	5.10	2.51	0.08
															58.00	145.00	4.50	2.57	0.08
															59.00	147.50	4.20	2.52	0.08
															60.00	150.00	4.70	2.55	0.08
															61.00	152.50	5.20	2.55	0.08
															62.00	155.00	4.90	2.52	0.08
															63.00	157.50	4.90	2.50	0.08
															64.00	160.00	4.90	2.50	0.08
Longitud total = 4.03 cm					Longitud total = 10.93 cm					Longitud total = 1.70 cm					Longitud total = 57.30 cm				
Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.09 mm				
Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.20 mm				

Viga VCPC 1 287 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
1.5	3.75	2.5		1	7	17.5	4		0.3	28.2	70.5	4		0.08	34.5	86.25	8		0.08	40	100	2.8		0.08
2	5	2.8	1.29	1	8	20	4	2.50	0.4	28.5	71.25	4	0.75	0.08	35	87.5	8	1.25	0.01	40.2	100.5	2.8	0.50	0.08
3	7.5	2.5	2.52	1	9	22.5	3.8	2.51	0.4	29	72.5	4.5	1.35	0.1	36	90	7.5	2.55	0.1	41	102.5	2.8	2.00	0.08
4	10	3	2.55	1	9.5	23.75	4	1.27	0.4	30	75	5	2.55	0.1	37	92.5	7.5	2.50	0.1	42	105	2.2	2.57	0.1
4.5	11.25	3.5	1.35	0.4	10	25	4	1.25	0.2	31	77.5	4.9	2.50	0.25	38	95	7	2.55	0.15	43	107.5	2.5	2.52	0.15
					11	27.5	4	2.50	0.4	32	80	5.2	2.52	0.25	39	97.5	7	2.50	0.15	44	110	2.5	2.50	0.15
					12	30	4	2.50	0.4	33	82.5	5	2.51	0.25	39.8	99.5	7	2.00	0.15	44.2	110.5	2.1	0.64	0.08
					13	32.5	4	2.50	0.4	34	85	5.5	2.55	0.2	40	100	7	0.50	0.15					
					14	35	3.5	2.55	0.5	35	87.5	5.5	2.50	0.2	41	102.5	6.8	2.51	0.1					
					15	37.5	3.5	2.50	0.4	35.3	88.25	5.4	0.76	0.2	41.5	103.75	6.8	1.25	0.1					
					16	40	3.8	2.52	0.5	36	90	6	1.85	0.15										
					17	42.5	3.5	2.52	0.4	37	92.5	5.2	2.62	0.1										
					18	45	3.5	2.50	0.5	37.1	92.75	5.9	0.74	0.08										
					19	47.5	3.5	2.50	0.5															
					20	50	3.8	2.52	0.5															
					21	52.5	3.8	2.50	0.6															
					22	55	3.5	2.52	0.4															
					23	57.5	4	2.55	0.8															
					24	60	4	2.50	0.8															
					25	62.5	3.8	2.51	0.6															
					26	65	3.5	2.52	0.3															

[illegible]110



“EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRESFORZADOS DAÑADOS POR CORROSIÓN: CASO DE VIGAS”



Viga VCPC 1_296 días de edad

Viga VCP-C 1, 256 días de edad																								
Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
1.50	3.75	2.50		1.00	7.00	17.50	4.00		0.30	28.20	70.50	4.00		0.08	34.40	86.00	8.00		0.08	40.00	100.00	2.80		0.08
2.00	5.00	2.80	1.29	1.00	8.00	20.00	4.00	2.50	0.40	28.50	71.25	4.00	0.75	0.08	34.50	86.25	8.00	0.25	0.08	40.20	100.50	2.80	0.50	0.08
3.00	7.50	2.50	2.52	1.00	9.00	22.50	3.80	2.51	0.40	29.00	72.50	4.50	1.35	0.10	35.00	87.50	8.00	1.25	0.10	41.00	102.50	2.80	2.00	0.08
4.00	10.00	3.00	2.55	1.00	9.50	23.75	4.00	1.27	0.40	30.00	75.00	5.00	2.55	0.15	36.00	90.00	7.50	2.55	0.10	42.00	105.00	2.20	2.57	0.10
4.50	11.25	3.50	1.35	0.40	10.00	25.00	4.00	1.25	0.20	31.00	77.50	4.90	2.50	0.30	37.00	92.50	7.50	2.50	0.10	43.00	107.50	2.50	2.52	0.20
					11.00	27.50	4.00	2.50	0.40	32.00	80.00	5.20	2.52	0.30	38.00	95.00	7.00	2.55	0.20	44.00	110.00	2.50	2.50	0.20
					12.00	30.00	4.00	2.50	0.40	33.00	82.50	5.00	2.51	0.30	39.00	97.50	7.00	2.50	0.20	44.20	110.50	2.10	0.64	0.08
					13.00	32.50	4.00	2.50	0.40	34.00	85.00	5.50	2.55	0.25	39.80	99.50	7.00	2.00	0.20	44.30	110.75	2.10	0.25	0.08
					14.00	35.00	3.50	2.55	0.50	35.00	87.50	5.50	2.50	0.25	40.00	100.00	7.00	0.50	0.20					
					15.00	37.50	3.50	2.50	0.40	35.30	88.25	5.40	0.76	0.20	41.00	102.50	6.80	2.51	0.15					
					16.00	40.00	3.80	2.52	0.50	36.00	90.00	6.00	1.85	0.15	41.50	103.75	6.80	1.25	0.10					
					17.00	42.50	3.50	2.52	0.40	37.00	92.50	5.20	2.62	0.10										
					18.00	45.00	3.50	2.50	0.50	37.10	92.75	5.90	0.74	0.08										
					19.00	47.50	3.50	2.50	0.50															
					20.00	50.00	3.80	2.52	0.50															
					21.00	52.50	3.80	2.50	0.60															
					22.00	55.00	3.50	2.52	0.40															
					23.00	57.50	4.00	2.55	0.80															
					24.00	60.00	4.00	2.50	0.80															
					25.00	62.50	3.80	2.51	0.60															
					26.00	65.00	3.50	2.52	0.30															

Longitud total = 7.70 cm

Ancho Promedio = 0.88 mm

Ancho máximo = 1.00 mm

Longitud total = 47.72 cm

Ancho Promedio = 0.46 mm

Ancho máximo = 0.80 mm

Longitud total = 23.20 cm

Ancho Promedio = 0.18 mm

Ancho máximo = 0.30 mm

Longitud total = 17.86 cm

Ancho Promedio = 0.14 mm

Ancho máximo = 0.20 mm

Longitud total = 10.98 cm

Ancho Promedio = 0.11 mm

Ancho máximo = 0.20 mm

Viga VCPC 1_296 días de edad

Medición	Grieta 6		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 7		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 8		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 9		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 10		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
40.50	101.25	9.00		0.08	43.30	108.25	10.10		0.08	48.00	120.00	2.00		0.08	39.70	99.25	9.00		0.08	39.50	98.75	9.00		0.08
40.80	102.00	9.20	0.78	0.08	43.60	109.00	10.20	0.76	0.25	48.20	120.50	2.20	0.54	0.10	40.00	100.00	9.00	0.75	0.08	40.00	100.00	8.90	1.25	0.08
41.00	102.50	9.20	0.50	0.10	44.00	110.00	10.50	1.04	0.25	49.00	122.50	1.80	2.04	0.10	40.70	101.75	8.80	1.76	0.08	40.60	101.50	8.90	1.50	0.08
42.00	105.00	9.00	2.51	0.20	45.00	112.50	11.00	2.55	0.25	50.00	125.00	1.50	2.52	0.15										
43.00	107.50	9.50	2.55	0.20	46.00	115.00	10.50	2.55	0.30	51.00	127.50	1.80	2.52	0.10										
44.00	110.00	9.80	2.52	0.10	47.00	117.50	10.00	2.55	0.15	51.50	128.75	1.50	1.29	0.08										
44.30	110.75	10.00	0.78	0.10	48.00	120.00	9.50	2.55	0.20	51.70	129.25	2.70	1.30	0.08										
					49.00	122.50	9.80	2.52	0.15	52.00	130.00	1.80	1.17	0.08										
					50.00	125.00	9.80	2.50	0.20															
					51.00	127.50	9.50	2.52	0.10															
					51.30	128.25	9.70	0.78	0.08															

Longitud total = 9.63 cm

Ancho Promedio = 0.12 mm

Ancho máximo = 0.20 mm

Longitud total = 20.31 cm

Ancho Promedio = 0.18 mm

Ancho máximo = 0.30 mm

Longitud total = 11.37 cm

Ancho Promedio = 0.10 mm

Ancho máximo = 0.15 mm

Longitud total = 2.51 cm

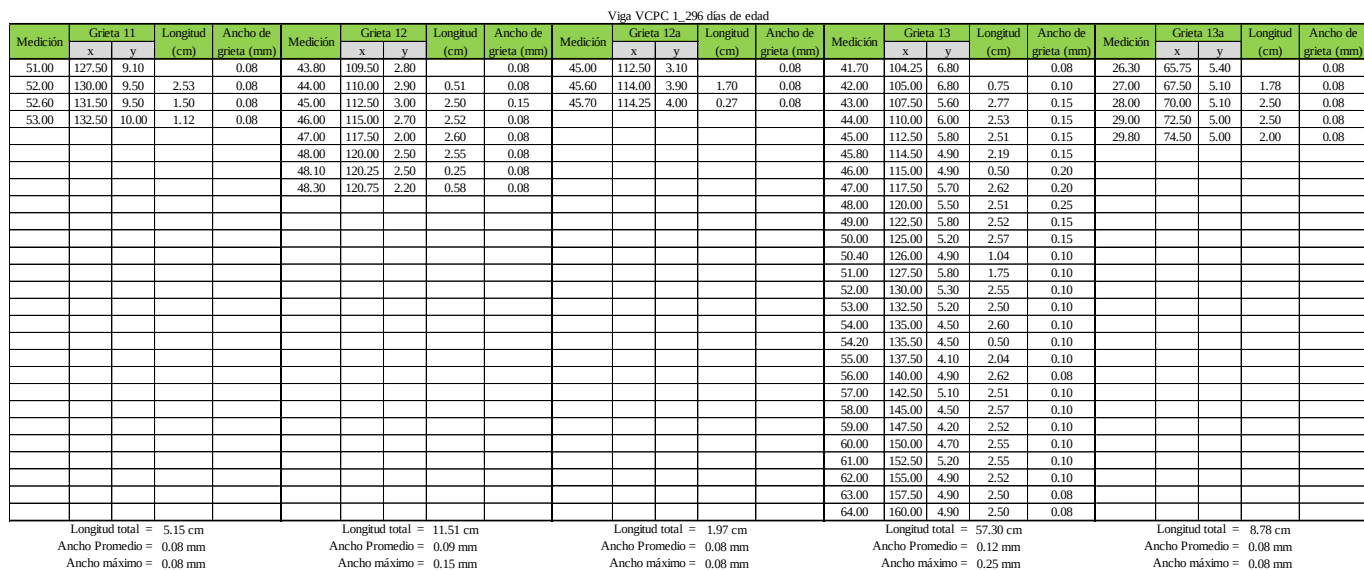
Ancho Promedio = 0.08 mm

Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 2.75 cm

Ancho Promedio = 0.08 mm

Ancho máximo = 0.08 mm

[illegible]



“EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRESFORZADOS DAÑADOS POR CORROSIÓN: CASO DE VIGAS”

Viga VCPC 1_301 días de edad

Viga VCPCL-1, Sol tras de edad																								
Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
1.50	3.75	2.50		1.00	7.00	17.50	4.00		0.30	27.90	69.75	4.00		0.08	34.40	86.00	8.00		0.08	40.00	100.00	2.80		0.08
2.00	5.00	2.80	1.29	1.00	8.00	20.00	4.00	2.50	0.40	28.20	70.50	4.00	0.75	0.08	34.50	86.25	8.00	0.25	0.08	40.20	100.50	2.80	0.50	0.08
3.00	7.50	2.50	2.52	1.00	9.00	22.50	3.80	2.51	0.40	28.50	71.25	4.00	0.75	0.08	35.00	87.50	8.00	1.25	0.15	41.00	102.50	2.80	2.00	0.08
4.00	10.00	3.00	2.55	1.00	9.50	23.75	4.00	1.27	0.40	29.00	72.50	4.50	1.35	0.15	36.00	90.00	7.50	2.55	0.15	42.00	105.00	2.20	2.57	0.10
4.50	11.25	3.50	1.35	0.40	10.00	25.00	4.00	1.25	0.20	30.00	75.00	5.00	2.55	0.15	37.00	92.50	7.50	2.50	0.15	43.00	107.50	2.50	2.52	0.20
					11.00	27.50	4.00	2.50	0.40	31.00	77.50	4.90	2.50	0.30	38.00	95.00	7.00	2.55	0.20	44.00	110.00	2.50	2.50	0.20
					12.00	30.00	4.00	2.50	0.40	32.00	80.00	5.20	2.52	0.30	39.00	97.50	7.00	2.50	0.20	44.20	110.50	2.10	0.64	0.08
					13.00	32.50	4.00	2.50	0.40	33.00	82.50	5.00	2.51	0.30	39.80	99.50	7.00	2.00	0.20	44.30	110.75	2.10	0.25	0.08
					14.00	35.00	3.50	2.55	0.50	34.00	85.00	5.50	2.55	0.30	40.00	100.00	7.00	0.50	0.20					
					15.00	37.50	3.50	2.50	0.40	35.00	87.50	5.50	2.50	0.30	41.00	102.50	6.80	2.51	0.15					
					16.00	40.00	3.80	2.52	0.50	35.30	88.25	5.40	0.76	0.20	41.50	103.75	6.80	1.25	0.10					
					17.00	42.50	3.50	2.52	0.40	36.00	90.00	6.00	1.85	0.15										
					18.00	45.00	3.50	2.50	0.50	37.00	92.50	5.20	2.62	0.10										
					19.00	47.50	3.50	2.50	0.50	37.10	92.75	5.90	0.74	0.08										
					20.00	50.00	3.80	2.52	0.50															
					21.00	52.50	3.80	2.50	0.60															
					22.00	55.00	3.50	2.52	0.40															
					23.00	57.50	4.00	2.55	0.80															
					24.00	60.00	4.00	2.50	0.80															
					25.00	62.50	3.80	2.51	0.60															
					26.00	65.00	3.50	2.52	0.30															

Viga VCPC 1_301 días de edad

[illegible]



“EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRESFORZADOS DAÑADOS POR CORROSIÓN: CASO DE VIGAS”

Viga VCPC 1_301 días de edad

Viga VCPC L-301 días de edad																										
Medición	Grieta 11		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 12		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 12a		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 13		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 13a		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)		
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y				
51.00	127.50	9.10		0.08	43.80	109.50	2.80		0.08	45.00	112.50	3.10		0.08	41.70	104.25	6.80		0.08	26.30	65.75	5.40		0.08		
52.00	130.00	9.50		2.53	0.08	44.00	110.00	2.90	0.51	0.08	45.60	114.00	3.90	1.70	0.08	42.00	105.00	6.80	0.75	0.10	27.00	67.50	5.10		1.78	0.08
52.60	131.50	9.50		1.50	0.08	45.00	112.50	3.00	2.50	0.15	45.70	114.25	4.00	0.27	0.08	43.00	107.50	5.60	2.77	0.15	28.00	70.00	5.10		2.50	0.08
53.00	132.50	10.00		1.12	0.08	46.00	115.00	2.70	2.52	0.08	45.90	114.75	4.00	0.50	0.08	44.00	110.00	6.00	2.53	0.15	29.00	72.50	5.00		2.50	0.08
53.40	133.50	10.80		1.28	0.08	47.00	117.50	2.50	2.60	0.08						45.00	112.50	5.80	2.51	0.15	29.80	74.50	5.00		2.00	0.08
						48.00	120.00	2.50	2.55	0.08						45.80	114.50	4.90	2.19	0.15						
						48.10	120.25	2.50	0.25	0.08						46.00	115.00	4.90	0.50	0.20						
						48.30	120.75	2.20	0.58	0.08						47.00	117.50	5.70	2.62	0.25						
						48.50	121.25	2.10	0.51	0.08						48.00	120.00	5.50	2.51	0.25						
																49.00	122.50	5.80	2.52	0.20						
																50.00	125.00	5.20	2.57	0.20						
																50.40	126.00	4.90	1.04	0.10						
																51.00	127.50	5.80	1.75	0.10						
																52.00	130.00	5.30	2.55	0.10						
																53.00	132.50	5.20	2.50	0.10						
																54.00	135.00	4.50	2.60	0.10						
																54.20	135.50	4.50	0.50	0.10						
																55.00	137.50	4.10	2.04	0.10						
																56.00	140.00	4.90	2.62	0.08						
																57.00	142.50	5.10	2.51	0.10						
																58.00	145.00	4.50	2.57	0.10						
																59.00	147.50	4.20	2.52	0.10						
																60.00	150.00	4.70	2.55	0.10						
																61.00	152.50	5.20	2.55	0.10						
																62.00	155.00	4.90	2.52	0.10						
																63.00	157.50	4.90	2.50	0.08						
																64.00	160.00	4.90	2.50	0.08						
Longitud total = 6.43 cm					Longitud total = 12.02 cm					Longitud total = 2.47 cm					Longitud total = 57.30 cm					Longitud total = 8.78 cm						
Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.09 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.13 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm						
Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.15 mm					Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.25 mm					Ancho máximo = 0.08 mm						

Viga VCPC 1_301 días de edad

[illegible]



Viga VCPC 1_233 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
30.70	76.75	6.50		0.08	32.20	80.50	7.70		0.08	34.40	86.00	6.30		0.08	44.70	111.75	7.70		0.08	45.50	113.75	7.50		0.08
31.00	77.50	6.20	0.81	0.08	33.00	82.50	7.80	2.00	0.08	35.00	87.50	6.20	1.50	0.08	45.00	112.50	7.80	0.76	0.15	46.00	115.00	7.80	1.29	0.08
31.60	79.00	6.70	1.58	0.08	34.00	85.00	8.80	2.69	0.08	36.00	90.00	6.20	2.50	0.10	46.00	115.00	7.70	2.50	0.10	47.00	117.50	8.80	2.69	0.25
					34.50	86.25	9.20	1.31	0.08	37.00	92.50	6.10	2.50	0.08	47.00	117.50	7.70	2.50	0.08	48.00	120.00	9.20	2.53	0.08
					35.00	87.50	9.30	1.25	0.08	38.00	95.00	5.10	2.69	0.10	48.00	120.00	7.70	2.50	0.08	49.00	122.50	8.80	2.53	0.08
										39.00	97.50	4.90	2.51	0.10	49.00	122.50	9.10	2.87	0.08	49.30	123.25	9.00	0.78	0.08
										40.00	100.00	5.00	2.50	0.08	50.00	125.00	9.50	2.53	0.08					
										41.00	102.50	5.50	2.55	0.08	50.80	127.00	9.70	2.01	0.08					
										41.60	104.00	5.40	1.50	0.08										
Longitud total = 2.39 cm					Longitud total = 7.26 cm					Longitud total = 18.26 cm					Longitud total = 15.67 cm					Longitud total = 9.82 cm				
Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.09 mm					Ancho Promedio = 0.09 mm					Ancho Promedio = 0.11 mm				
Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.10 mm					Ancho máximo = 0.15 mm					Ancho máximo = 0.25 mm				

Viga VCPC 1_233 días de edad

Medición	Grieta 6		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y		
32.10	80.25	7.80		0.08
33.00	82.50	7.80	2.25	0.08
Longitud total = 2.25 cm				
Ancho Promedio = 0.08 mm				
Ancho máximo = 0.08 mm				

