

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:
SISTEMAS DE PASIVACIÓN DE CORROSIÓN EN LOSAS DE
HORMIGÓN ARMADO**

**AUTOR:
Ramos Lilliegren, Elmo Augusto**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:
Chon Díaz, Carlos Ildefonso**

Guayaquil, Ecuador

09 de Marzo del 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Ramos Lilliegren, Elmo Augusto**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____
Chon Díaz, Carlos Ildefonso

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____
Alcívar Bastidas, Stefany Esther

Guayaquil, a los 09 del mes de Marzo del año 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Ramos Lilliegren, Elmo Augusto**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Sistemas de pasivación de corrosión en losas de hormigón armado** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 09 del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

f. _____
Ramos Lilliegren, Elmo Augusto



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Ramos Lilliegren, Elmo Augusto**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Sistemas de pasivación de corrosión en losas de hormigón armado**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 09 del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR:

f. _____
Ramos Lilliegren, Elmo Augusto

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Trabajo de titulo - Elmo Ramos.docx (D35944655)
Submitted: 2/26/2018 11:19:00 PM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 8 %

Sources included in the report:

TRABAJO DE GRADO ING ITALO SALCEDO F MIN.pdf (D13953195)
corosión final.doc (D25164686)
RESUMEN MATERIALES SEGUNDO PARCIAL.docx (D25443694)

Instances where selected sources appear:

32



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA CIVIL**

f. _____

CARLOS ILDEFONSO CHON DÍAZ
TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

LUIS OCTAVIO YÉPEZ ROCA
OPONENTE

f. _____

STEFANY ESTHER ALCÍVAR BASTIDAS
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

CLARA GLAS CEVALLOS
DELEGADA DE COORDINACIÓN DE ÁREA

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo a mi familia que ha sabido guiarme a través, no solamente de mis estudios, sino de mi vida diaria. En ellos he encontrado la fuerza necesaria para vencer obstáculos y cumplir mis metas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por el apoyo incondicional, tanto moral como económico, a lo largo de mi carrera. Agradezco a mis hermanas por la paciencia que me han tenido y por demostrarme que estarán a mi lado siempre que las necesite. Gracias a mi tutor por la paciencia, el apoyo y la ayuda brindada. Quiero agradecer también a mis compañeros pues han sido los que han estado conmigo a lo largo de mi carrera y con los que he compartido momentos que muy difícil podré olvidar. Han sido tantas experiencias que he vivido con mis amigos y mis profesores que me han ayudado a ir creciendo como persona. De manera especial, quiero agradecer a mi compañero Fabrizio Murillo Roldós, con el que he tenido la suerte de compartir un aula de clase desde que comenzamos el preuniversitario y que me ha brindado su apoyo incondicional y desinteresado. No me alcanzan las palabras para agradecer y demostrar lo contento y orgulloso que me siento de tener a todas estas personas que me han apoyado y que han creído en mí.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.....	2
1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivo Específico.....	3
1.3 Justificación del Tema.....	3
1.4 Alcance.....	4
CAPÍTULO 2.....	5
2 MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Fundamentos de la Corrosión.....	5
2.2 Impacto Económico de la Corrosión.....	6
2.3 Motivos Generales de la Corrosión.....	6
2.4 Consecuencias de la Corrosión.....	7
2.5 Formas de Medir la Corrosión.....	7
2.6 Potencial de Corrosión (<i>E_{corr}</i>).....	8
2.7 Velocidad de Corrosión del Acero de Refuerzo (VC).....	9
2.8 Sistemas Retardadores de Corrosión.....	10
2.9 Formas de Corrosión.....	10
2.9.1 Corrosión Uniforme.....	11
2.9.2 Corrosión Galvánica.....	11

2.9.3	Corrosión por erosión.....	12
2.9.4	Corrosión por agrietamiento	12
2.9.5	Corrosión por picadura	13
2.9.6	Corrosión por exfoliación.....	14
2.9.7	Corrosión por ataque selectivo	14
2.9.8	Corrosión intergranular.....	15
2.9.9	Corrosión de fractura por tensión	15
2.9.10	Corrosión por fatiga.....	16
2.10	Métodos Preventivos para la Corrosión	16
2.10.1	Uso de materiales resistentes a la corrosión en la construcción	17
2.10.2	Sobredimensionamiento de la estructura	17
2.10.3	Colocación de una barrera entre el material y el ambiente....	18
2.11	Inhibidores de Corrosión.....	18
2.12	Inhibidores de Corrosión Migratorios (MCI)	20
2.12.1	Aditivos inhibidores de corrosión migratorios (MCI)	21
2.12.2	Inhibidor de corrosión migratorio utilizado para el presente trabajo de titulación.....	22
2.13	Protección Catódica	22
2.14	Sistemas Galvánicos	23
2.14.1	Ánodos galvánicos.....	23
2.14.2	Ánodo utilizado para el presente trabajo de titulación	23
CAPÍTULO 3.....		25
3	MARCO EXPERIMENTAL	25

3.1	Losetas de Hormigón Armado Fabricadas en el Año 2005	25
3.1.1	Composición de losetas antiguas	26
3.1.2	Simulaciones de ambientes agresivos aplicadas a las losetas	27
3.1.3	Monitoreo	27
3.1.4	Resultados de mediciones en losetas antiguas	28
3.1.5	Saturación de losetas antiguas	35
3.1.6	Monitoreo realizado para el presente trabajo de titulación.....	38
3.1.7	Aplicación de ánodos galvánicos en las losetas antiguas.....	39
3.2	Losetas de Hormigón Armado Fabricadas en el Año 2018	52
CAPÍTULO 4.....		60
4	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	60
4.1	Losetas Antiguas	60
4.2	Ánodos Galvánicos Aplicados a Losetas Antiguas.....	61
4.3	Inhibidor de Corrosión Migratorio (MCI) en Losetas Nuevas.....	62
CAPÍTULO 5.....		64
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS		66
ANEXOS		67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Instalación de los ánodos galvánicos realizada en el presente trabajo de titulación.....	24
Ilustración 2: Armadura de acero corrugado de 12 mm de diámetro utilizada para losetas antiguas con espaciamiento de 22 cm aproximadamente	26
Ilustración 3: Esquema de losetas y puntos donde se realizaron las mediciones	28
Ilustración 4: Especificaciones para la instalación de ánodos de sacrificio ..	43
Ilustración 5: Esquema de la armadura que se encuentra dentro de las losetas nuevas.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Rangos de potencial de corrosión para acero de refuerzo	9
Tabla 2: Valores frecuentes de velocidad de corrosión para acero de refuerzo (Borja, 2006)	10
Tabla 3: Composición de losetas fundidas en el 2005	26
Tabla 4: Ambientes agresivos aplicados a losetas fundidas en el año 2005	27
Tabla 5: Calendario de mediciones realizadas en losetas.....	28
Tabla 6: Valores obtenidos de la primera medición	29
Tabla 7: Valores obtenidos de la segunda medición	30
Tabla 8: Valores obtenidos de la tercera medición	30
Tabla 9: Valores obtenidos de la cuarta medición.....	31
Tabla 10: Valores obtenidos de la quinta medición	32
Tabla 11: Valores obtenidos de la primera medición del presente trabajo de medición	39
Tabla 12: Valores obtenidos de la segunda medición para el presente trabajo de titulación	49
Tabla 13: Valores obtenidos de la tercera medición para el presente trabajo de titulación	50
Tabla 14: Valores obtenidos de la cuarta medición realizada para el presente trabajo de titulación.....	52
Tabla 15: Valores obtenidos de la primera medición realizadas en losetas nuevas.....	59
Tabla 16: Valores obtenidos de la segunda medición realizada a las nuevas losetas	59

Tabla 17: Mediciones en losetas antiguas realizadas al poco tiempo de haber sido fabricadas	60
Tabla 18: Mediciones en losetas antiguas realizadas después de más de 12 años de haber sido fabricadas. Dichas mediciones se realizaron para el presente trabajo de titulación.....	61
Tabla 19: Mediciones en las losetas nuevas.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de los diferentes tipos de corrosión.....	11
Figura 2: Corrosión uniforme	11
Figura 3: Corrosión galvánica	12
Figura 4: Corrosión por erosión	12
Figura 5: Corrosión por agrietamiento.....	13
Figura 6: Corrosión por picadura	14
Figura 7: Corrosión por exfoliación en aluminio	14
Figura 8: Corrosión por ataque selectivo	15
Figura 9: Corrosión intergranular	15
Figura 10: Corrosión de fractura por tensión.....	16
Figura 11: Corrosión por fatiga	16
Figura 12: Ánodo de sacrificio	24
Figura 13: Gráfica del estado de las losetas 1 y 2	32
Figura 14: Gráfica del estado de las losetas 3 y 4	33
Figura 15: Gráfica del estado de las losetas 5 y 6	33
Figura 16: Gráfica del estado de las losetas 7 y 8	34
Figura 17: Gráfica del estado de las losetas 9 y 10	34
Figura 18: Detector de armadura	35
Figura 19: Realizando dibujo en la superficie de las losetas con ayuda del detector de armaduras para conocer la ubicación de la misma	35
Figura 20: Marcos listos para ser adheridos a las losetas.....	36
Figura 21: Losetas saturadas con agua	36

Figura 22: Marcos removidos de losetas	37
Figura 23: Estado de losetas al momento de retirar los marcos que mantenían agua sobre ellas.....	37
Figura 24: Medición del potencial de corrosión	38
Figura 25: Valores medidos en V	38
Figura 26: Taladro especial utilizado para realizar perforaciones en las losetas	40
Figura 27: Broca diamantada para realizar perforaciones.....	40
Figura 28: Trabajador experto realizando perforaciones	41
Figura 29: Perforaciones en losetas	41
Figura 30: Núcleos extraídos de las losetas.....	42
Figura 31: Ánodo galvánico utilizado	42
Figura 32: Amoladora utilizada en la instalación de los ánodos	43
Figura 33: Equipos y herramientas utilizados para la instalación de los ánodos. Ánodos sumergidos en agua.....	44
Figura 34: Orificios para insertar el ánodo, pasar el cable y conectarlo al acero de refuerzo.....	44
Figura 35: Conexión al acero de refuerzo mediante un cable de Cobre que irá conectado en el otro extremo al ánodo	45
Figura 36: Mortero	45
Figura 37: Comprobando flujo eléctrico entre cable y acero de refuerzo con ayuda de un multímetro	46
Figura 38: Conectando el cable desde el ánodo hacia el acero de refuerzo	46
Figura 39: Cable de Cobre unido al ánodo mediante un conector.....	47
Figura 40: Conexión entre el ánodo y el acero de refuerzo.....	47

Figura 41: Orificios rellenados con mortero y terminados al mismo nivel que el resto de la superficie de las losetas	48
Figura 42: Perforación por segunda vez en cada una de las losetas	50
Figura 43: Orificio para el segundo ánodo. En el otro extremo se puede observar la marca de la instalación del primer ánodo	51
Figura 44: Instalación del segundo ánodo	51
Figura 45: Armadura utilizada en nuevas losetas	53
Figura 46: Encofrado para las nuevas losetas	54
Figura 47: Parihuela de 40 cm x 40 cm x 20 cm	54
Figura 48: Fabricación del hormigón.....	55
Figura 49: Fundición de nuevas losetas.....	56
Figura 50: Inhibidor de corrosión migratorio mezclado en agua	56
Figura 51: Sal agregada en hormigón para losetas 9 y 10	57
Figura 52: Cilindros de hormigón	57
Figura 53: Dibujo de la ubicación de la armadura de cada loseta	58

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se dan a conocer los problemas que hoy en día se presentan en estructuras de hormigón armado alrededor de América y del mundo debido al fenómeno conocido como “corrosión”. Se explicará detalladamente los tipos de corrosión que pueden presentarse y de las consecuencias que conllevan cada uno. Así mismo, se darán opciones de tratamientos y métodos preventivos para evitar o retrasar el inicio del proceso de la corrosión.