Viga VCPC 1_238 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
30.70	76.75	6.50		0.08	32.20	80.50	7.70		0.08	34.40	86.00	6.30		0.08	44.70	111.75	7.70		0.08	45.50	113.75	7.50		0.08
31.00	77.50	6.20	0.81	0.08	33.00	82.50	7.80	2.00	0.08	35.00	87.50	6.20	1.50	0.08	45.00	112.50	7.80	0.76	0.15	46.00	115.00	7.80	1.29	0.08
31.60	79.00	6.70	1.58	0.08	34.00	85.00	8.80	2.69	0.08	36.00	90.00	6.20	2.50	0.10	46.00	115.00	7.70	2.50	0.10	47.00	117.50	8.80	2.69	0.25
					34.50	86.25	9.20	1.31	0.08	37.00	92.50	6.10	2.50	0.08	47.00	117.50	7.70	2.50	0.08	48.00	120.00	9.20	2.53	0.08
					35.00	87.50	9.30	1.25	0.08	38.00	95.00	5.10	2.69	0.10	48.00	120.00	7.70	2.50	0.08	49.00	122.50	8.80	2.53	0.08
										39.00	97.50	4.90	2.51	0.10	49.00	122.50	9.10	2.87	0.08	49.30	123.25	9.00	0.78	0.08
										40.00	100.00	5.00	2.50	0.08	50.00	125.00	9.50	2.53	0.08					
										41.00	102.50	5.50	2.55	0.08	50.80	127.00	9.70	2.01	0.08					
										41.60	104.00	5.40	1.50	0.08										
Longitud total = 2.39 cm					Longitud total = 7.26 cm					Longitud total = 18.26 cm					Longitud total = 15.67 cm					Longitud total = 9.82 cm				
Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.09 mm					Ancho Promedio = 0.09 mm					Ancho Promedio = 0.11 mm				
Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.10 mm					Ancho máximo = 0.15 mm					Ancho máximo = 0.25 mm				



Viga VCPC 1_238 días de edad

Medición	Grieta 6		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y		
32.10	80.25	7.80		0.08
33.00	82.50	7.80	2.25	0.08

Longitud total = 2.25 cm

Ancho Promedio = 0.08 mm

Ancho máximo = 0.08 mm

Viga VCPC 1_268 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
30.7	76.75	6.5		0.08	32.2	80.5	7.7		0.08	34	85	6.6		0.08	38.7	96.75	7.5		0.08	45.5	113.75	7.5		0.08
31	77.5	6.2	0.81	0.08	33	82.5	7.8	2.00	0.08	34.4	86	6.3	1.04	0.08	39	97.5	7.5	0.75	0.08	46	115	7.8	1.29	0.08
31.6	79	6.7	1.58	0.08	34	85	8.8	2.69	0.08	35	87.5	6.2	1.50	0.1	40	100	7	2.55	0.08	47	117.5	8.8	2.69	0.25
					34.5	86.25	9.2	1.31	0.08	36	90	6.2	2.50	0.08	41	102.5	6.8	2.51	0.08	48	120	9.2	2.53	0.08
					35	87.5	9.3	1.25	0.08	37	92.5	6.1	2.50	0.1	42	105	6.8	2.50	0.08	49	122.5	8.8	2.53	0.08
										38	95	5.1	2.69	0.1	43	107.5	7.2	2.53	0.08	49.3	123.25	9	0.78	0.08
										39	97.5	4.9	2.51	0.08	44	110	7.5	2.52	0.08	50	125	10.3	2.18	0.08
										40	100	5	2.50	0.08	44.7	111.75	7.7	1.76	0.08	51	127.5	11.2	2.66	0.08
										41	102.5	5.5	2.55	0.08	45	112.5	7.8	0.76	0.15					
										41.6	104	5.4	1.50	0.08	46	115	7.7	2.50	0.1					
															47	117.5	7.7	2.50	0.08					
															48	120	7.7	2.50	0.08					
															49	122.5	9.1	2.87	0.08					
															50	125	9.5	2.53	0.08					
															50.8	127	9.7	2.01	0.08					

Longitud total = 2.39 cm

Ancho Promedio = 0.08 mm

Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 7.26 cm

Ancho Promedio = 0.08 mm

Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 19.30 cm

Ancho Promedio = 0.09 mm

Ancho máximo = 0.10 mm

Longitud total = 30.78 cm

Ancho Promedio = 0.09 mm

Ancho máximo = 0.15 mm

Longitud total = 14.65 cm

Ancho Promedio = 0.10 mm

Ancho máximo = 0.25 mm



Viga VCPC 1_268 días de edad

Medición	Grieta 6		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 7		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 8		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y		
48	120	6.1		0.08	52.6	131.5	5		0.08	50.3	125.75	2.5		0.08
49	122.5	5.8	2.52	0.08	53	132.5	5	1.00	0.08	51	127.5	2.7	1.76	0.08
50	125	5	2.62	0.08	54	135	5.2	2.51	0.08	51.2	128	2.2	0.71	0.08
51	127.5	5.1	2.50	0.08	55	137.5	4.8	2.53	0.08					
52	130	4.5	2.57	0.08	56	140	4.5	2.52	0.08					
52.9	132.25	4.4	2.25	0.08	57	142.5	4.2	2.52	0.08					
					58	145	4	2.51	0.08					
					59	147.5	4.8	2.62	0.08					
					60	150	5.1	2.52	0.08					
					61	152.5	5.2	2.50	0.08					
					62	155	5.7	2.55	0.08					
					63	157.5	5.1	2.57	0.08					
					64	160	5.8	2.60	0.08					
					65	162.5	5.1	2.60	0.08					
					66	165	4.6	2.55	0.08					
					66.6	166.5	4	1.62	0.08					

Longitud total = 12.47 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 35.71 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 2.47 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Viga VCPC 1_273 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
30.70	76.75	6.50		0.08	32.20	80.50	7.70		0.10	34.00	85.00	6.60		0.08	38.70	96.75	7.50		0.08	45.50	113.75	7.50		0.08
31.00	77.50	6.20	0.81	0.08	33.00	82.50	7.80	2.00	0.10	34.40	86.00	6.30	1.04	0.08	39.00	97.50	7.50	0.75	0.08	46.00	115.00	7.80	1.29	0.08
31.60	79.00	6.70	1.58	0.08	34.00	85.00	8.80	2.69	0.10	35.00	87.50	6.20	1.50	0.10	40.00	100.00	7.00	2.55	0.08	47.00	117.50	8.80	2.69	0.25
					34.50	86.25	9.20	1.31	0.08	36.00	90.00	6.20	2.50	0.08	41.00	102.50	6.80	2.51	0.08	48.00	120.00	9.20	2.53	0.08
					35.00	87.50	9.30	1.25	0.08	37.00	92.50	6.10	2.50	0.10	42.00	105.00	6.80	2.50	0.20	49.00	122.50	8.80	2.53	0.08
										38.00	95.00	5.10	2.69	0.10	43.00	107.50	7.20	2.53	0.20	49.30	123.25	9.00	0.78	0.08
										39.00	97.50	4.90	2.51	0.08	44.00	110.00	7.50	2.52	0.25	50.00	125.00	10.30	2.18	0.08
										40.00	100.00	5.00	2.50	0.08	44.70	111.75	7.70	1.76	0.08	51.00	127.50	11.20	2.66	0.08
										41.00	102.50	5.50	2.55	0.08	45.00	112.50	7.80	0.76	0.15					
										41.60	104.00	5.40	1.50	0.08	46.00	115.00	7.70	2.50	0.10					
															47.00	117.50	7.70	2.50	0.08					
															48.00	120.00	7.70	2.50	0.08					
															49.00	122.50	9.10	2.87	0.08					
															50.00	125.00	9.50	2.53	0.08					
															50.80	127.00	9.70	2.01	0.08					
															51.00	127.50	7.50	2.26	0.08					
															52.00	130.00	7.50	2.50	0.08					
															52.50	131.25	8.00	1.35	0.08					

Longitud total = 2.39 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 7.26 cm
Ancho Promedio = 0.09 mm
Ancho máximo = 0.10 mm

Longitud total = 19.30 cm
Ancho Promedio = 0.09 mm
Ancho máximo = 0.10 mm

Longitud total = 36.89 cm
Ancho Promedio = 0.11 mm
Ancho máximo = 0.25 mm

Longitud total = 14.65 cm
Ancho Promedio = 0.10 mm
Ancho máximo = 0.25 mm



“EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRESFORZADOS DAÑADOS POR CORROSIÓN: CASO DE VIGAS”



Viga VCPC 1 273 días de edad

Medición	Grieta 6		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 7		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 8		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 1a		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 9		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 10		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
47.70	119.25	6.10		0.08	52.60	131.50	5.00		0.08	50.30	125.75	2.50		0.08	29.00	72.50	7.00		0.08	37.80	94.50	7.10		0.08	48.80	122.00	3.10		0.08
48.00	120.00	6.10	0.75	0.08	53.00	132.50	5.00	1.00	0.08	51.00	127.50	2.70	1.76	0.08	30.00	75.00	5.90	2.73	0.08	38.00	95.00	7.10	0.50	0.08	49.00	122.50	3.40	0.58	0.08
49.00	122.50	5.80	2.52	0.08	54.00	135.00	5.20	2.51	0.08	51.20	128.00	2.20	0.71	0.08	31.00	77.50	6.20	2.52	0.08	39.00	97.50	7.00	2.50	0.08	50.00	125.00	3.90	2.55	0.08
50.00	125.00	5.00	2.62	0.08	55.00	137.50	4.80	2.53	0.08	51.70	129.25	2.10	1.25	0.08	31.10	77.75	6.20	0.25	0.08	39.30	98.25	7.00	0.75	0.08	50.80	127.00	3.70	2.01	0.08
51.00	127.50	5.10	2.50	0.08	56.00	140.00	4.50	2.52	0.08																				
52.00	130.00	4.50	2.57	0.08	57.00	142.50	4.20	2.52	0.08																				
52.90	132.25	4.40	2.25	0.08	58.00	145.00	4.00	2.51	0.08																				
					59.00	147.50	4.80	2.62	0.08																				
					60.00	150.00	5.10	2.52	0.08																				
					61.00	152.50	5.20	2.50	0.08																				
					62.00	155.00	5.70	2.55	0.08																				
					63.00	157.50	5.10	2.57	0.08																				
					64.00	160.00	5.80	2.60	0.08																				
					65.00	162.50	5.10	2.60	0.08																				
					66.00	165.00	4.60	2.55	0.08																				
					66.60	166.50	4.00	1.62	0.08																				
Longitud total = 13.22 cm					Longitud total = 35.71 cm					Longitud total = 3.72 cm					Longitud total = 5.50 cm					Longitud total = 3.75 cm					Longitud total = 5.14 cm				
Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm				
Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.08 mm				