Para la demostración de los distintos métodos existentes, ya sean preventivos o correctivos, se han utilizado losetas de hormigón armado elaboradas hace más de 10 años y también se replicaron dichas losetas para que se les aplique cierto tratamiento y ver cuál es la reacción en ellas. Para poder cuantificar y distinguir los cambios que se presenten en las losetas se realizaron mediciones de potencial de corrosión.

Una vez realizadas las mediciones, para las antiguas losetas fue necesario los valores de las mediciones del potencial de corrosión que se hicieron cuando recién se fabricaron. Esto fue posible gracias a que esas antiguas losetas fueron parte de un trabajo de titulación anterior y cuyos se encontraban tabulados en las mismas. Gracias a esto se pudieron distinguir los cambios efectuados en las losetas. Para las nuevas losetas, se aplicó un tratamiento conocido como MCI (Inhibidores de Corrosión Migratorio), y con ayuda de las mediciones del trabajo de titulación anterior se expusieron las diferencias presentes en corto plazo.

Palabras Claves: *Corrosión, potencial de corrosión, pasivación, inhibidor migratorio.*

ABSTRACT

In the present degree work it is explained the problems that nowadays appear in concrete structures around America and all over the world due to the phenomenon known as "corrosion". It will be explained in detail the different types of corrosion that can occur and the consequences that each one entails. Likewise, treatment options will be given for structures that have been affected by this phenomenon and preventive methods to avoid or delay the beginning of the corrosion process.

For the demonstration of the different existing methods, whether preventive or corrective, reinforced concrete slabs made more than 10 years ago have been used and these slabs have been replicated so that some treatment can be applied and see what the reaction is in them. In order to quantify and distinguish the changes that occur in the slabs, corrosion potential measurements were made.

Once the measurements were made, for the old slabs the values of the corrosion potential measurements that were made when they were just made were necessary. This was possible thanks to the fact that these old slabs were part of a previous degree work and they were tabulated on it. Thanks to this, the changes made in the slabs could be distinguished. For the new slabs, a treatment known as MCI (Immigration Corrosion Inhibitors) was applied, and with the help of the measurements of the previous degree work, the differences that were presented in the short term were exposed.

Key words: Corrosion, corrosion potential, passivation, migratory inhibitor.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo, se dará a conocer como los distintos tipos del fenómeno de la corrosión ataca a las estructuras. También se estudia y se explica un método preventivo y un método corrector para el fenómeno conocido como “corrosión”.

En la actualidad, alrededor de América y del mundo, las estructuras están siendo usadas por más tiempo que el de su diseño inicial. El mantenimiento de las estructuras se ha hecho más común en el medio, lo que representa gastos que pueden llegar ser millonarios para su refuerzo o reconstrucción, lo cual ha creado la necesidad de la investigación y de la creación de ciertos materiales que faciliten la labor de mantenimiento a estructuras que han sufrido fenómenos que han afectado gravemente a las mismas, y para aplicarse desde un principio en las nuevas estructuras, lo cual nos ayude a prolongar el periodo de iniciación de los distintos fenómenos que sufren las estructuras. Uno de los principales es la corrosión, que es el tema del que se va a hablar en este trabajo y se realizaran pruebas para sustentar la teoría y poder representar los cambios y beneficios que nos otorgan ciertos métodos en las estructuras de hormigón armado.

Este estudio tiene como objetivo dar a conocer los cambios que se presentan en ciertos elementos luego de haberse aplicado distintos métodos de pasivación de corrosión.

1.1 Antecedentes

Para el análisis de los cambios que se producen en las losetas de hormigón armado se requiere tener valores previos del potencial de corrosión de estas, para así, poder distinguir de manera más fácil y clara la ayuda que brindan los distintos métodos de pasivación que vayan a ser utilizados. Medidas de protección, ya sea por corriente impresa o ánodos de sacrificio, ha sido la generalidad en protección a la corrosión. Sistemas de controles o de

reparaciones han significado demoliciones y sustituciones de estructuras de acero integral o parcialmente y poco se ha hecho con estructuras de hormigón armado o pretensado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Demostrar la ayuda que brindan distintos métodos de pasivación de corrosión en losas de hormigón armado y explicar el procedimiento para cada uno de ellos.

1.2.2 Objetivo Específico

- Dar a conocer las distintas clases de corrosión que existen, las causas por las que se producen y las consecuencias que pueden llegar a tener.
- Comparar los distintos métodos que se usaran para pasivar la corrosión.
- Analizar los cambios producidos en las losetas luego de haber sido sometidos a métodos preventivos y correctivos.

1.3 Justificación del Tema

Muy conocido especialmente en los medios de Ingeniería Mecánica los sistemas de protección catódica con ánodos de sacrificio y recientemente la protección de corrosión del concreto mediante la introducción de inhibidores en la mezcla que postergan el inicio de la corrosión en el concreto simple y, por ende, su carbonatación.

Con respecto a los elementos de hormigón armado y postensado no se ha hecho mucho, tal es así que esto viene siendo tema principalmente de reparación en estructuras de muelles y puentes y o en edificios muy antiguos sometidos a la acción del ambiente marino o de mediana salinidad.

1.4 Alcance

Dar a conocer la teoría general de procesos de corrosión en ambientes agresivos (el proceso en el concreto y en el acero de refuerzo).

Se realizarán mediciones de potencial de corrosión de varias losetas de hormigón armado sometidas a varias condiciones de corrosividad realizadas en pasados trabajos.

Explicar la aplicación de un sistema de protección en base a material o materiales de sacrificio en las losetas de hormigón armado.

Se realizarán controles periódicos de evolución de la corrosión o pasivación y mediciones posteriores a las losetas para verificar polarización y supresión del proceso corrosivo en las armaduras de las losas de concreto.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos de la Corrosión

Las estructuras de hormigón armado son las de mayor porcentaje dentro de la infraestructura civil, y su construcción implica varias responsabilidades de los profesionales a su cargo. La durabilidad de una estructura es uno de los aspectos más importantes debido a que controla el nivel de seguridad de la estructura y al mantenimiento que deberá recibir la misma.

Entre los distintos procesos de desgaste en estructuras de hormigón armado, se encuentra la corrosión de las armaduras gracias a la presencia de cloruros en el medio ambiente, por la carbonatación del hormigón que rodea a la armadura o debido a un recubrimiento insuficiente (entre las barras de acero y la superficie del hormigón).

La corrosión es la pérdida o deterioro de las propiedades físicas y/o químicas de un metal, sobre todo el hierro, al interactuar con su medio. Sucede naturalmente, transformándose el metal en un óxido, (reacción anódica, donde ocurre la disolución del metal) que es un compuesto más estable, por el cual el metal vuelve a su estado anterior u original, que es el que tenía antes del proceso metalúrgico.

Son factores de corrosión la atmósfera y el agua. Por eso es más frecuente que ocurra en lugares húmedos y salinos. La velocidad de la corrosión aumenta a mayor temperatura.

Este fenómeno solo ocurre en presencia de un electrolito, ocasionando regiones anódicas y catódicas. Una reacción de oxidación es una reacción anódica, en la cual los electrones son liberados dirigiéndose a otras regiones catódicas. Para la durabilidad de las armaduras se han definido ambientes agresivos como, por ejemplo, los ambientes industriales y urbanos, que

provocan corrosión por carbonatación, y ambientes marinos, que causan corrosión por cloruro.

Entre los distintos daños que puede causar la corrosión está la reducción de la sección resistente de la armadura y la fisuración del recubrimiento del hormigón. Es de vital importancia poder detectar la corrosión a tiempo para así poder reducir los costos que tendrá su reparación.

2.2 Impacto Económico de la Corrosión

Normalmente, las estructuras deberían diseñarse para una vida útil de servicio de 50 años, pero lamentablemente esto no es así, debido al diseño irresponsable de los encargados o por la mala fiscalización al momento de construir, esto acompañado del fenómeno de la corrosión, produce que fallen en un tiempo inferior al establecido. Estos casos se han dado tanto en obras públicas como en privadas, por lo que no solamente el estado sufre pérdidas millonarias sino también las empresas privadas por los gastos de reparaciones y reconstrucciones que tienen que hacer.

2.3 Motivos Generales de la Corrosión

Contaminación con Cloruros: En ambientes de alta salinidad, por la acción de los cloruros, el principal proceso degenerativo del hormigón armado es la corrosión de las armaduras. Es común que este fenómeno se presente en estructuras de hormigón que se encuentran sumergidas en agua salada o que están ubicadas en zonas costaneras. Es necesario tomar en cuenta el periodo de iniciación y el periodo de propagación de la corrosión para el cálculo de vida útil de una estructura de hormigón armado en ambientes agresivos. La calidad del hormigón es un factor muy importante, ya que la velocidad de penetración de los cloruros en el hormigón es lo que determina el periodo de iniciación de la corrosión. Otro factor importante es el ambiente en el que se encuentre la estructura de hormigón de armado, ya que el periodo de propagación depende de eso y de la calidad del hormigón.

Carbonatación: Se refiere a un cambio considerable en el nivel de pH causado por la difusión de dióxido de Carbono (CO_2) a través del hormigón. El pH normalmente básico (12,5) produce la formación de una capa

protectora sobre las armaduras, lo cual produce que el acero se encuentre pasivado, más no inmune. Si se pretende prolongar el periodo de iniciación de la corrosión y aumentar la vida útil de la estructura, es importante saber qué factores alteran el mecanismo de protección que el hormigón le brinda al acero.

2.4 Consecuencias de la Corrosión

La corrosión socava la integridad física de las estructuras y puede conducir a la destrucción de propiedades y la pérdida de vidas. Gracias a estudios realizados se ha determinado la importancia de un buen hormigón. La pasta de cemento en el hormigón crea un ambiente alcalino que protege el acero de la corrosión al formar una película de óxido férrico. Los factores que contribuyen a que las barras de refuerzo permanezcan pasivas ante la corrosión son la relación agua-cemento, la permeabilidad y la resistencia eléctrica del hormigón.

Entre los distintos daños que puede causar la corrosión está la reducción de la sección resistente de la armadura y la fisuración del recubrimiento del hormigón.

Es de vital importancia poder detectar la corrosión a tiempo para así poder reducir los costos que tendrá su reparación.

2.5 Formas de Medir la Corrosión

Para poder medir la corrosión en estructuras de hormigón armado existen varios equipos de campo, como, por ejemplo:

Galvapulse – Potencial de Medida de Celda (utilizado para el presente trabajo de titulación): Es un equipo de forma cilíndrica que se coloca en contacto con el hormigón y este a su vez se conecta con un multímetro y otro extremo de este se conecta a la varilla. Al cerrar el circuito se da un potencial con el cual obtenemos una probabilidad de corrosión.



Gráfica 1 Medición del potencial de corrosión con Galvapulse

Gecor 8 TM: Es un equipo de última tecnología, el cual da valores más exactos de la corrosión en las armaduras de acero del hormigón armado. Es un método rápido para representar graficar los ritmos de la corrosión de una estructura. Le permite al ingeniero clasificar de manera rápida las áreas de una estructura. Es una técnica avanzada de confinación de modulación para un análisis preciso del ritmo de corrosión. Presenta un accesorio adicional para poder realizar los análisis en estructuras húmedas o sumergidas. Actualmente en el Ecuador, este equipo se lo puede encontrar en los laboratorios de la Escuela Politécnica del Litoral.

2.6 Potencial de Corrosión (E_{corr})

Es un parámetro que indica el estado del progreso de la corrosión en el acero de refuerzo. La medición se realiza con ayuda de un electrodo con Sulfato de Cobre ($CuSO_4$) saturado (CSE), conectado a un voltímetro de alta impedancia de entrada.