Viga VCPC 1 280 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
30.7	76.75	6.5		0.08	32.2	80.5	7.7		0.1	34	85	6.6		0.08	38.7	96.75	7.5		0.08	45.5	113.75	7.5		0.08
31	77.5	6.2	0.81	0.1	33	82.5	7.8	2.00	0.1	34.4	86	6.3	1.04	0.08	39	97.5	7.5	0.75	0.08	46	115	7.8	1.29	0.1
31.6	79	6.7	1.58	0.08	34	85	8.8	2.69	0.1	35	87.5	6.2	1.50	0.1	40	100	7	2.55	0.08	47	117.5	8.8	2.69	0.25
					34.5	86.25	9.2	1.31	0.08	36	90	6.2	2.50	0.15	41	102.5	6.8	2.51	0.08	48	120	9.2	2.53	0.08
					35	87.5	9.3	1.25	0.08	37	92.5	6.1	2.50	0.2	42	105	6.8	2.50	0.2	49	122.5	8.8	2.53	0.08
										38	95	5.1	2.69	0.1	43	107.5	7.2	2.53	0.25	49.3	123.25	9	0.78	0.08
										39	97.5	4.9	2.51	0.1	44	110	7.5	2.52	0.25	50	125	10.3	2.18	0.08
										40	100	5	2.50	0.1	44.7	111.75	7.7	1.76	0.08	51	127.5	11.2	2.66	0.08
										41	102.5	5.5	2.55	0.1	45	112.5	7.8	0.76	0.2					
										41.6	104	5.4	1.50	0.08	46	115	7.7	2.50	0.2					
															47	117.5	7.7	2.50	0.2					
															48	120	7.7	2.50	0.1					
															49	122.5	9.1	2.87	0.08					
															50	125	9.5	2.53	0.08					
															50.8	127	9.7	2.01	0.08					
															51	127.5	7.5	2.26	0.08					
															52	130	7.5	2.50	0.08					
															52.5	131.25	8	1.35	0.08					
															52.6	131.5	8	0.25	0.08					
Longitud total = 2.39 cm					Longitud total = 7.26 cm					Longitud total = 19.30 cm					Longitud total = 37.14 cm					Longitud total = 14.65 cm				
Ancho Promedio = 0.09 mm					Ancho Promedio = 0.09 mm					Ancho Promedio = 0.11 mm					Ancho Promedio = 0.12 mm					Ancho Promedio = 0.10 mm				
Ancho máximo = 0.10 mm					Ancho máximo = 0.10 mm					Ancho máximo = 0.20 mm					Ancho máximo = 0.25 mm					Ancho máximo = 0.25 mm				



Viga VCPC 1_280 días de edad

[illegible]

Viga VCPC 1_280 días de edad

Medición	Grieta 11		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 12		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y		
77	192.5	11.3		0.08	73.7	184.25	2.9		0.08
78	195	10.5	2.62	0.08	74	185	2.5	0.85	0.08
79	197.5	9.7	2.62	0.08	75	187.5	2.2	2.52	0.08
80	200	9.2	2.55	0.08	76	190	2.5	2.52	0.08
80.6	201.5	8.5	1.66	0.08	77	192.5	2.3	2.51	0.08
					78	195	2.4	2.50	0.08
					79	197.5	2.5	2.50	0.08
Longitud total = 9.45 cm					Longitud total = 13.40 cm				
Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.08 mm				
Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.08 mm				



“EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRESFORZADOS DAÑADOS POR CORROSIÓN: CASO DE VIGAS”



Viga VCPC 1_287 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
30.7	76.75	6.5		0.08	32.1	80.25	7.7		0.15	33.8	84.5	6.5		0.08	38.6	96.5	7.5		0.08	45.5	113.75	7.5		0.08
31	77.5	6.2	0.81	0.1	32.2	80.5	7.7	0.25	0.15	34	85	6.6	0.51	0.08	38.7	96.75	7.5	0.25	0.08	46	115	7.8	1.29	0.1
31.6	79	6.7	1.58	0.08	33	82.5	7.8	2.00	0.1	34.4	86	6.3	1.04	0.08	39	97.5	7.5	0.75	0.08	47	117.5	8.8	2.69	0.25
					34	85	8.8	2.69	0.1	35	87.5	6.2	1.50	0.15	40	100	7	2.55	0.08	48	120	9.2	2.53	0.08
					34.5	86.25	9.2	1.31	0.08	36	90	6.2	2.50	0.15	41	102.5	6.8	2.51	0.08	49	122.5	8.8	2.53	0.08
					35	87.5	9.3	1.25	0.08	37	92.5	6.1	2.50	0.2	42	105	6.8	2.50	0.2	49.3	123.25	9	0.78	0.08
										38	95	5.1	2.69	0.1	43	107.5	7.2	2.53	0.25	50	125	10.3	2.18	0.08
										39	97.5	4.9	2.51	0.15	44	110	7.5	2.52	0.25	51	127.5	11.2	2.66	0.08
										40	100	5	2.50	0.1	44.7	111.75	7.7	1.76	0.25					
										41	102.5	5.5	2.55	0.1	45	112.5	7.8	0.76	0.25					
										41.6	104	5.4	1.50	0.08	46	115	7.7	2.50	0.25					
															47	117.5	7.7	2.50	0.2					
															48	120	7.7	2.50	0.1					
															49	122.5	9.1	2.87	0.08					
															50	125	9.5	2.53	0.08					
															50.8	127	9.7	2.01	0.08					
															51	127.5	7.5	2.26	0.08					
															52	130	7.5	2.50	0.08					
															52.5	131.25	8	1.35	0.08					
															52.6	131.5	8	0.25	0.08					
															52.8	132	8.1	0.51	0.08					

Longitud total = 2.39 cm
Ancho Promedio = 0.09 mm
Ancho máximo = 0.10 mm

Longitud total = 7.51 cm
Ancho Promedio = 0.11 mm
Ancho máximo = 0.15 mm

Longitud total = 19.81 cm
Ancho Promedio = 0.12 mm
Ancho máximo = 0.20 mm

Longitud total = 37.90 cm
Ancho Promedio = 0.13 mm
Ancho máximo = 0.25 mm

Longitud total = 14.65 cm
Ancho Promedio = 0.10 mm
Ancho máximo = 0.25 mm

Viga VCPC 1_287 días de edad

Medición	Grieta 6		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 7		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 8		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 1a		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 9		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 10		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
47.5	118.75	6.2		0.08	52.6	131.5	5		0.08	50	125	2.5		0.08	29	72.5	7		0.08	37.5	93.75	7.2		0.08	48.8	122	3.1		0.08
47.7	119.25	6.1	0.51	0.08	53	132.5	5	1.00	0.08	50.3	125.75	2.5	0.75	0.08	30	75	5.9	2.73	0.1	37.8	94.5	7.1	0.76	0.08	49	122.5	3.4	0.58	0.08
48	120	6.1	0.75	0.08	54	135	5.2	2.51	0.08	51	127.5	2.7	1.76	0.08	31	77.5	6.2	2.52	0.08	38	95	7.1	0.50	0.08	50	125	3.9	2.55	0.08
49	122.5	5.8	2.52	0.08	55	137.5	4.8	2.53	0.1	51.2	128	2.2	0.71	0.08	31.1	77.75	6.2	0.25	0.08	39	97.5	7	2.50	0.08	50.8	127	3.7	2.01	0.08
50	125	5	2.62	0.1	56	140	4.5	2.52	0.1	51.7	129.25	2.1	1.25	0.08	31.5	78.75	6.5	1.04	0.08	39.3	98.25	7	0.75	0.08					
51	127.5	5.1	2.50	0.1	57	142.5	4.2	2.52	0.1																				
52	130	4.5	2.57	0.1	58	145	4	2.51	0.08																				
52.9	132.25	4.4	2.25	0.08	59	147.5	4.8	2.62	0.08																				
53	132.5	4.4	0.25	0.08	60	150	5.1	2.52	0.1																				
					61	152.5	5.2	2.50	0.08																				
					62	155	5.7	2.55	0.08																				
					63	157.5	5.1	2.57	0.08																				
					64	160	5.8	2.60	0.08																				
					65	162.5	5.1	2.60	0.08																				
					66	165	4.6	2.55	0.08																				
					66.6	166.5	4	1.62	0.08																				

Longitud total = 13.98 cm
Ancho Promedio = 0.09 mm
Ancho máximo = 0.10 mm

Longitud total = 35.71 cm
Ancho Promedio = 0.09 mm
Ancho máximo = 0.10 mm

Longitud total = 4.47 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 6.54 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.10 mm

Longitud total = 4.51 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 5.14 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm



Viga VCPC 1_287 días de edad

[illegible]

Longitud total =	9.45 cm
Ancho Promedio =	0.08 mm
Ancho máximo =	0.10 mm

Longitud total =	15.40 cm
Ancho Promedio =	0.09 mm
Ancho máximo =	0.10 mm

Longitud total =	1.80 cm
Ancho Promedio =	0.08 mm
Ancho máximo =	0.08 mm

Viga VCPC 1_296 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
30.70	76.75	6.50		0.08	32.10	80.25	7.70		0.15	33.80	84.50	6.50		0.08	38.60	96.50	7.50		0.08	45.50	113.75	7.50		0.08
31.00	77.50	6.20	0.81	0.10	32.20	80.50	7.70	0.25	0.15	34.00	85.00	6.60	0.51	0.08	38.70	96.75	7.50	0.25	0.08	46.00	115.00	7.80	1.29	0.10
31.60	79.00	6.70	1.58	0.08	33.00	82.50	7.80	2.00	0.10	34.40	86.00	6.30	1.04	0.08	39.00	97.50	7.50	0.75	0.08	47.00	117.50	8.80	2.69	0.25
					34.00	85.00	8.80	2.69	0.10	35.00	87.50	6.20	1.50	0.15	40.00	100.00	7.00	2.55	0.08	48.00	120.00	9.20	2.53	0.15
					34.50	86.25	9.20	1.31	0.08	36.00	90.00	6.20	2.50	0.15	41.00	102.50	6.80	2.51	0.08	49.00	122.50	8.80	2.53	0.08
					35.00	87.50	9.30	1.25	0.08	37.00	92.50	6.10	2.50	0.20	42.00	105.00	6.80	2.50	0.20	49.30	123.25	9.00	0.78	0.08
										38.00	95.00	5.10	2.69	0.10	43.00	107.50	7.20	2.53	0.30	50.00	125.00	10.30	2.18	0.08
										39.00	97.50	4.90	2.51	0.15	44.00	110.00	7.50	2.52	0.25	51.00	127.50	11.20	2.66	0.08
										40.00	100.00	5.00	2.50	0.10	44.70	111.75	7.70	1.76	0.25					
										41.00	102.50	5.50	2.55	0.10	45.00	112.50	7.80	0.76	0.25					
										41.60	104.00	5.40	1.50	0.08	46.00	115.00	7.70	2.50	0.25					
										41.70	104.25	5.40	0.25	0.08	47.00	117.50	7.70	2.50	0.20					
															48.00	120.00	7.70	2.50	0.10					
															49.00	122.50	9.10	2.87	0.08					
															50.00	125.00	9.50	2.53	0.08					
															50.80	127.00	9.70	2.01	0.08					
															51.00	127.50	7.50	2.26	0.08					
															52.00	130.00	7.50	2.50	0.08					
															52.50	131.25	8.00	1.35	0.08					
															52.60	131.50	8.00	0.25	0.08					
															52.80	132.00	8.10	0.51	0.08					

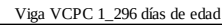
Longitud total =	2.39 cm
Ancho Promedio =	0.09 mm
Ancho máximo =	0.10 mm

Longitud total =	7.51 cm
Ancho Promedio =	0.11 mm
Ancho máximo =	0.15 mm

Longitud total =	20.06 cm
Ancho Promedio =	0.11 mm
Ancho máximo =	0.20 mm

Longitud total =	37.90 cm
Ancho Promedio =	0.14 mm
Ancho máximo =	0.30 mm

Longitud total = 14.65 cm
Ancho Promedio = 0.11 mm
Ancho máximo = 0.25 mm



Longitud total = 4.51 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Viga VCPC 1_296 días de edad

Longitud total =	1.80 cm
Ancho Promedio =	0.08 mm
Ancho máximo =	0.08 mm



Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
30.70	76.75	6.50		0.08	32.10	80.25	7.70		0.15	33.80	84.50	6.50		0.08	38.60	96.50	7.50		0.08	45.50	113.75	7.50		0.08
31.00	77.50	6.20	0.81	0.10	32.20	80.50	7.70	0.25	0.15	34.00	85.00	6.60	0.51	0.08	38.70	96.75	7.50	0.25	0.08	46.00	115.00	7.80	1.29	0.10
31.60	79.00	6.70	1.58	0.08	33.00	82.50	7.80	2.00	0.10	34.40	86.00	6.30	1.04	0.08	39.00	97.50	7.50	0.75	0.08	47.00	117.50	8.80	2.69	0.25
					34.00	85.00	8.80	2.69	0.10	35.00	87.50	6.20	1.50	0.15	40.00	100.00	7.00	2.55	0.08	48.00	120.00	9.20	2.53	0.20
					34.50	86.25	9.20	1.31	0.08	36.00	90.00	6.20	2.50	0.15	41.00	102.50	6.80	2.51	0.08	49.00	122.50	8.80	2.53	0.08
					35.00	87.50	9.30	1.25	0.08	37.00	92.50	6.10	2.50	0.20	42.00	105.00	6.80	2.50	0.20	49.30	123.25	9.00	0.78	0.08
										38.00	95.00	5.10	2.69	0.10	43.00	107.50	7.20	2.53	0.30	50.00	125.00	10.30	2.18	0.08
										39.00	97.50	4.90	2.51	0.15	44.00	110.00	7.50	2.52	0.25	51.00	127.50	11.20	2.66	0.08
										40.00	100.00	5.00	2.50	0.10	44.70	111.75	7.70	1.76	0.25					
										41.00	102.50	5.50	2.55	0.10	45.00	112.50	7.80	0.76	0.25					
										41.60	104.00	5.40	1.50	0.08	46.00	115.00	7.70	2.50	0.25					
										41.70	104.25	5.40	0.25	0.08	47.00	117.50	7.70	2.50	0.20					
															48.00	120.00	7.70	2.50	0.10					
															49.00	122.50	9.10	2.87	0.08					
															50.00	125.00	9.50	2.53	0.08					
															50.80	127.00	9.70	2.01	0.08					
															51.00	127.50	7.50	2.26	0.08					
															52.00	130.00	7.50	2.50	0.08					
															52.50	131.25	8.00	1.35	0.08					
															52.60	131.50	8.00	0.25	0.08					
															52.80	132.00	8.10	0.51	0.08					
Longitud total = 2.39 cm			Longitud total = 7.51 cm			Longitud total = 20.06 cm			Longitud total = 37.90 cm			Longitud total = 14.65 cm												
Ancho Promedio = 0.09 mm			Ancho Promedio = 0.11 mm			Ancho Promedio = 0.11 mm			Ancho Promedio = 0.14 mm			Ancho Promedio = 0.12 mm												
Ancho máximo = 0.10 mm			Ancho máximo = 0.15 mm			Ancho máximo = 0.20 mm			Ancho máximo = 0.30 mm			Ancho máximo = 0.25 mm												

[illegible]



Viga VCPC 1_301 días de edad

[illegible]

Longitud total = 6.43 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 9.45 cm
Ancho Promedio = 0.09 mm
Ancho máximo = 0.10 mm

Longitud total = 16.42 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.10 mm

Longitud total = 2.25 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Viga VCPC 1_233 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
12.00	30.00	3.80		0.08	28.60	71.50	2.50		0.08	32.20	80.50	10.00		0.08	34.20	85.50	2.50		0.08	39.50	98.75	5.50		0.08
13.00	32.50	2.10	3.02	0.08	29.00	72.50	2.20	1.04	0.08	33.00	82.50	10.10	2.00	0.08	35.00	87.50	2.50	2.00	0.08	40.00	100.00	5.50	1.25	0.08
					30.00	75.00	2.00	2.51	0.08	34.00	85.00	9.60	2.55	0.10	36.00	90.00	2.50	2.50	0.08	41.00	102.50	5.20	2.52	0.08
					31.00	77.50	2.50	2.55	0.08	35.00	87.50	9.80	2.51	0.10	37.00	92.50	2.50	2.50	0.08	42.00	105.00	5.50	2.52	0.08
					32.00	80.00	2.00	2.55	0.08	36.00	90.00	9.50	2.52	0.10						43.00	107.50	5.00	2.55	0.08
					32.50	81.25	2.00	1.25	0.08	37.00	92.50	9.50	2.50	0.08						44.00	110.00	5.00	2.50	0.08
										37.50	93.75	9.50	1.25	0.08						45.00	112.50	5.20	2.51	0.08
																				45.50	113.75	5.50	1.29	0.08

Longitud total = 3.02 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 9.90 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 13.33 cm
Ancho Promedio = 0.09 mm
Ancho máximo = 0.10 mm

Longitud total = 7.00 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 15.13 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm



Viga VCPC 1_233 días de edad

Medición	Grieta 6		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 7		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 8		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y		
47.10	117.75	7.00		0.08	50.00	125.00	7.50		0.08	37.00	92.50	8.80		0.08
48.00	120.00	7.10	2.25	0.08	51.00	127.50	8.00	2.55	0.08	38.00	95.00	9.10	2.52	0.15
49.00	122.50	7.00	2.50	0.08	51.50	128.75	7.80	1.27	0.08	39.00	97.50	9.50	2.53	0.10
50.00	125.00	7.20	2.51	0.08						40.00	100.00	9.80	2.52	0.08

Longitud total = 7.26 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 3.82 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 7.57 cm
Ancho Promedio = 0.10 mm
Ancho máximo = 0.15 mm

Viga VCPC 1_238 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
11.50	28.75	3.70		0.08	28.40	71.00	2.50		0.08	32.20	80.50	10.00		0.08	34.20	85.50	2.50		0.08	39.20	98.00	5.10		0.08
12.00	30.00	3.80	1.25	0.08	28.60	71.50	2.50	0.50	0.08	33.00	82.50	10.10	2.00	0.08	35.00	87.50	2.50	2.00	0.08	40.00	100.00	5.50	2.04	0.08
13.00	32.50	2.10	3.02	0.08	29.00	72.50	2.20	1.04	0.08	34.00	85.00	9.60	2.55	0.10	36.00	90.00	2.50	2.50	0.08	41.00	102.50	5.20	2.52	0.08
					30.00	75.00	2.00	2.51	0.08	35.00	87.50	9.80	2.51	0.10	37.00	92.50	2.50	2.50	0.08	42.00	105.00	5.50	2.52	0.08
					31.00	77.50	2.50	2.55	0.08	36.00	90.00	9.50	2.52	0.15						43.00	107.50	5.00	2.55	0.08
					32.00	80.00	2.00	2.55	0.08	37.00	92.50	9.50	2.50	0.08						44.00	110.00	5.00	2.50	0.08
					32.50	81.25	2.00	1.25	0.08	37.50	93.75	9.50	1.25	0.08						45.00	112.50	5.20	2.51	0.08
					33.00	82.50	2.50	1.35	0.08	37.70	94.25	9.40	0.51	0.08						45.50	113.75	5.10	1.29	0.08
					34.00	85.00	2.00	2.55	0.08															