Los valores se interpretan con ayuda de específica la norma ASTM C-876 para definir los distintos estados de corrosión para el acero de refuerzo del

hormigón. Esto define si el acero se encuentra en un estado pasivo (velocidad de corrosión despreciable) o activo (velocidad de corrosión considerable). (Borja, 2006)

De acuerdo con la norma ASTM C876, si el potencial de corrosión es -200mV o mayor, indica un 90% de probabilidades de ningún acero de refuerzo se haya corroído. Si el potencial es menor a -350mV se supone que tienen una probabilidad de corrosión superior al 90%.

Potencial de Corrosión (mV)	Riesgo de Corrosión	Estado del Acero
> -200	Bajo	Pasivo
-200 a -350	Incierto	Transición activo - pasivo
< -350	Alto	Activo

Tabla 1: Rangos de potencial de corrosión para acero de refuerzo

2.7 Velocidad de Corrosión del Acero de Refuerzo (VC)

Este factor permite conocer aproximadamente la velocidad del deterioro en términos de la disminución esperada para su sección transversal. La Red Iberoamericana DURAR (Durabilidad de la Armadura) propone una clasificación para la velocidad de corrosión, donde es evaluado el riesgo de daño en las estructuras de hormigón armado por corrosión en función de algunas características del hormigón y algunos de los agentes agresivos que causan la corrosión del acero. (Borja, 2006)

Nivel de daño	Vc/ $\mu\text{m}/\text{año}$	Condición del hormigón
Muy leve	< 1	Muy seco, sin contaminación de cloruros
Leve	1 – 5	Seco, carbonatado o poco contaminado con Cl
Moderado	5 – 10	Húmedo, carbonatado o poco contaminado con Cl
Alto	10 – 100	Muy húmedo, carbonatado o contaminado con Cl
Muy alto	> 100	Muy húmedo, carbonatado o muy contaminado con Cl

Tabla 2: Valores frecuentes de velocidad de corrosión para acero de refuerzo (Borja, 2006)

2.8 Sistemas Retardadores de Corrosión

Relación Agua/Cemento; mientras esta relación sea menor, habrá mayor densidad y, por lo tanto, mayor impermeabilidad del hormigón. Esta relación contribuye de manera directa a la difusión de la humedad, cloruros y carbonatación.

Espesor de Recubrimiento; mientras el espesor sea mayor, el recorrido aumenta, y por lo tanto el agua y otros elementos corrosivos tardarán un lapso de tiempo mayor para entrar en contacto con la armadura, lo que beneficia al periodo de iniciación.

Acero Inoxidable y Galvanizado; si este material fuera utilizado para estructuras de hormigón armado, la corrosión no sería un problema que tomar en cuenta. Pero por su alto costo, no es factible para la construcción.

2.9 Formas de Corrosión

La corrosión de los metales se puede presentar de diferentes formas, aunque las más comunes son la corrosión uniforme y galvánica.

Corrosión	Uniforme		
	Localizada	Macroscópica	Galvánica
			Erosión
			Agrietamiento
			Picadura
			Exfoliación
		Ataque selectivo	
		Microscópicas	Intergranular
			Fractura por corrosión
	Por fatiga		

Figura 1: Clasificación de los diferentes tipos de corrosión

2.9.1 Corrosión Uniforme

Es la más común, puede ser húmeda o seca, electroquímica o química, siendo necesario la correcta selección de materiales que serán utilizados en la construcción y algunos métodos de protección para poder controlarla. Al ser superficial, las fallas inesperadas pueden ser evitadas por simple inspección. (Borja, 2006)



Figura 2: Corrosión uniforme

2.9.2 Corrosión Galvánica

Se produce cuando 2 metales con potenciales de oxidación diferentes se ponen en contacto. El material con menor potencial de oxidación tendera a corroerse.

Ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes que causa un flujo de corriente entre ellos, lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo están unidos en presencia de un electrolito. Mientras más grande es la diferencia de potencial entre los metales, mayor es la probabilidad de que se presente la corrosión galvánica. El metal más

activo padece una corrosión más acelerada, mientras que, en los miembros menos activos, la corrosión se retrasa o se elimina.

Puede ser controlada restringiendo el uso de uniones de metales cuando ellos forman diferencias de potencial muy grande en el medio ambiente en el que se encuentran. También se puede reducir esta forma de corrosión evitando la presencia de grandes áreas de metal noble (menor potencial de oxidación) con respecto a las de metal activo. (Borja, 2006)



Figura 3: Corrosión galvánica

2.9.3 Corrosión por erosión

Se produce cuando el metal es sometido en un medio corrosivo y un proceso de desgaste mecánico. Cuando el movimiento de un corroyente sobre una superficie del metal aumenta la velocidad del ataque debido al desgaste mecánico y a la corrosión, este ataque se llama corrosión por erosión.

Tiene generalmente el aspecto de hoyos lisos. Prospera en condiciones de alta velocidad, turbulencia, choque, etc. Se puede evitar con cambios de diseño o por selección de materiales más resistentes.



Figura 4: Corrosión por erosión

2.9.4 Corrosión por agrietamiento

Las condiciones ambientales en una grieta pueden resultar determinantes para que se inicie el proceso de corrosión en las mismas. Se produce por

distintos factores, tales como cambio de acidez en la grieta, escasez de oxígeno en la grieta, desarrollo de iones diferentes en la hendidura y cambios de acidez en la grieta.

Los materiales en donde se producen las grietas pueden ser aleados para mejorar su resistencia y el diseño se deberá hacer para reducir las hendiduras, tratando de conservar las superficies limpias para combatir este tipo de corrosión. (Borja, 2006)



Figura 5: Corrosión por agrietamiento

2.9.5 Corrosión por picadura

Se produce por agentes químicos que crecen rápidamente hacia el interior del material y que pueden generar daños catastróficos. Se presenta por la formación de orificios en una superficie. Estos orificios suelen ser de tamaño pequeño y aparecen pegados unos con otros dando la impresión de poros.

Las picaduras pueden contribuir de manera importante a una falla general. Para reducir o evitar esta clase de corrosión, es recomendable tener una superficie limpia y homogénea. Para ser visible este proceso puede tardarse meses y hasta años. Los aceros inoxidable y las aleaciones de aluminio son susceptibles en especial a este tipo de degradación.

Para determinar el grado de resistencia a la picadura y agrietamiento por corrosión, de los metales y sus aleaciones, se utilizan las cámaras de ensayos de corrosión acelerada, según la norma ASTM G48.



Figura 6: Corrosión por picadura

2.9.6 Corrosión por exfoliación

Es una corrosión subsuperficial, puesto que empieza sobre una superficie limpia, pero luego se esparce debajo de ella. Este ataque tiene una apariencia laminar y es generalmente reconocido por el aspecto escamoso y en ocasiones ampollado de la superficie.

Este proceso es bien conocido en las aleaciones de aluminio y se combate utilizando aleaciones y tratamientos térmicos.



Figura 7: Corrosión por exfoliación en aluminio

2.9.7 Corrosión por ataque selectivo

Es denominada de esta manera debido a que solo actúa sobre metales nobles como Plata-Cobre o Cobre/Oro. La corrosión del metal involucrado genera una capa que recubre las picaduras y hace parecer al metal corroído como si no lo estuviera, por lo que es fácil que se produzcan daños en el metal al someterlo a una fuerza mecánica.

Se puede prevenir eligiendo metales/aleaciones más resistentes, usando inhibidores o controlando el medio para evitar la disolución de uno de los elementos.



Figura 8: Corrosión por ataque selectivo

2.9.8 Corrosión intergranular

Cuando un metal fundido se cuela en un molde, su solidificación comienza con la formación de núcleos al azar, cada uno de los cuales crece en un arreglo atómico regular para formar lo que se conoce como “granos” ó “cristales.” La corrosión intergranular es la que se encuentra localizada en los límites de los granos, esto origina pérdidas en la resistencia que desintegran los bordes de los granos.

Este tipo de corrosión es un subproducto de un tratamiento térmico como la soldadura o el relevado de esfuerzos y puede ser corregido por otro tipo de tratamiento térmico o por el uso de una aleación modificada. (Borja, 2006)



Figura 9: Corrosión intergranular

2.9.9 Corrosión de fractura por tensión

La acción conjunta de un esfuerzo de tensión y un medio ambiente corrosivo dará como resultado, en algunos casos, la fractura de una aleación metálica. La mayoría de las aleaciones son susceptibles a este ataque, pero afortunadamente, el número de combinaciones “aleación-corrosivo” que causan este problema, son relativamente pocas. Sin embargo, hasta la fecha, este es uno de los problemas metalúrgicos más serios. Los esfuerzos

que causan las fracturas provienen de trabajos en frío, soldadura, tratamientos térmicos, o bien, pueden ser aplicados en forma externa durante la operación del equipo.

Para combatir este tipo de corrosión, es necesario realizar el relevado de esfuerzo o seleccionar un material más resistente.

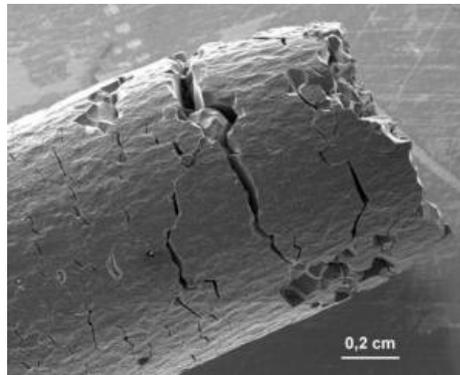


Figura 10: Corrosión de fractura por tensión

2.9.10 Corrosión por fatiga

Es una falla por fractura del metal, que ocurre por la interacción combinada de reacciones electroquímicas y daños mecánicos. Se presenta en ausencia de medios corrosivos, debido a esfuerzos cíclicos repetidos. Este tipo de corrosión es muy común en estructuras sometidas a vibración continua.

Para combatir este fenómeno se pueden utilizar inhibidores de corrosión, disminuir los esfuerzos cíclicos, pero también es necesario prevenir la fractura producida por la fatiga desde el principio, ya que una vez que se inicia la propagación de fracturas es muy difícil detenerla.



Figura 11: Corrosión por fatiga

2.10 Métodos Preventivos para la Corrosión

Los metales, de manera natural, tienden a corroerse. El propósito de los que trabajan con metal y se preocupan por el fenómeno de la corrosión, está en

controlarlo con la mayor economía posible teniendo en cuenta la técnica idónea y el uso de recursos existentes. Para prevenir la corrosión, algunos de los métodos más importantes son:

- Uso de materiales resistentes a la corrosión en la construcción
- Sobredimensionamiento de la estructura
- Colocación de una barrera entre el material y el ambiente

(Borja, 2006)

2.10.1 Uso de materiales resistentes a la corrosión en la construcción

Es preferible evitar descargas accidentales de líquidos corrosivos o agregar inhibidores a líquidos dentro de circuitos cerrados. Se debe tener precauciones en cuanto al tipo y a la cantidad de los productos químicos agregados como inhibidores. Una mala selección de estos o una mantención inadecuada de las concentraciones puede acelerar el proceso de la corrosión, en vez de evitarla.

Debido, principalmente, a su bajo costo y a sus buenas propiedades mecánicas, el hierro y el acero, son los materiales más ampliamente usados en construcción industrial. Pero, desafortunadamente, en la mayoría de los casos, estos materiales tienden a corroerse y a volver a su estado primitivo. Debido a esto, en ciertos casos se prefiere el empleo de otros materiales menos activos que ayudan a retrasar el proceso corrosivo.

Entre los metales que más se usan en aleaciones con aceros se encuentra el Cromo, Níquel, Cobre y el Molibdeno. Materiales menos comunes, debido a su alto costo, como el Titanio y Tantalio, se emplean solamente bajo condiciones muy severas.

2.10.2 Sobredimensionamiento de la estructura

Consiste en usar partes estructurales sobredimensionadas en espesor, anticipándose a pérdidas de material debidas a fenómenos de corrosión. Este es un método que antiguamente se utilizaba de manera común, pero en la actualidad se tiende a usar estructuras livianas, pero con mejor protección contra la corrosión. Cabe recalcar que la principal desventaja de este

método es el elevado costo que representa y aparte no brinda una total protección debido a que no se puede predecir la velocidad de corrosión a la que la estructura se enfrentara, puesto que las condiciones ambientales son inciertas. (Borja, 2006)

2.10.3 Colocación de una barrera entre el material y el ambiente

Debido a su versatilidad y efectividad, es el método más usado para combatir la corrosión, siendo suficiente en la mayoría de los casos. Consiste en aislar la superficie del ambiente de los agentes corrosivos mediante una barrera impermeable, que específicamente significa revestirla con una pintura o recubrimiento. Estos materiales son las principales armas que el hombre dispone contra la corrosión y son por consiguiente un ítem importante dentro de la manutención general. Cada material tiene su propia área de uso, aunque mucho se traslapan en sus aplicaciones.

Es necesario evaluar cuidadosamente las condiciones existentes y los materiales que podrán usarse antes de decidir el sistema más adecuado de protección.

El comportamiento de un revestimiento frente a un eventual problema de corrosión dependerá de la correcta aplicación sobre cada punto y de un buen control de las operaciones durante su aplicación. (Borja, 2006)

2.11 Inhibidores de Corrosión

Los inhibidores de corrosión para el hormigón han sido usados desde mediados de los años 70's, siendo el Nitrito de Calcio el primero en usarse. Hoy en día, los más comunes y los más usados son los Inhibidores de Corrosión Migratorios (MCI), los cuales se encuentran disponibles en diferentes formas para todo tipo de construcción.

Los inhibidores orgánicos utilizan compuestos que trabajan formando una lámina monomolecular entre el metal y el agua. Los inhibidores de corrosión migratoria pueden ser incorporados como una mezcla o pueden ser impregnados en hormigón existente para proteger al acero.

Al momento de elegir un inhibidor de corrosión para una estructura de hormigón armado, debemos tener las siguientes consideraciones:

- No ser tóxicos y no contamine el medio ambiente cuando se aplica
- Ser duradero y eficaz a temperaturas relevantes para la estructura expuesta a los medios afectados
- Debe inhibir la corrosión independiente de los cambios en las concentraciones en el hormigón

Las consecuencias desfavorables e incertidumbre en las dosificaciones correctas para obtener la pasividad anhelada con la aplicación de los aditivos inhibidores convencionales, ha obligado a los investigadores a desarrollar nuevos métodos para inhibir la corrosión del metal de refuerzo.

Para evitar la destrucción en estructuras de hormigón armado debido a la oxidación, los aditivos inhibidores de corrosión a base de Nitrato de Calcio (NCI) fueron los primeros que se usaron. El Nitrito de Calcio es un compuesto inorgánico que tiene otras aplicaciones aparte de ser un inhibidor de corrosión, como, por ejemplo, sirve como anticongelante y para lavar el petróleo pesado.

Sin embargo, el uso del Nitrato de Calcio presenta ciertos problemas técnicos, como el daño al hormigón, protección únicamente a zonas anódicas, incremento de permeabilidad a los cloruros, elevada toxicidad, entre otros.

En el cuadro se detalla el desarrollo cronológico de la tecnología y aplicación de los inhibidores de corrosión.

FÁBRICA	AÑO DE FABRICACIÓN	TIPO DE INHIBIDOR	COMPOSICIÓN QUÍMICA	APLICACIÓN
GRACE	1979	Anódico	Nitrato de Calcio (inorgánica)	Administrado en la mezcla
CORTEC	1986	Mixto anódico y catódico	Alcohol Amina (orgánica)	Administrado en la mezcla
CORTEC	1990	Mixto anódico y catódico	Carboxilato de Amina (base agua)	Aplicación superficial
MASTER BUILDERS	1990-1995	-----		* Administrado en la mezcla * Inyecciones
GRACE	1993	Anódico	Nitrato de Calcio (inorgánica)	Aplicación superficial
AXIM	1994	Anódico	Orgánico é Inorgánico	* Administrado en la mezcla * Aplicación superficial
SIKA	1997	Ferrogard	Amino Alcohol	* Administrado en la mezcla * Aplicación superficial
BALVAC	1997	Anódico	Sonosodico	Aplicación superficial
MARGEL	1998	-----	Etol Amina Fluorofosfato	Cartuchos introducidos en hoyos barrenados

Cuadro 1: Historia de inhibidores de corrosión para hormigón armado (Salcedo)

2.12 Inhibidores de Corrosión Migratorios (MCI)

En la actualidad sea llegado a desarrollar aditivos inhibidores modernos, los cuales representan una generación nueva de donde se puede destacar a los del tipo migratorio (MCI). El uso de los inhibidores de corrosión migratorios ha sido hace muchos años la manera más factible de combatir este fenómeno.

Pero cabe recalcar que, debido a los distintos ambientes corrosivos, el proceso selectivo del inhibidor es algo complejo gracias a las distintas variedades según el tipo de estructura, el ambiente, entre otros.

La tecnología de los inhibidores de corrosión migratoria fue desarrollada para proteger la varilla de refuerzo de acero dentro de la estructura de hormigón.

Los recientes inhibidores se basan en la química del amino carboxilato y los tipos de inhibidores más efectivos interactúan en el ánodo y en el cátodo de manera simultánea.

Los inhibidores de corrosión migratoria pueden ser incorporados como una mezcla o pueden ser impregnados en hormigón existente. Con la impregnación superficial, la difusión transporta al inhibidor dentro del hormigón donde puede inhibir la aparición de la corrosión en el acero.

Los MCI actúan modificando el comportamiento tanto de la reacción anódica como de la reacción catódica.

Las moléculas no solo son capaces de difundirse a través de la capa del hormigón, sino que también tienen la capacidad de ser absorbidas por el metal de refuerzo, la profundidad de penetración alcanzada por las moléculas del Carboxilato de Amina supera la profundidad que alcanzan los cloruros (60 mm.). Debido a esta propiedad especial, este es capaz de desplazar los cloruros que se encuentren depositados sobre la superficie del metal de refuerzo. (Salcedo)

2.12.1 Aditivos inhibidores de corrosión migratorios (MCI)

2.12.1.1 Carboxilato de Amina

Forma parte del primer grupo de la familia de los MCI (Migrating Corrosion Inhibitors) del tipo aditivo. El campo de aplicación de los MCI es muy amplio debido a sus bondades, y es utilizado con el fin de obtener una alta durabilidad en las estructuras. La adición de este inhibidor de corrosión desde la fase constructiva incrementa de dos a tres veces el periodo de activación de la corrosión. Los MCI poseen la habilidad de difundirse a través de la capa de la mezcla de hormigón. Una vez que las moléculas entran en contacto con la superficie de la varilla de refuerzo, estas sufren una atracción iónica hacia ella que provoca la formación de una capa

protectora que inhibe el ataque ocasionado durante la carbonatación o la contaminación con cloruros. (Salcedo)

2.12.2 Inhibidor de corrosión migratorio utilizado para el presente trabajo de titulación

Para el presente trabajo se usó un aditivo líquido para el concreto que protege al acero de refuerzo y a otros metales embebidos en concreto de la corrosión. Además, contiene un inhibidor de contacto probado, que cuando se lo incorpora en la mezcla, este crea una capa protectora sobre el metal. Ofrece alargar la vida de todas las estructuras reforzadas con concreto.

Cabe recalcar que este inhibidor no contiene Nitrito de Calcio, como lo hacían los primeros inhibidores de corrosión, no es tóxico y protege áreas catódicas y anódicas del metal.

Suele ser utilizado para las estructuras pretensadas, puentes de concreto de acero reforzado, parqueaderos, estructuras marinas, muelles de concreto, entre otros.

La dosis recomendable suele ser 1 litro del aditivo por m³ de hormigón.

2.13 Protección Catódica

Se puede definir como una técnica que reduce la corrosión de una superficie metálica haciendo circular, por la misma superficie, corriente catódica, de tal forma que la velocidad de la disolución anódica llega a ser despreciable.

Corresponde al empleo de corriente continua proveniente de una fuente externa, que se opone a una corriente de corrosión en las áreas anódicas de una estructura metálica sumergida en un medio conductor, tal como el suelo o el agua.

La protección catódica es aplicable solo al control de la corrosión que resulta de un flujo medible de una corriente directa desde una porción de la estructura, a través de un electrolito, a otra porción de la estructura. (Borja, 2006)

2.14 Sistemas Galvánicos

Es un sistema de mitigación de corrosión galvánica que proporciona una protección confiable mediante el uso de ánodos de sacrificio. Debido a que no hay necesidad de una fuente de alimentación externa, los sistemas galvánicos son una opción común para una mitigación efectiva de la corrosión de bajo mantenimiento.

2.14.1 Ánodos galvánicos

Los ánodos galvánicos o de sacrificio para la protección catódica, son aleaciones de alta pureza de Magnesio, Zinc y Aluminio, los cuales exhiben potenciales, lo suficientemente altos, que desarrollan usualmente un flujo de corriente a través del electrolito hacia la estructura a proteger. El empleo de aleaciones de Aluminio como ánodos galvánicos en la actualidad está limitado al agua de mar o a salmueras, donde funcionan muy bien.

Los ánodos de Magnesio son los de uso más amplios en aplicaciones de suelo, debido a su elevado potencial impulsor. Los ánodos de Zinc encuentran su mayor aplicación en agua y en suelos de baja resistividad. El agua y el suelo deben tener la suficiente baja resistividad como para que la corriente generada por el ánodo sea de uso práctico.

En cualquier instalación de protección catódica, es importante que los ánodos estén instalados apropiadamente, lo cual significa un ánodo y el suelo que lo rodea. Con el paso del tiempo se pueden desarrollar lentamente películas calcáreas en estructuras protegidas catódicamente. (Borja, 2006)

2.14.2 Ánodo utilizado para el presente trabajo de titulación

Los ánodos galvánicos embebidos en hormigón se utilizan para controlar la corrosión existente en el acero de refuerzo y para prevenir el inicio de una nueva actividad corrosiva.

El ánodo que se utilizó en el presente trabajo consiste en un núcleo de sacrificio de Zinc, el cual es activado mediante una matriz de cemento que lo rodea, fundido conjuntamente con un alambre de acero no galvanizado como conector al acero de refuerzo.

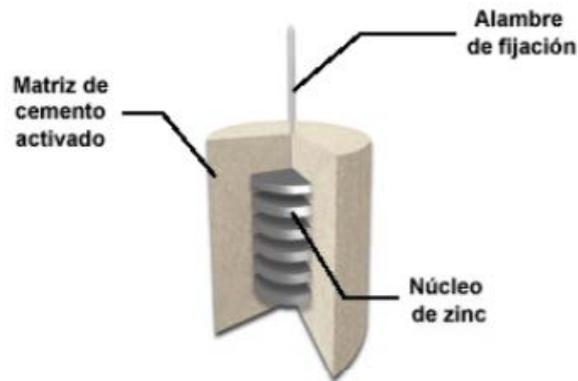


Figura 12: Ánodo de sacrificio

Es de fácil y rápida instalación dentro del concreto que se encuentra en buenas condiciones mecánicas pero que presenta actividad corrosiva. Al instalarlo, la corrosión se dirige hacia el núcleo del Zinc formando una protección galvánica al acero de refuerzo adyacente. Suele ser utilizado para balcones, losas, garajes, muelles, columnas, vigas, entre otros. Se caracteriza por ser una solución económica, versátil, práctico, de bajo mantenimiento, medible y duradero.