Longitud total = 4.28 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 14.30 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 13.84 cm
Ancho Promedio = 0.09 mm
Ancho máximo = 0.15 mm

Longitud total = 7.00 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 15.92 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm



"EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRESFORZADOS DAÑADOS POR CORROSIÓN: CASO DE VIGAS"



Viga VCPC 1_238 días de edad

Medición	Grieta 6		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 7		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 8		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 9		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y		
47.10	117.75	7.00		0.08	50.00	125.00	7.50		0.08	37.00	92.50	8.80		0.08	26.90	67.25	2.20		0.08
48.00	120.00	7.10	2.25	0.08	51.00	127.50	8.00	2.55	0.08	38.00	95.00	9.10	2.52	0.15	27.00	67.50	2.20	0.25	0.08
49.00	122.50	7.00	2.50	0.08	51.50	128.75	7.80	1.27	0.08	39.00	97.50	9.50	2.53	0.10	27.60	69.00	2.20	1.50	0.08
50.00	125.00	7.20	2.51	0.08	51.60	129.00	7.80	0.25	0.08	40.00	100.00	9.80	2.52	0.08					
										40.20	100.50	9.80	0.50	0.08					

Longitud total = 7.26 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 4.07 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 8.07 cm
Ancho Promedio = 0.10 mm
Ancho máximo = 0.15 mm

Longitud total = 1.75 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Viga VCPC 1_268 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
11.5	28.75	3.7		0.08	28	70	2.5		0.08	32.2	80.5	10		0.08	34.2	85.5	2.5		0.08	38.8	97	4.8		0.08
12	30	3.8	1.25	0.08	28.4	71	2.5	1.00	0.08	33	82.5	10.1	2.00	0.08	35	87.5	2.5	2.00	0.08	39	97.5	5	0.54	0.08
13	32.5	2.1	3.02	0.08	28.6	71.5	2.5	0.50	0.08	34	85	9.6	2.55	0.1	36	90	2.5	2.50	0.08	39.2	98	5.1	0.51	0.08
					29	72.5	2.2	1.04	0.08	35	87.5	9.8	2.51	0.1	37	92.5	2.5	2.50	0.08	40	100	5.5	2.04	0.08
					30	75	2	2.51	0.08	36	90	9.5	2.52	0.15	37.5	93.75	3	1.35	0.08	41	102.5	5.2	2.52	0.08
					31	77.5	2.5	2.55	0.08	37	92.5	9.5	2.50	0.08						42	105	5.5	2.52	0.08
					32	80	2	2.55	0.08	37.5	93.75	9.5	1.25	0.08						43	107.5	5	2.55	0.08
					32.5	81.25	2	1.25	0.08	37.7	94.25	9.4	0.51	0.08						44	110	5	2.50	0.08
					33	82.5	2.5	1.35	0.08											45	112.5	5.2	2.51	0.08
					34	85	2	2.55	0.08											45.5	113.75	5.1	1.25	0.08
					34.2	85.5	2.5	0.71	0.08											46	115	4.8	1.29	0.08
																				47	117.5	4.5	2.52	0.08
																				47.5	118.75	4.8	1.29	0.08

Longitud total = 4.28 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 16.00 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 13.84 cm
Ancho Promedio = 0.09 mm
Ancho máximo = 0.15 mm

Longitud total = 8.35 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 22.02 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm



Viga VCPC 1_268 días de edad

[illegible]

Viga VCPC 1_273 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
11.50	28.75	3.70		0.08	28.00	70.00	2.50		0.20	32.20	80.50	10.00		0.08	34.20	85.50	2.50		0.20	38.00	95.00	5.20		0.08
12.00	30.00	3.80	1.25	0.08	28.40	71.00	2.50	1.00	0.20	33.00	82.50	10.10	2.00	0.08	35.00	87.50	2.50	2.00	0.20	38.80	97.00	4.80	2.04	0.08
13.00	32.50	2.10	3.02	0.08	28.60	71.50	2.50	0.50	0.25	34.00	85.00	9.60	2.55	0.10	36.00	90.00	2.50	2.50	0.25	39.00	97.50	5.00	0.54	0.08
					29.00	72.50	2.20	1.04	0.20	35.00	87.50	9.80	2.51	0.10	37.00	92.50	2.50	2.50	0.10	39.20	98.00	5.10	0.51	0.08
					30.00	75.00	2.00	2.51	0.20	36.00	90.00	9.50	2.52	0.15	37.50	93.75	3.00	1.35	0.08	40.00	100.00	5.50	2.04	0.15
					31.00	77.50	2.50	2.55	0.25	37.00	92.50	9.50	2.50	0.08						41.00	102.50	5.20	2.52	0.20
					32.00	80.00	2.00	2.55	0.08	37.50	93.75	9.50	1.25	0.08						42.00	105.00	5.50	2.52	0.20
					32.50	81.25	2.00	1.25	0.08	37.70	94.25	9.40	0.51	0.08						43.00	107.50	5.00	2.55	0.20
					33.00	82.50	2.50	1.35	0.08											44.00	110.00	5.00	2.50	0.20
					34.00	85.00	2.00	2.55	0.08											45.00	112.50	5.20	2.51	0.08
					34.20	85.50	2.50	0.71	0.25											45.50	113.75	5.10	1.25	0.08
																				46.00	115.00	4.80	1.29	0.08
																				47.00	117.50	4.50	2.52	0.08
																				47.50	118.75	4.80	1.29	0.08
Longitud total =			4.28 cm		Longitud total =			16.00 cm		Longitud total =			13.84 cm		Longitud total =			8.35 cm		Longitud total =			24.06 cm	
Ancho Promedio =			0.08 mm		Ancho Promedio =			0.17 mm		Ancho Promedio =			0.09 mm		Ancho Promedio =			0.17 mm		Ancho Promedio =			0.12 mm	
Ancho máximo =			0.08 mm		Ancho máximo =			0.25 mm		Ancho máximo =			0.15 mm		Ancho máximo =			0.25 mm		Ancho máximo =			0.20 mm	



“EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRESFORZADOS DAÑADOS POR CORROSIÓN: CASO DE VIGAS”



Viga VCPC 1_273 días de edad

Medición	Grieta 6		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 7		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 8		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 9		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 10		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 8a		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
47.00	117.50	7.00		0.08	49.80	124.50	7.50		0.08	37.00	92.50	8.80		0.08	23.70	59.25	2.50		0.08	13.80	34.50	5.30		0.08	39.80	99.50	9.80		0.08
47.10	117.75	7.00	0.25	0.08	50.00	125.00	7.50	0.50	0.10	38.00	95.00	9.10	2.52	0.30	24.00	60.00	2.40	0.76	0.08	15.00	37.50	4.80	3.04	0.15	40.00	100.00	10.00	0.54	0.08
48.00	120.00	7.10	2.25	0.08	51.00	127.50	8.00	2.55	0.10	39.00	97.50	9.50	2.53	0.25	25.00	62.50	2.50	2.50	0.08	16.00	40.00	4.80	2.50	0.15	41.00	102.50	10.40	2.53	0.08
49.00	122.50	7.00	2.50	0.10	51.50	128.75	7.80	1.27	0.10	40.00	100.00	9.80	2.52	0.08	26.00	65.00	2.50	2.50	0.08	17.00	42.50	5.00	2.51	0.15					
50.00	125.00	7.20	2.51	0.08	51.60	129.00	7.80	0.25	0.08	40.20	100.50	9.80	0.50	0.08	26.20	65.50	2.40	0.51	0.08	18.00	45.00	5.20	2.51	0.15					
50.20	125.50	7.20	0.50	0.08											26.90	67.25	2.20	1.76	0.08	19.00	47.50	4.70	2.55	0.15					
															27.00	67.50	2.20	0.25	0.08	20.00	50.00	5.10	2.53	0.15					
															27.60	69.00	2.20	1.50	0.15	21.00	52.50	5.20	2.50	0.15					
															28.00	70.00	2.50	1.04	0.15	21.50	53.75	4.90	1.29	0.08					
																				22.00	55.00	4.90	1.25	0.08					
																				23.00	57.50	5.20	2.52	0.08					
																				24.00	60.00	5.50	2.52	0.08					
																				24.80	62.00	4.50	2.24	0.08					
Longitud total = 8.01 cm			Longitud total = 4.57 cm			Longitud total = 8.07 cm			Longitud total = 10.82 cm			Longitud total = 27.95 cm			Longitud total = 3.07 cm														
Ancho Promedio = 0.08 mm			Ancho Promedio = 0.09 mm			Ancho Promedio = 0.16 mm			Ancho Promedio = 0.10 mm			Ancho Promedio = 0.12 mm			Ancho Promedio = 0.08 mm														
Ancho máximo = 0.10 mm			Ancho máximo = 0.10 mm			Ancho máximo = 0.30 mm			Ancho máximo = 0.15 mm			Ancho máximo = 0.15 mm			Ancho máximo = 0.08 mm														