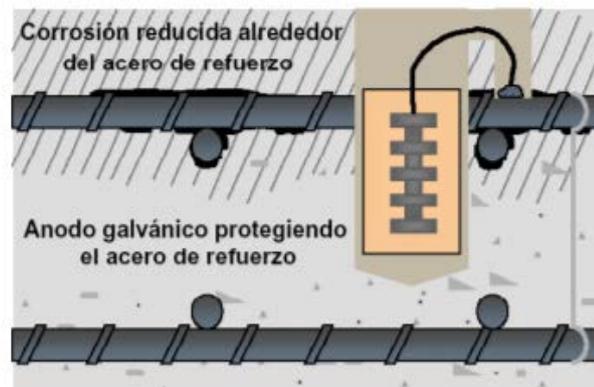


Ilustración 1: Instalación de los ánodos galvánicos realizada en el presente trabajo de titulación

CAPÍTULO 3

3 MARCO EXPERIMENTAL

El Marco Experimental fue desarrollado en el laboratorio de Estructuras “CEINVES” de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y en sus alrededores. El objetivo que se busca es descubrir los beneficios que presentan distintos sistemas de pasivación de corrosión en losas de hormigón armado sometidas a distintos ambientes agresivos. Para esto se realizarán mediciones del potencial de corrosión presente en losetas que fueron elaboradas hace más de 10 de años, y de las cuales se tienen los registros de las mediciones del potencial de corrosión al poco tiempo de haber sido creadas. La idea es replicar esas losetas cambiando en aditivo que se utilizó para combatir la corrosión y diferenciar cual brinda una mejor protección.

3.1 Losetas de Hormigón Armado Fabricadas en el Año 2005

Para este trabajo de titulación se hizo uso de losetas de hormigón armado fabricadas el 24 de Octubre de 2005 que fueron parte de un trabajo de titulación especificado en los **ANEXOS** del presente trabajo de titulación.

Dichas losetas constan de las siguientes dimensiones:

- Largo= 1 metro
- Ancho= 1 metro
- Espesor= 0.1 metro

Para la armadura de las losetas, se utilizó acero corrugado con un $f_y = 4200$ kg/cm², con una longitud de 92 cm y de diámetro de 12 mm. Las varillas cumplían con las especificaciones ASTM A – 625, A – 616 y A – 617.

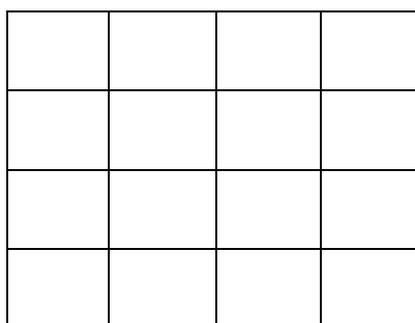


Ilustración 2: Armadura de acero corrugado de 12 mm de diámetro utilizada para losetas antiguas con espaciamiento de 22 cm aproximadamente

3.1.1 Composición de losetas antiguas

El hormigón utilizado para las losetas, que fue preparado en un mixer de una compañía hormigonera local, satisfacía las exigencias de las normas ASTM C-150 y ACI 3.2.1. y constaba de una resistencia de diseño de $f'_c = 180 \text{ kg/cm}^2$, la cual fue comprobada posteriormente mediante pruebas de compresión simple.

Número de Loseta	Aditivo	Composición
1		Hormigón
2	Sika Ferrogard	Hormigón
3		Hormigón
4	Sika Ferrogard	Hormigón
5		Hormigón
6	Sika Ferrogard	Hormigón
7		Hormigón
8	Sika Ferrogard	Hormigón
9		Hormigón + 750 gr de Sal
10	Sika Ferrogard	Hormigón + 2250 gr de Sal

Tabla 3: Composición de losetas fundidas en el 2005

3.1.2 Simulaciones de ambientes agresivos aplicadas a las losetas

Estas losetas fueron colocadas bajo algunos ambientes agresivos que simulan distintos tipos de climas y ambientes a los que puede estar sometida una estructura de hormigón armado. El aditivo que fue colocado en el momento de la fundición en las losetas es una forma de prevención para evitar el ataque de la corrosión.

Número de Loseta	Ambiente Agresivo
1	Inundadas de agua
2	Inundadas de agua
3	Inundadas de agua y cal
4	Inundadas de agua y cal
5	Inundadas de agua y sal
6	Inundadas de agua y sal
7	Inundadas con ácido clorhídrico
8	Inundadas con ácido clorhídrico
9	Inundadas de agua
10	Inundadas de agua

Tabla 4: Ambientes agresivos aplicados a losetas fundidas en el año 2005

3.1.3 Monitoreo

Para las mediciones realizadas en estas losetas, se dibujó en la superficie de las losetas el esquema de la armadura que consta dentro de ellas.

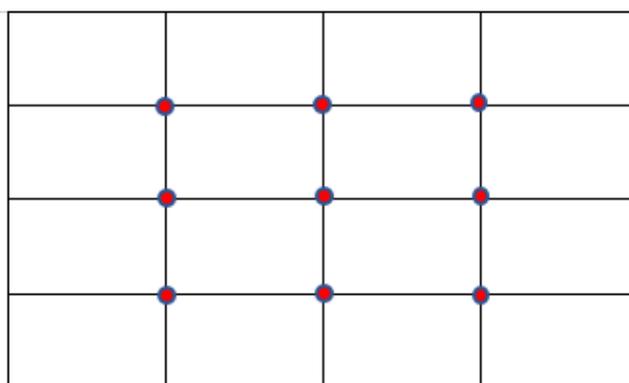


Ilustración 3: Esquema de losetas y puntos donde se realizaron las mediciones

Fundición de losetas	24 de Octubre del 2005
Primera Medición	22 de Noviembre del 2005
Aplicación de Ambientes Agresivos	27 de Diciembre del 2005
Segunda Medición	23 de Enero del 2006
Tercera Medición	06 de Febrero del 2006
Cuarta Medición	21 de Febrero del 2006
Quinta Medición	08 de Marzo del 2006

Tabla 5: Calendario de mediciones realizadas en losetas

3.1.4 Resultados de mediciones en losetas antiguas

Los resultados exactos de las mediciones de potencial de corrosión para cada punto de conexión se especifican en los ANEXOS del presente trabajo. A continuación, se presentan valores promedios obtenidos para cada medición en las distintas losetas existentes.

Primera Medición	
22 de Noviembre del 2005	
Número de Loleta	Valor Promedio medido en mV
1	-217
2	-191
3	-171
4	-204
5	-210
6	-220
7	-190
8	-181
9	-403
10	-513

Tabla 6: Valores obtenidos de la primera medición

Segunda Medición	
23 de Enero del 2006	
Número de Loleta	Valor Promedio medido en mV
1	-275
2	-296
3	-230
4	-303
5	-449
6	-460

Segunda Medición	
23 de Enero del 2006	
Número de Loseta	Valor Promedio medido en mV
7	-315
8	-345
9	-515
10	-597

Tabla 7: Valores obtenidos de la segunda medición

Tercera Medición	
06 de Febrero del 2006	
Número de Loseta	Valor Promedio medido en mV
1	-284
2	-317
3	-331
4	-456
5	-621
6	-531
7	-328
8	-360
9	-606
10	-633

Tabla 8: Valores obtenidos de la tercera medición

Cuarta Medición	
21 de Febrero del 2006	
Número de Loleta	Valor Promedio medido en mV
1	-296
2	-318
3	-229
4	-312
5	-578
6	-559
7	-314
8	-331
9	-544
10	-606

Tabla 9: Valores obtenidos de la cuarta medición

Quinta Medición	
08 de Marzo del 2006	
Número de Loleta	Valor Promedio medido en mV
1	-285
2	-270
3	-141
4	-266
5	-556
6	-468

Quinta Medición	
08 de Marzo del 2006	
Número de Loseta	Valor Promedio medido en mV
7	-363
8	-364
9	-532
10	-588

Tabla 10: Valores obtenidos de la quinta medición

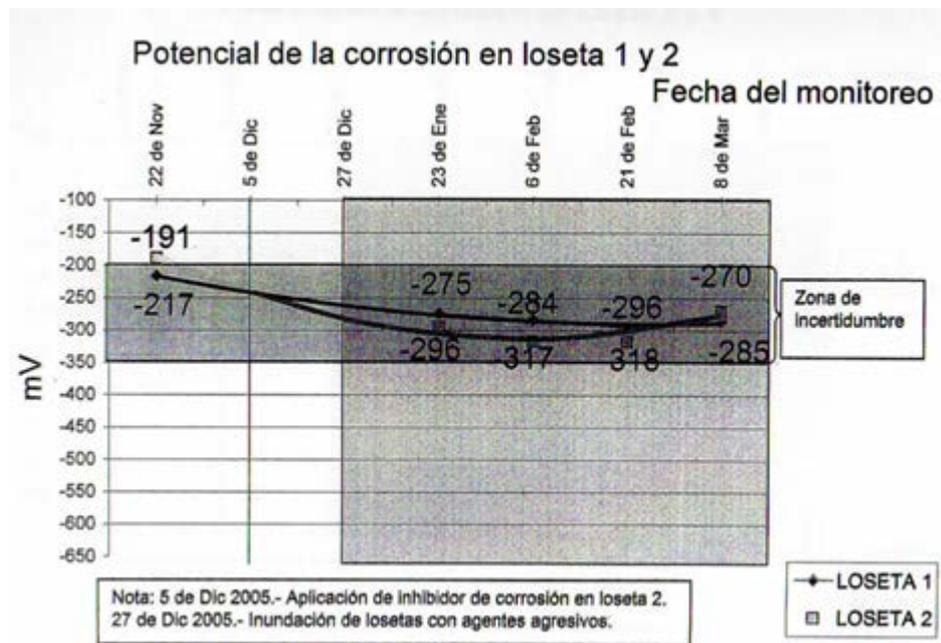


Figura 13: Gráfica del estado de las losetas 1 y 2

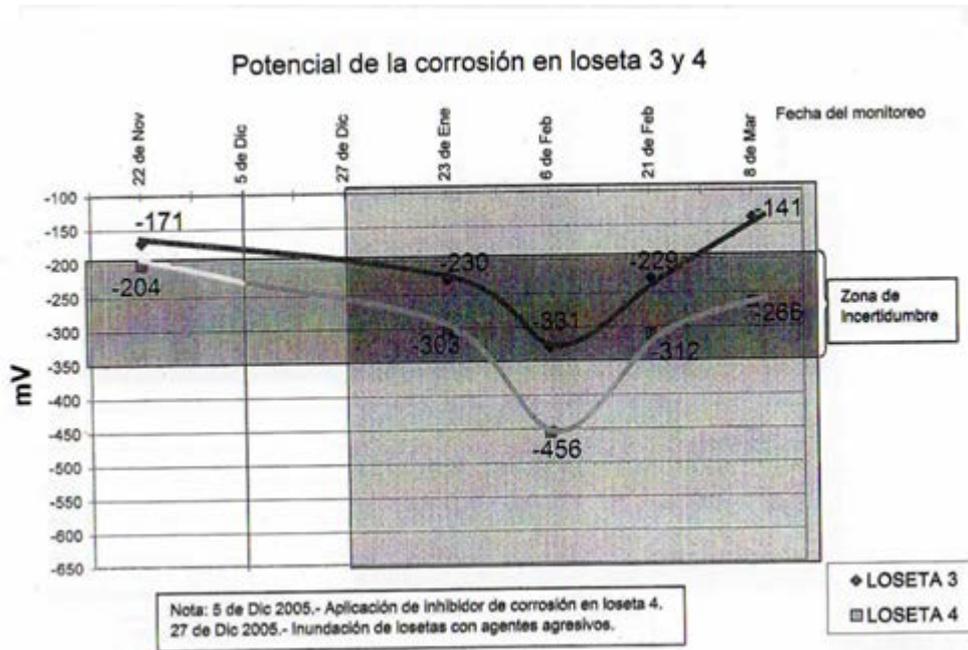


Figura 14: Gráfica del estado de las losetas 3 y 4

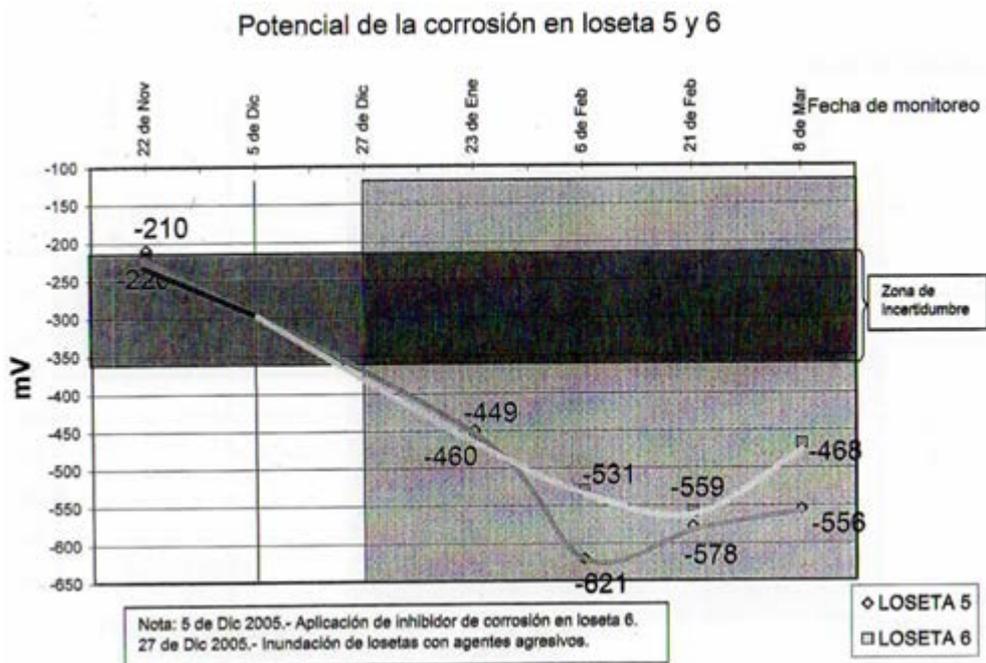


Figura 15: Gráfica del estado de las losetas 5 y 6

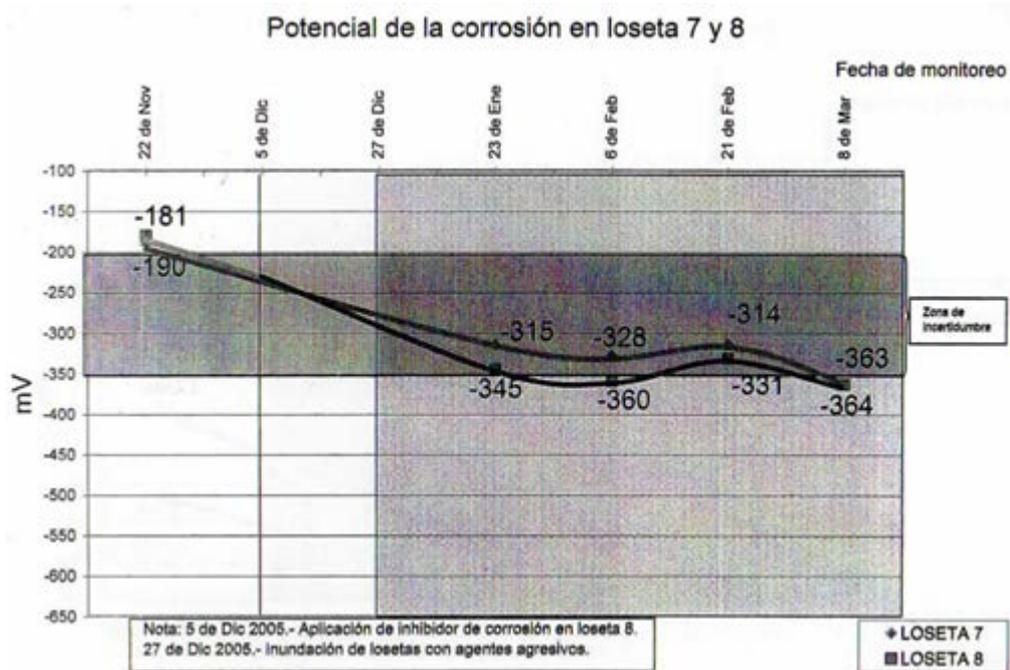


Figura 16: Gráfica del estado de las losetas 7 y 8

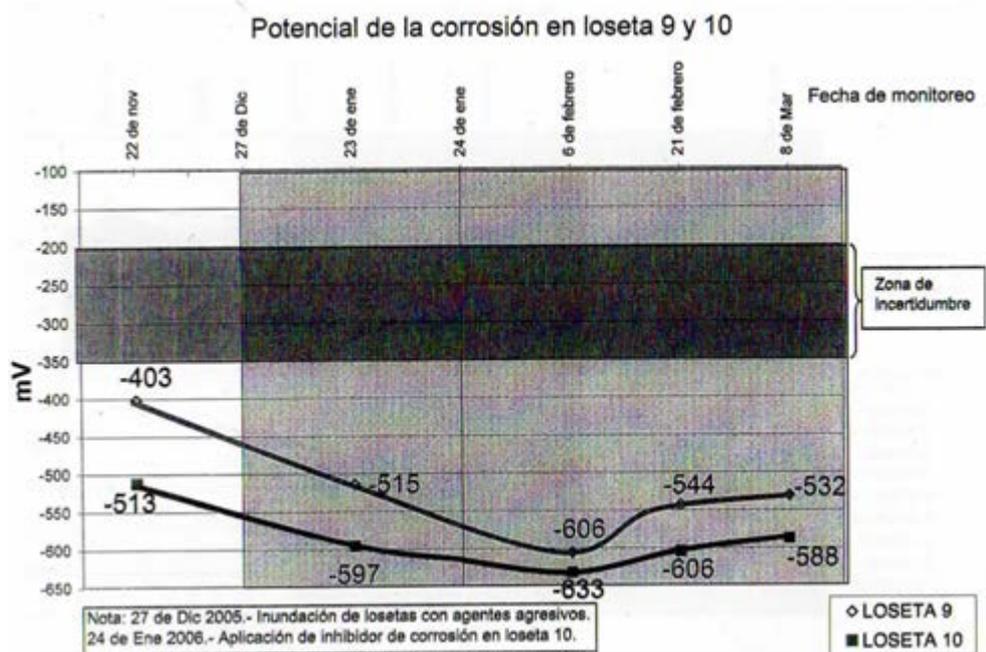


Figura 17: Gráfica del estado de las losetas 9 y 10

3.1.5 Saturación de losetas antiguas

Para el inicio de la parte práctica de este trabajo, se dibujaron nuevamente sobre las antiguas losetas, con ayuda de un detector de armaduras, el esquema de la armadura que consta dentro de cada loseta.



Figura 18: Detector de armadura



Figura 19: Realizando dibujo en la superficie de las losetas con ayuda del detector de armaduras para conocer la ubicación de la misma

Se formaron una especie de “piscinas” sobre las losetas para poder saturar el hormigón para posteriormente realizar las mediciones. Para ello, se utilizaron perfiles metálicos cortados y soldados, que quedarían con dimensiones de 80 cm x 80 cm, que serían adheridos a las losetas con ayuda de silicona. Los marcos fueron instalados el 13 de Diciembre del 2017, pero recién el 15 de Diciembre se les colocó agua.



Figura 20: Marcos listos para ser adheridos a las losetas



Figura 21: Losetas saturadas con agua

Semanalmente se realizaba un control en las losetas para evitar que se queden sin agua. Se las mantuvo de esta forma por más de un mes. El 19 de Enero del 2018 fueron removidos los marcos de las losetas.



Figura 22: Marcos removidos de losetas



Figura 23: Estado de losetas al momento de retirar los marcos que mantenían agua sobre ellas

En algunas losetas, por efecto del agua y del sol, los dibujos realizados previamente del esquema y la ubicación de las armaduras en cada una de ellas se vieron afectados y en algunos casos fue necesario el uso del detector de armaduras, pero para conocer de manera exacta, únicamente los puntos de conexión en los que se harían las mediciones.

3.1.6 Monitoreo realizado para el presente trabajo de titulación

La primera medición de potencial de corrosión se realizó el 26 de Enero del 2018 mediante el método de potencial de medida de celda, y cuyos valores exactos se encuentran en los ANEXOS del presente trabajo de titulación.



Figura 24: Medición del potencial de corrosión



Figura 25: Valores medidos en V

A continuación, se presentan valores promedios obtenidos en esta primera medición en cada una de las losetas.

Primera Medición	
26 de Enero del 2018	
Número de Loseta	Valor Promedio medido en V
1	-0,469
2	-0,616
3	-0,662
4	-0,642
5	-0,628
6	-0,526
7	-0,546
8	-0,579
9	-0,475
10	-0,499

Tabla 11: Valores obtenidos de la primera medición del presente trabajo de medición

3.1.7 Aplicación de ánodos galvánicos en las losetas antiguas

Para la aplicación de los ánodos galvánicos o ánodos de sacrificio, fue necesario realizar previamente perforaciones donde se ubicaron los ánodos. Para esta parte, se solicitaron los servicios de un experto en este campo, quien con ayuda de un taladro especial y una broca diamantada realizó las perforaciones con las especificaciones brindadas. Se realizaron perforaciones de 5 cm de diámetro y 8 cm de profundidad el 01 de Febrero del 2018.



Figura 26: Taladro especial utilizado para realizar perforaciones en las losetas



Figura 27: Broca diamantada para realizar perforaciones



Figura 28: Trabajador experto realizando perforaciones



Figura 29: Perforaciones en losetas



Figura 30: Núcleos extraídos de las losetas

Cabe recordar que las dimensiones de los ánodos utilizados son de 4,6 cm de diámetro y 6,2 cm de alto.



Figura 31: Ánodo galvánico utilizado

Se le instaló un ánodo de sacrificio a cada loseta. Esta instalación fue realizada el 02 de Febrero del 2018, cumpliendo con las especificaciones técnicas solicitadas para su correcta aplicación.

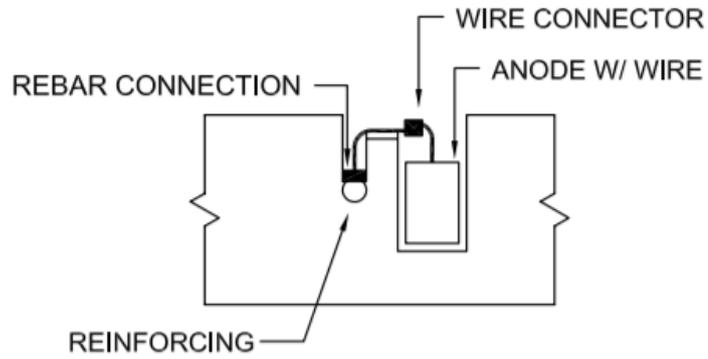


Ilustración 4: Especificaciones para la instalación de ánodos de sacrificio

Para su instalación fue necesario descubrir el hierro donde se va a conectar el ánodo de sacrificio, para esto se utilizó un taladro, y se tuvo que realizar una especie de canal de 3 cm de ancho y 3 cm de profundidad, con ayuda de una amoladora, por donde pasa el cable que se conecta desde el ánodo hacia el acero de refuerzo. Antes de su aplicación, es recomendable sumergir los ánodos en agua limpia por un lapso de entre 10 y 20 minutos.



Figura 32: Amoladora utilizada en la instalación de los ánodos



Figura 33: Equipos y herramientas utilizados para la instalación de los ánodos. Ánodos sumergidos en agua



Figura 34: Orificios para insertar el ánodo, pasar el cable y conectarlo al acero de refuerzo

Al momento de instalarlo, se debe colocar un poco de mortero (arena, cemento y agua) en el fondo del orificio donde se va a insertar el ánodo para que quede fijado por la parte de abajo y para que, al momento de ingresar el ánodo, se le aplique una mínima fuerza encima y así lograr que el mortero, cubra todo el contorno del ánodo.