Viga VCPC 1_280 días de edad

Viga VCF-1, 200 días de edad																								
Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
11.5	28.75	3.7		0.08	28	70	2.5		0.2	32.2	80.5	10		0.08	34.2	85.5	2.5		0.2	38	95	5.2		0.08
12	30	3.8	1.25	0.08	28.4	71	2.5	1.00	0.2	33	82.5	10.1	2.00	0.08	35	87.5	2.5	2.00	0.2	38.8	97	4.8	2.04	0.08
13	32.5	2.1	3.02	0.08	28.6	71.5	2.5	0.50	0.25	34	85	9.6	2.55	0.2	36	90	2.5	2.50	0.25	39	97.5	5	0.54	0.08
					29	72.5	2.2	1.04	0.2	35	87.5	9.8	2.51	0.2	37	92.5	2.5	2.50	0.1	39.2	98	5.1	0.51	0.1
					30	75	2	2.51	0.2	36	90	9.5	2.52	0.15	37.5	93.75	3	1.35	0.08	40	100	5.5	2.04	0.15
					31	77.5	2.5	2.55	0.3	37	92.5	9.5	2.50	0.08	38	95	3.1	1.25	0.08	41	102.5	5.2	2.52	0.2
					32	80	2	2.55	0.2	37.5	93.75	9.5	1.25	0.08	39	97.5	3.4	2.52	0.08	42	105	5.5	2.52	0.2
					32.5	81.25	2	1.25	0.2	37.7	94.25	9.4	0.51	0.08	39.1	97.75	3.4	0.25	0.08	43	107.5	5	2.55	0.2
					33	82.5	2.5	1.35	0.2											44	110	5	2.50	0.2
					34	85	2	2.55	0.2											45	112.5	5.2	2.51	0.08
					34.2	85.5	2.5	0.71	0.25											45.5	113.75	5.1	1.25	0.08
																				46	115	4.8	1.29	0.08
																				47	117.5	4.5	2.52	0.08
																				47.5	118.75	4.8	1.29	0.08
Longitud total = 4.28 cm			Longitud total = 16.00 cm			Longitud total = 13.84 cm			Longitud total = 12.37 cm			Longitud total = 24.06 cm												
Ancho Promedio = 0.08 mm			Ancho Promedio = 0.22 mm			Ancho Promedio = 0.12 mm			Ancho Promedio = 0.13 mm			Ancho Promedio = 0.12 mm												
Ancho máximo = 0.08 mm			Ancho máximo = 0.30 mm			Ancho máximo = 0.20 mm			Ancho máximo = 0.25 mm			Ancho máximo = 0.20 mm												



Medición	Grieta 6		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 7		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 8		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 9		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 10		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
47	117.5	7		0.08	49.8	124.5	7.5		0.08	37	92.5	8.8		0.08	23.7	59.25	2.5		0.08	12.6	31.5	4.1		0.08
47.1	117.75	7	0.25	0.08	50	125	7.5	0.50	0.1	38	95	9.1	2.52	0.3	24	60	2.4	0.76	0.08	13	32.5	4.9	1.28	0.08
48	120	7.1	2.25	0.08	51	127.5	8	2.55	0.1	39	97.5	9.5	2.53	0.25	25	62.5	2.5	2.50	0.08	13.8	34.5	5.3	2.04	0.08
49	122.5	7	2.50	0.1	51.5	128.75	7.8	1.27	0.1	40	100	9.8	2.52	0.08	26	65	2.5	2.50	0.08	15	37.5	4.8	3.04	0.15
50	125	7.2	2.51	0.08	51.6	129	7.8	0.25	0.08	40.2	100.5	9.8	0.50	0.08	26.2	65.5	2.4	0.51	0.1	16	40	4.8	2.50	0.15
50.2	125.5	7.2	0.50	0.08											26.9	67.25	2.2	1.76	0.1	17	42.5	5	2.51	0.15
															27	67.5	2.2	0.25	0.1	18	45	5.2	2.51	0.15
															27.6	69	2.2	1.50	0.15	19	47.5	4.7	2.55	0.15
															28	70	2.5	1.04	0.15	20	50	5.1	2.53	0.15
																				21	52.5	5.2	2.50	0.15
																				21.5	53.75	4.9	1.29	0.08
																				22	55	4.9	1.25	0.08
																				23	57.5	5.2	2.52	0.08
																				24	60	5.5	2.52	0.08
																				24.8	62	4.5	2.24	0.08
Longitud total =			8.01 cm		Longitud total =			4.57 cm		Longitud total =			8.07 cm		Longitud total =			10.82 cm		Longitud total =			31.27 cm	
Ancho Promedio =			0.08 mm		Ancho Promedio =			0.09 mm		Ancho Promedio =			0.16 mm		Ancho Promedio =			0.10 mm		Ancho Promedio =			0.11 mm	
Ancho máximo =			0.10 mm		Ancho máximo =			0.10 mm		Ancho máximo =			0.30 mm		Ancho máximo =			0.15 mm		Ancho máximo =			0.15 mm	

Medición	Grieta 8a		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y		
39.8	99.5	9.8		0.08
40	100	10	0.54	0.08
41	102.5	10.4	2.53	0.08

Longitud total =	3.07 cm
Ancho Promedio =	0.08 mm
Ancho máximo =	0.08 mm



“EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRESFORZADOS DAÑADOS POR CORROSIÓN: CASO DE VIGAS”



Viga VCPC 1_287 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
11.5	28.75	3.7		0.08	28	70	2.5		0.25	32.2	80.5	10		0.08	34.2	85.5	2.5		0.25	38	95	5.2		0.08
12	30	3.8	1.25	0.08	28.4	71	2.5	1.00	0.25	33	82.5	10.1	2.00	0.08	35	87.5	2.5	2.00	0.2	38.8	97	4.8	2.04	0.08
13	32.5	2.1	3.02	0.08	28.6	71.5	2.5	0.50	0.25	34	85	9.6	2.55	0.2	36	90	2.5	2.50	0.25	39	97.5	5	0.54	0.1
					29	72.5	2.2	1.04	0.25	35	87.5	9.8	2.51	0.2	37	92.5	2.5	2.50	0.1	39.2	98	5.1	0.51	0.1
					30	75	2	2.51	0.25	36	90	9.5	2.52	0.15	37.5	93.75	3	1.35	0.08	40	100	5.5	2.04	0.15
					31	77.5	2.5	2.55	0.3	37	92.5	9.5	2.50	0.08	38	95	3.1	1.25	0.08	41	102.5	5.2	2.52	0.2
					32	80	2	2.55	0.3	37.5	93.75	9.5	1.25	0.08	39	97.5	3.4	2.52	0.08	42	105	5.5	2.52	0.2
					32.5	81.25	2	1.25	0.2	37.7	94.25	9.4	0.51	0.08	39.1	97.75	3.4	0.25	0.08	43	107.5	5	2.55	0.2
					33	82.5	2.5	1.35	0.2						39.3	98.25	3.6	0.54	0.08	44	110	5	2.50	0.2
					34	85	2	2.55	0.2											45	112.5	5.2	2.51	0.1
					34.2	85.5	2.5	0.71	0.25											45.5	113.75	5.1	1.25	0.1
																				46	115	4.8	1.29	0.1
																				47	117.5	4.5	2.52	0.08
																				47.5	118.75	4.8	1.29	0.08
																				47.6	119	4.8	0.25	0.08
Longitud total = 4.28 cm					Longitud total = 16.00 cm					Longitud total = 13.84 cm					Longitud total = 12.91 cm					Longitud total = 24.31 cm				
Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.25 mm					Ancho Promedio = 0.12 mm					Ancho Promedio = 0.13 mm					Ancho Promedio = 0.12 mm				
Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.30 mm					Ancho máximo = 0.20 mm					Ancho máximo = 0.25 mm					Ancho máximo = 0.20 mm				

Viga VCPC 1_287 días de edad

Medición	Grieta 6		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 7		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 8		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 9		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 10		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
47	117.5	7		0.08	49.8	124.5	7.5		0.08	37	92.5	8.8		0.08	23.7	59.25	2.5		0.08	12.6	31.5	4.1		0.08
47.1	117.75	7	0.25	0.08	50	125	7.5	0.50	0.1	38	95	9.1	2.52	0.3	24	60	2.4	0.76	0.08	13	32.5	4.9	1.28	0.08
48	120	7.1	2.25	0.08	51	127.5	8	2.55	0.1	39	97.5	9.5	2.53	0.25	25	62.5	2.5	2.50	0.08	13.8	34.5	5.3	2.04	0.08
49	122.5	7	2.50	0.1	51.5	128.75	7.8	1.27	0.1	40	100	9.8	2.52	0.08	26	65	2.5	2.50	0.08	15	37.5	4.8	3.04	0.15
50	125	7.2	2.51	0.08	51.6	129	7.8	0.25	0.08	40.2	100.5	9.8	0.50	0.08	26.2	65.5	2.4	0.51	0.1	16	40	4.8	2.50	0.15
50.2	125.5	7.2	0.50	0.08											26.9	67.25	2.2	1.76	0.1	17	42.5	5	2.51	0.2
															27	67.5	2.2	0.25	0.1	18	45	5.2	2.51	0.2
															27.6	69	2.2	1.50	0.15	19	47.5	4.7	2.55	0.2
															28	70	2.5	1.04	0.15	20	50	5.1	2.53	0.15
																				21	52.5	5.2	2.50	0.15
																				21.5	53.75	4.9	1.29	0.15
																				22	55	4.9	1.25	0.1
																				23	57.5	5.2	2.52	0.1
																				24	60	5.5	2.52	0.08
																				24.8	62	4.5	2.24	0.08
Longitud total = 8.01 cm					Longitud total = 4.57 cm					Longitud total = 8.07 cm					Longitud total = 10.82 cm					Longitud total = 31.27 cm				
Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.09 mm					Ancho Promedio = 0.16 mm					Ancho Promedio = 0.10 mm					Ancho Promedio = 0.13 mm				
Ancho máximo = 0.10 mm					Ancho máximo = 0.10 mm					Ancho máximo = 0.30 mm					Ancho máximo = 0.15 mm					Ancho máximo = 0.20 mm				