Figura 35: Conexión al acero de refuerzo mediante un cable de Cobre que irá conectado en el otro extremo al ánodo



Figura 36: Mortero

Para asegurar que exista un flujo eléctrico entre el cable de Cobre y el acero de refuerzo, se requirió el uso de un multímetro. Una vez que se comprobaba esta conexión, con ayuda del multímetro, se procedía a comprobar el flujo eléctrico desde el alambre del ánodo hacia el acero de refuerzo.



Figura 37: Comprobando flujo eléctrico entre cable y acero de refuerzo con ayuda de un multímetro



Figura 38: Conectando el cable desde el ánodo hacia el acero de refuerzo



Figura 39: Cable de Cobre unido al ánodo mediante un conector

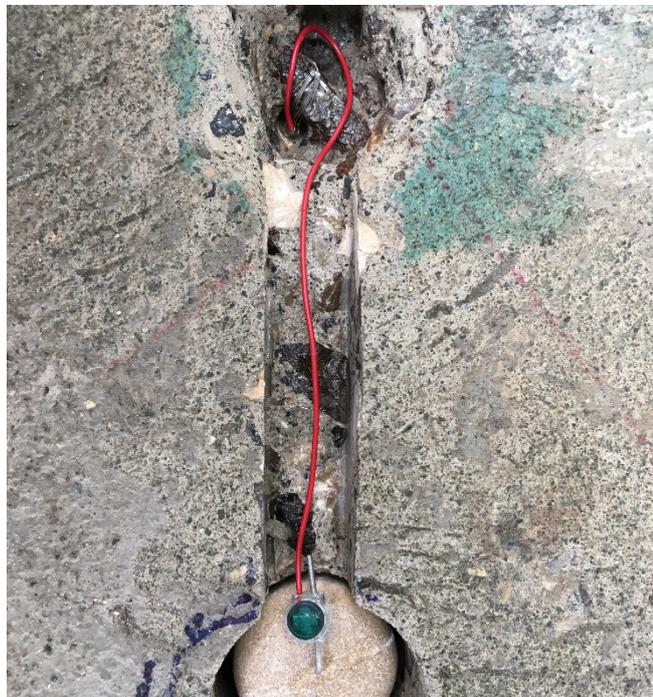


Figura 40: Conexión entre el ánodo y el acero de refuerzo

Una vez realizado la conexión se procede a rellenar con mortero todos los orificios para dejar al mismo nivel del resto de la loseta. Cabe recalcar que la distancia mínima recomendable entre el ánodo y la superficie de donde se está aplicando es de 15 mm a 20 mm.



Figura 41: Orificios rellenos con mortero y terminados al mismo nivel que el resto de la superficie de las losetas

Luego de la aplicación del primer ánodo en cada loseta, la segunda medición se realizó el 09 de Febrero del 2018, cuyos valores exactos se encuentran en los ANEXOS, pero a continuación se presentan valores promedios.

Segunda Medición	
09 de Febrero del 2018	
Número de Loseta	Valor Promedio medido en mV
1	-0,373
2	-0,480
3	-0,559
4	-0,548
5	-0,617
6	-0,423

Segunda Medición	
09 de Febrero del 2018	
Número de Loleta	Valor Promedio medido en mV
7	-0,506
8	-0,502
9	-0,298
10	-0,436

Tabla 12: Valores obtenidos de la segunda medición para el presente trabajo de titulación

Para la tercera medición del potencial de corrosión se esperó una semana después de haber realizado la segunda medición para poder observar los cambios que presentan semanalmente, cuyos valores exactos se encuentran en los ANEXOS, pero a continuación se presentan valores promedios.

Tercera Medición	
16 de Febrero del 2018	
Número de Loleta	Valor Promedio medido en mV
1	-0,437
2	-0,649
3	-0,463
4	-0,541
5	-0,536
6	-0,408
7	-0,435
8	-0,608
9	-0,417

Tercera Medición	
16 de Febrero del 2018	
Número de Loseta	Valor Promedio medido en mV
10	-0,378

Tabla 13: Valores obtenidos de la tercera medición para el presente trabajo de titulación

Luego de la tercera medición, procedió a colocar un segundo ánodo en cada una de las losetas. Para esto, se tuvo que repetir todo el proceso que se había realizado en la instalación del primer ánodo. Esta instalación del segundo ánodo se realizó el 17 de Febrero del 2018.



Figura 42: Perforación por segunda vez en cada una de las losetas



Figura 43: Orificio para el segundo ánodo. En el otro extremo se puede observar la marca de la instalación del primer ánodo

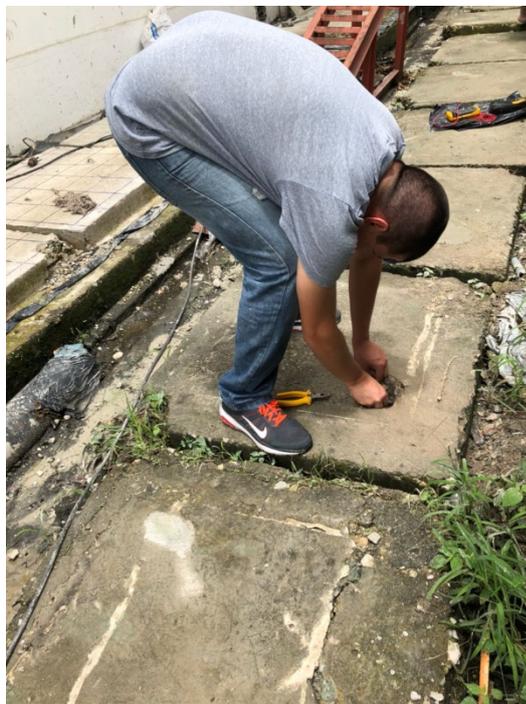


Figura 44: Instalación del segundo ánodo

Después de haberse aplicado el segundo ánodo en cada una de las losetas y haber rellenado todos los orificios con morteros de la misma manera que se hizo en la instalación del primer ánodo, se procedió a realizar, el 22 de

Febrero del 2018, las mediciones del potencial de corrosión en cada una de las losetas. Los valores exactos se encuentran en los ANEXOS, pero a continuación se presentan valores promedios de dicha medición.

Cuarta Medición	
22 de Febrero del 2018	
Número de Loseta	Valor Promedio medido en mV
1	-0,671
2	-0,602
3	-0,560
4	-0,620
5	-0,641
6	-0,428
7	-0,446
8	-0,562
9	-0,477
10	-0,432

Tabla 14: Valores obtenidos de la cuarta medición realizada para el presente trabajo de titulación

3.2 Losetas de Hormigón Armado Fabricadas en el Año 2018

Se fabricaron losetas de hormigón armado similares a las losetas fundidas en el 2005 que fueron usadas para la aplicación de ánodos galvánicos. La diferencia es que se utilizó en vez del aditivo, un inhibidor de corrosión migratorio (MCI) para poder verificar los beneficios y las diferencias que presenta con respecto al uso del aditivo aplicado en las antiguas losetas. Las dimensiones fueron las mismas, manteniéndose en 1 metro de ancho, 1 metro de largo y 0,1 metro de espesor. La armadura se decidió hacerla de 92 cm de largo y ancho, pero con espaciamientos de aproximadamente 18

cm para poder tener una armadura de 6x6, y no como la de 5x5 que consta en las losetas que fueron fundidas en el 2005. Este cambio se decidió con el fin de tener más puntos de conexión en donde se puedan realizar las mediciones de potencial de corrosión y así tener una mayor cantidad de valores que nos dé un mejor entendimiento del estado del acero que se encuentra dentro de las losetas. La fundición de las nuevas losetas se realizó el 15 de Enero del 2018.

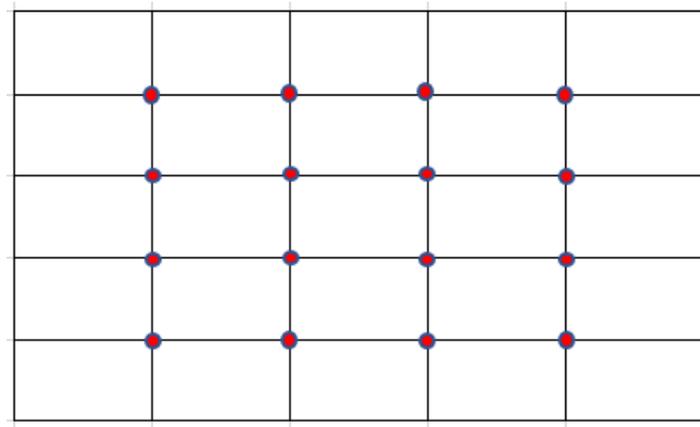


Ilustración 5: Esquema de la armadura que se encuentra dentro de las losetas nuevas



Figura 45: Armadura utilizada en nuevas losetas

Para el encofrado de las nuevas losetas se utilizaron unos perfiles metálicos y para la separación de cada loseta se utilizaron pedazos de tabla de madera. Debajo de las losetas se colocó un forro plástico para evitar que se adhiriera al piso. En cada loseta se colocaron pequeños cubos de mortero de

4 cm de espesor para poder colocar la armadura sobre ellos y darle el recubrimiento necesario por cada lado.



Figura 46: Encofrado para las nuevas losetas

Para el hormigón que se aplicó en las nuevas losetas, se utilizó una combinación de agregados medidos en parihuelas de 40 cm x 40 cm x 20 cm.



Figura 47: Parihuela de 40 cm x 40 cm x 20 cm

Se mezclaban 3 parihuelas de arena (144 kg), 3 parihuelas de piedra $\frac{3}{4}$ (54.4 kg), un saco de cemento (50 kg) y 30 litros de agua dentro de una concretera que fue alquilada para la fundición. Esta combinación se utilizó para poder lograr un hormigón de baja resistencia y así poder verificar la protección proporcionada por el inhibidor de corrosión migratorio. Recordemos que la resistencia del hormigón es un factor que influye en la corrosión, mientras mayor sea la resistencia, más difícil resulta que una estructura se vea afectada por el fenómeno de la corrosión.



Figura 48: Fabricación del hormigón



Figura 49: Fundición de nuevas losetas

En las losetas 2, 4, 6, 8 y 10 se aplicó el inhibidor de corrosión migratorio mezclándolo con el agua que iba dentro de la mezcla del hormigón. Esto con el fin de replicar las losetas antiguas.



Figura 50: Inhibidor de corrosión migratorio mezclado en agua

En las losetas 9 y 10, se agregó 750 gramos y 2250 gramos de sal respectivamente, para simular un ambiente salino, tal y como se hizo en las losetas antiguas.



Figura 51: Sal agregada en hormigón para losetas 9 y 10

Se formaron cilindros para poder realizar ensayos de compresión simple y conocer de manera exacta la resistencia del hormigón. Estos resultados se encuentran en los ANEXOS del presente trabajo de titulación.



Figura 52: Cilindros de hormigón

Una vez fundidas las nuevas losetas, se procedió a dibujar sobre ellas, con ayuda de un detector de metales, el esquema y la ubicación de la armadura en cada loseta.



Figura 53: Dibujo de la ubicación de la armadura de cada loseta

La primera medición de potencial de corrosión realizadas en las nuevas losetas se realizó el 08 de Febrero del 2018. Los valores exactos se encuentran en los ANEXOS del presente trabajo de titulación. A continuación, se presentan los valores promedios obtenidos de esta primera medición.

Primera Medición	
08 de Febrero del 2018	
Número de Loseta	Valor Promedio medido en V
1	-0,245
2	-0,256
3	-0,24
4	-0,258
5	-0,246
6	-0,258

Primera Medición	
08 de Febrero del 2018	
Número de Loseta	Valor Promedio medido en V
7	-0,28
8	-0,258
9	-0,522
10	-0,575

Tabla 15: Valores obtenidos de la primera medición realizadas en losetas nuevas

La segunda medición realizada a las nuevas losetas se realizó el 20 de Febrero del 2018. Los valores exactos se encuentran en los ANEXOS, pero a continuación se presentan los valores promedios obtenidos.