Viga VCPC 1_287 días de edad

Medición	Grieta 8a		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 11		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 12		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y		
39.8	99.5	9.8		0.08	21.5	53.75	6.9		0.08	29.5	73.75	7.5		0.08
40	100	10	0.54	0.08	22	55	6.8	1.25	0.08	30	75	7.1	1.31	0.08
41	102.5	10.4	2.53	0.08	23	57.5	7	2.51	0.08	31	77.5	7.4	2.52	0.08
					24	60	7.3	2.52	0.08	32	80	7.4	2.50	0.08
					25	62.5	7.5	2.51	0.08	32.2	80.5	7.4	0.50	0.08

Longitud total = 3.07 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 8.79 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 6.83 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Viga VCPC 1_296 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
11.5	28.75	3.7		0.08	28	70	2.5		0.25	32.2	80.5	10		0.08	34.2	85.5	2.5		0.25	38	95	5.2		0.08
12	30	3.8	1.25	0.08	28.4	71	2.5	1.00	0.25	33	82.5	10.1	2.00	0.08	35	87.5	2.5	2.00	0.2	38.8	97	4.8	2.04	0.08
13	32.5	2.1	3.02	0.08	28.6	71.5	2.5	0.50	0.25	34	85	9.6	2.55	0.2	36	90	2.5	2.50	0.25	39	97.5	5	0.54	0.1
13.3	33.25	2	0.76	0.08	29	72.5	2.2	1.04	0.25	35	87.5	9.8	2.51	0.2	37	92.5	2.5	2.50	0.1	39.2	98	5.1	0.51	0.1
					30	75	2	2.51	0.25	36	90	9.5	2.52	0.15	37.5	93.75	3	1.35	0.08	40	100	5.5	2.04	0.2
					31	77.5	2.5	2.55	0.3	37	92.5	9.5	2.50	0.08	38	95	3.1	1.25	0.08	41	102.5	5.2	2.52	0.2
					32	80	2	2.55	0.3	37.5	93.75	9.5	1.25	0.08	39	97.5	3.4	2.52	0.08	42	105	5.5	2.52	0.2
					32.5	81.25	2	1.25	0.2	37.7	94.25	9.4	0.51	0.08	39.1	97.75	3.4	0.25	0.08	43	107.5	5	2.55	0.2
					33	82.5	2.5	1.35	0.2						39.3	98.25	3.6	0.54	0.08	44	110	5	2.50	0.2
					34	85	2	2.55	0.2											45	112.5	5.2	2.51	0.1
					34.2	85.5	2.5	0.71	0.25											45.5	113.75	5.1	1.25	0.1
																				46	115	4.8	1.29	0.1
																				47	117.5	4.5	2.52	0.08
																				47.5	118.75	4.8	1.29	0.08
																				47.6	119	4.8	0.25	0.08
																				47.8	119.5	5	0.54	0.08

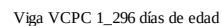
Longitud total = 5.03 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 16.00 cm
Ancho Promedio = 0.25 mm
Ancho máximo = 0.30 mm

Longitud total = 13.84 cm
Ancho Promedio = 0.12 mm
Ancho máximo = 0.20 mm

Longitud total = 12.91 cm
Ancho Promedio = 0.13 mm
Ancho máximo = 0.25 mm

Longitud total = 24.85 cm
Ancho Promedio = 0.12 mm
Ancho máximo = 0.20 mm



Longitud total =	31.27 cm
Ancho Promedio =	0.13 mm
Ancho máximo =	0.20 mm

Viga VCPC 1 296 días de edad

Longitud total = 12.95 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm



“EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PRESFORZADOS DAÑADOS POR CORROSIÓN: CASO DE VIGAS”



Viga VCPC 1_301 días de edad

Medición	Grieta 1		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 2		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 3		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 4		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 5		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
11.5	28.75	3.7		0.08	28	70	2.5		0.25	32.2	80.5	10		0.08	34.2	85.5	2.5		0.25	38	95	5.2		0.08
12	30	3.8	1.25	0.08	28.4	71	2.5	1.00	0.25	33	82.5	10.1	2.00	0.08	35	87.5	2.5	2.00	0.2	38.8	97	4.8	2.04	0.08
13	32.5	2.1	3.02	0.08	28.6	71.5	2.5	0.50	0.25	34	85	9.6	2.55	0.2	36	90	2.5	2.50	0.25	39	97.5	5	0.54	0.1
13.3	33.25	2	0.76	0.08	29	72.5	2.2	1.04	0.25	35	87.5	9.8	2.51	0.2	37	92.5	2.5	2.50	0.1	39.2	98	5.1	0.51	0.1
					30	75	2	2.51	0.25	36	90	9.5	2.52	0.15	37.5	93.75	3	1.35	0.08	40	100	5.5	2.04	0.2
					31	77.5	2.5	2.55	0.3	37	92.5	9.5	2.50	0.08	38	95	3.1	1.25	0.08	41	102.5	5.2	2.52	0.2
					32	80	2	2.55	0.3	37.5	93.75	9.5	1.25	0.08	39	97.5	3.4	2.52	0.08	42	105	5.5	2.52	0.2
					32.5	81.25	2	1.25	0.2	37.7	94.25	9.4	0.51	0.08	39.1	97.75	3.4	0.25	0.08	43	107.5	5	2.55	0.2
					33	82.5	2.5	1.35	0.2						39.3	98.25	3.6	0.54	0.08	44	110	5	2.50	0.2
					34	85	2	2.55	0.2											45	112.5	5.2	2.51	0.1
					34.2	85.5	2.5	0.71	0.25											45.5	113.75	5.1	1.25	0.1
																				46	115	4.8	1.29	0.1
																				47	117.5	4.5	2.52	0.08
																				47.5	118.75	4.8	1.29	0.08
																				47.6	119	4.8	0.25	0.08
																				47.8	119.5	5	0.54	0.08
Longitud total = 5.03 cm					Longitud total = 16.00 cm					Longitud total = 13.84 cm					Longitud total = 12.91 cm					Longitud total = 24.85 cm				
Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.25 mm					Ancho Promedio = 0.12 mm					Ancho Promedio = 0.13 mm					Ancho Promedio = 0.12 mm				
Ancho máximo = 0.08 mm					Ancho máximo = 0.30 mm					Ancho máximo = 0.20 mm					Ancho máximo = 0.25 mm					Ancho máximo = 0.20 mm				

Viga VCPC 1_301 días de edad

Medición	Grieta 6		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 7		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 8		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 9		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 10		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y				x	y				x	y		
46.9	117.25	7			49.7	124.25	7.3		0.08	37	92.5	8.8		0.08	23.7	59.25	2.5		0.08	12.6	31.5	4.1		0.08
47	117.5	7	0.25	0.08	49.8	124.5	7.5	0.32	0.08	38	95	9.1	2.52	0.3	24	60	2.4	0.76	0.08	13	32.5	4.9	1.28	0.08
47.1	117.75	7	0.25	0.08	50	125	7.5	0.50	0.1	39	97.5	9.5	2.53	0.25	25	62.5	2.5	2.50	0.08	13.8	34.5	5.3	2.04	0.08
48	120	7.1	2.25	0.08	51	127.5	8	2.55	0.1	40	100	9.8	2.52	0.08	26	65	2.5	2.50	0.08	15	37.5	4.8	3.04	0.15
49	122.5	7	2.50	0.1	51.5	128.75	7.8	1.27	0.1	40.2	100.5	9.8	0.50	0.08	26.2	65.5	2.4	0.51	0.1	16	40	4.8	2.50	0.15
50	125	7.2	2.51	0.08	51.6	129	7.8	0.25	0.08	40.4	101	9.8	0.50	0.08	26.9	67.25	2.2	1.76	0.1	17	42.5	5	2.51	0.2
50.2	125.5	7.2	0.50	0.08											27	67.5	2.2	0.25	0.1	18	45	5.2	2.51	0.2
															27.6	69	2.2	1.50	0.15	19	47.5	4.7	2.55	0.2
															28	70	2.5	1.04	0.15	20	50	5.1	2.53	0.15
																				21	52.5	5.2	2.50	0.15
																				21.5	53.75	4.9	1.29	0.15
																				22	55	4.9	1.25	0.1
																				23	57.5	5.2	2.52	0.1
																				24	60	5.5	2.52	0.08
																				24.8	62	4.5	2.24	0.08
Longitud total = 8.26 cm					Longitud total = 4.89 cm					Longitud total = 8.57 cm					Longitud total = 10.82 cm					Longitud total = 31.27 cm				
Ancho Promedio = 0.08 mm					Ancho Promedio = 0.09 mm					Ancho Promedio = 0.15 mm					Ancho Promedio = 0.10 mm					Ancho Promedio = 0.13 mm				
Ancho máximo = 0.10 mm					Ancho máximo = 0.10 mm					Ancho máximo = 0.30 mm					Ancho máximo = 0.15 mm					Ancho máximo = 0.20 mm				



Viga VCPC 1_301 días de edad

Medición	Grieta 8a		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 11		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)	Medición	Grieta 12		Longitud (cm)	Ancho de grieta (mm)
	x	y				x	y				x	y		
39.8	99.5	9.8		0.08	21.5	53.75	6.9		0.08	29.5	73.75	7.5		0.08
40	100	10	0.54	0.08	22	55	6.8	1.25	0.08	30	75	7.1	1.31	0.08
41	102.5	10.4	2.53	0.08	23	57.5	7	2.51	0.08	31	77.5	7.4	2.52	0.08
					24	60	7.3	2.52	0.08	32	80	7.4	2.50	0.08
					25	62.5	7.5	2.51	0.08	32.2	80.5	7.4	0.50	0.08
										33	82.5	7.7	2.02	0.08
										34	85	7.4	2.52	0.08
										34.6	86.5	7.9	1.58	0.08

Longitud total = 3.07 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 8.79 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm

Longitud total = 12.95 cm
Ancho Promedio = 0.08 mm
Ancho máximo = 0.08 mm