Segunda Medición	
20 de Febrero del 2018	
Número de Loseta	Valor Promedio medido en mV
1	-0,220
2	-0,251
3	-0,283
4	-0,261
5	-0,286
6	-0,236
7	-0,341
8	-0,240
9	-0,575
10	-0,578

Tabla 16: Valores obtenidos de la segunda medición realizada a las nuevas losetas

CAPÍTULO 4

4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los valores obtenidos de las mediciones de potencial de corrosión en las distintas losetas con las que se ha trabajado muestran diferentes comportamientos y cambios antes los inhibidores, ánodos y ambientes agresivos colocados respectivamente.

4.1 Losetas Antiguas

Número de Loseta	Valores promedio de potencial de corrosión medidos en V				
	22-nov-05	23-ene-06	6-feb-06	21-feb-06	8-mar-06
1	-217	-275	-284	-296	-285
2	-191	-296	-317	-318	-270
3	-171	-230	-331	-229	-141
4	-204	-303	-456	-312	-266
5	-210	-449	-621	-578	-556
6	-220	-460	-531	-559	-468
7	-190	-315	-328	-314	-363
8	-181	-345	-360	-331	-364
9	-403	-515	-606	-544	-532
10	-513	-597	-633	-606	-588

Tabla 17: Mediciones en losetas antiguas realizadas al poco tiempo de haber sido fabricadas

Como se puede observar en la tabla, los potenciales de corrosión van variando con el tiempo de acuerdo con el ambiente agresivo al que fueron sujetos. Como podemos observar en las losetas 1 y 2, donde se aplicó solo agua, el potencial de corrosión tiende a aumentar de una manera lenta, pero dentro del rango de la zona de incertidumbre (transición pasivo-activo).

En las losetas 3 y 4, donde se aplicó agua con Cal, el potencial de corrosión al principio tiene un comportamiento similar al de las losetas 1 y 2, pero luego, gracias a la Cal que funciona como un impermeabilizante, ayuda a

que el potencial disminuya y entre en una zona que mantenga valores estables y fuera del peligro de la corrosión.

Las losetas 5 y 6, donde se aplicó agua con sal, llegan a tener uno de los valores de potencial de corrosión más altos que se midió dentro de la zona activa. Esto debido al efecto corrosivo que causa la salinidad.

Cuando nos referimos a la corrosión, los ácidos pueden clasificarse como fuertes, oxidantes y débiles. El ácido clorhídrico se lo considera como un ácido fuerte, y es este mismo ácido, el que fue aplicado en las losetas 7 y 8. Las mediciones iniciales en estas losetas entregaron valores dentro de la zona de incertidumbre, pero se observó que el ácido iba atacando al hormigón produciendo un ataque a la piedra. Luego, con el tiempo se fue observando un incremento en el potencial de corrosión hasta entrar a la zona activa.

En las losetas 9 y 10, en las que se incluyó sal en la mezcla del hormigón, se observaron valores de potencial de corrosión que se encuentran en la zona activa. Esto debido al ataque directo de la sal que se encuentra dentro del hormigón y que rodea el acero de refuerzo permanentemente.

4.2 Ánodos Galvánicos Aplicados a Losetas Antiguas

Número de Loseta	Valores promedio de potencial de corrosión medidos en V			
	26-ene-18	9-feb-18	16-feb-18	22-feb-18
1	-0,469	-0,373	-0,437	-0,671
2	-0,616	-0,480	-0,649	-0,602
3	-0,662	-0,559	-0,463	-0,560
4	-0,642	-0,548	-0,541	-0,620
5	-0,628	-0,617	-0,536	-0,641
6	-0,526	-0,423	-0,408	-0,428
7	-0,546	-0,506	-0,435	-0,446
8	-0,579	-0,502	-0,608	-0,562
9	-0,475	-0,298	-0,417	-0,477
10	-0,499	-0,436	-0,378	-0,432

Tabla 18: Mediciones en losetas antiguas realizadas después de más de 12 años de haber sido fabricadas. Dichas mediciones se realizaron para el presente trabajo de titulación

En las mediciones realizadas en las antiguas losetas para el presente trabajo de titulación se distintos comportamiento y cambios dentro de cada una de ellas. A estas losetas se les aplicó los ánodos galvánicos para combatir la corrosión. En todas las losetas, en la primera medición se observa que presentan un potencial de corrosión dentro del rango activo. Esto se debe a que por el transcurso del tiempo han sufrido de distintos ambientes agresivos, como, por ejemplo, la lluvia, la humedad. Cuando se le aplicó el primer ánodo galvánico, se pudo observar que el potencial de corrosión disminuyó, en algunas, hasta el límite entre la zona de incertidumbre y la zona activa, y en la loseta 9 se observó un cambio tan notorio que pasó de la zona de incertidumbre hasta la zona de incertidumbre. Para la segunda medición luego de haberse aplicado el ánodo galvánico, en algunas losetas se vio un aumento en el potencial de corrosión y en otras losetas, como en la 3, 4, 5, 6, 7 y 10, siguió disminuyendo el potencial de corrosión.

Cuando se aplicó el segundo ánodo galvánico, en las losetas 2 y 8 se observó que seguía disminuyendo el potencial de corrosión, mientras que en las demás aumentaba. Estas irregularidades pueden ser causadas factores externos, como, por ejemplo, las fuertes lluvias que se registraron por esas fechas, el calentamiento de la superficie por la luz solar, entre otros.

4.3 Inhibidor de Corrosión Migratorio (MCI) en Losetas Nuevas

Número de Loseta	Valores promedio de potencial de corrosión medidos en V	
	8-feb-18	20-feb-18
1	-0,245	-0,220
2	-0,256	-0,251
3	-0,24	-0,283
4	-0,258	-0,261
5	-0,246	-0,286
6	-0,258	-0,236
7	-0,28	-0,341
8	-0,258	-0,240
9	-0,522	-0,575
10	-0,575	-0,578

Tabla 19: Mediciones en las losetas nuevas

En las losetas nuevas se pueden observar que todas las losetas, excepto las 9 y 10, se encuentran dentro del rango pasivo y de incertidumbre.

En las losetas 1, 3, 5 y 7, que solo constan de hormigón sin inhibidor de corrosión, el potencial de corrosión aumenta de manera lenta desde la zona pasiva hacia la zona de incertidumbre. Este aumento se debe a las lluvias que se han registrado por estas fechas. En las losetas 2, 4, 6 y 8, que constan con inhibidor de corrosión, se observa que el potencial de corrosión tiende a disminuir, manteniéndose en la zona de incertidumbre e inclusive pasando a la zona pasiva.

Las losetas 9 y 10, por la sal incluida en la mezcla del hormigón, presentan valores de potencial de corrosión altos que las ubican en la zona activa. La loseta 10, que contiene inhibidor de corrosión, presenta un aumento de potencial de corrosión más lento que la loseta 9, y cabe recalcar que contiene aproximadamente el triple de cantidad de sal que la loseta 9. La diferencia con las losetas antiguas es que presentan un aumento más controlado del potencial de corrosión.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Hoy en día, el principal fenómeno que afecta a las estructuras de hormigón armado es la corrosión. Debido a distintos factores, hay diversas clases de corrosión. El medio ambiente juega un papel fundamental en las estructuras de hormigón armado, donde no puede faltar un mantenimiento adecuado.

En este trabajo de titulación, se hizo énfasis a la corrosión uniforme y a la galvánica, que hoy en día tienen distintos sistemas para su pasivación. En este trabajo de titulación se pudo observar las ventajas que tienen las técnicas electroquímicas, pues brindan información para poder conocer el estado de avance de la corrosión en el acero de refuerzo. Al saber esto, se puede analizar y decidir cuál sería el método más adecuado para la protección, mantenimiento o corrección de estructuras de hormigón armado.

Es recomendable llevar un control del estado de la estructura para evitar que luego el arreglo represente un gran gasto económico.

Luego de haber utilizado en este trabajo de titulación inhibidor de corrosión migratorio (MCI) y ánodos galvánicos, se puede observar que los 2 presentan una buena solución para combatir la corrosión.

En el caso de los ánodos galvánicos, presentan una solución económica y de fácil instalación. Y por medio de las mediciones se pudo comprobar que la corrosión se disminuyó, tal vez no en gran proporción, pero fue un aporte para la pasivación de la corrosión.

En el caso del inhibidor de corrosión migratorio (MCI), se observó, tal vez en un lapso corto de tiempo, como controlaba los potenciales de corrosión, manteniéndolos en un rango controlado. Inclusive en las losetas que contenían sal en el hormigón, aportaron a que el aumento no sea tan excesivo y que, si aumenta, lo haga de manera lenta.

Es recomendable seguir realizando pruebas, tanto en las antiguas losetas, como en las nuevas, para saber cómo se va comportando el acero de refuerzo con el paso del tiempo. Con esto, se podría calcular diversas propiedades como la velocidad de corrosión, que se explica al inicio de este trabajo de titulación.

REFERENCIAS

- Borja, I. (2006). *Obtención del Potencial de Corrosión de Losas de Hormigón Armado Bajo Diversos Ambientes Agresivos.*
- Mikšsic, B. (2014). *Improving Durability of Infrastructure with Migratory Corrosion Inhibitors (MCI®) Handbook.*
- Ortiz, I. C. (2008). *Seguimiento del Potencial de Corrosión e Inclusión de Mediciones de Resistividad en Losas de Homrigón Armado bajo Diversos Ambientes Agresivos.*
- Salcedo, I. I. (s.f.). *Estado del Arte del Desarrollo de los Inhibidores de Corrosión para el uso en Hormigón Armado.*

ANEXOS

Anexo 1 – Losetas de Hormigón Armado Fabricadas en el 2005

Para el presente trabajo de titulación se utilizó de referencia el trabajo de titulación “*Obtención del potencial de corrosión de losas de hormigón armado bajo diversos ambientes corrosivos*” realizado por el Ing. Gonzalo Borja Benítez y el Ing. César Pozo Delgado, y se hizo uso de las losetas fabricadas para el mismo.

En total fueron 10 losetas las que se utilizaron y se aprovechó los cambios sufridos en ellas a causa del tiempo y de los climas que han actuado sobre ellas. Gracias a las mediciones tabuladas del potencial de corrosión que constan en el antiguo trabajo de titulación se pudo realizar comparaciones que demuestran el cambio y el avance de la actividad corrosiva que se ha producido en cada una de ellas. Debido a los altos valores de potencial de corrosión que se encontraron en las losetas, se pudieron aplicar los ánodos galvánicos para demostrar los beneficios que estos presentan para la pasivación de la corrosión.

A continuación, se presentan las mediciones de potencial de corrosión realizadas por los ingenieros previamente mencionados en las losetas antiguas.

Primera medición sin agentes corrosivos
Fecha: 22 de Noviembre de 2005

Valores promedio medidos en la Loseta 1

	-194.5	-196.5	-208
	-203	-211.5	-229
	-220.5	-231.5	-262.5

Promedio total de la loseta -217 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 2

	-179.5	-179	-182.5
	-182	-187	-191.5
	-191.5	-201	-221

Promedio total de la loseta -191 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 3

	-159.5	-163	-172.5
	-161.5	-170.5	-177.5
	-161.5	-174.5	-197.5

Promedio total de la loseta -171 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 4

	-192.5	-195.5	-198.5
	-160.5	-202	-209.5
	-218.5	-218	-238

Promedio total de la loseta -204 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 5

	-194.5	-196	-200.5
	-199.5	-206.5	-216
	-210	-220.5	-250

Promedio total de la loseta -210 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 6

	-208.5	-212	-219.5
	-210.5	-213.5	-224.5
	-208.5	-221.5	-259.5

Promedio total de la loseta -220 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 7

	-171	-177.5	-183
	-174.5	-188.5	-202.5
	-186.5	-202	-226.5

Promedio total de la loseta -190 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 8

	-175	-169.5	-171
	-171.5	-176	-184.5
	-185.5	-188	-204

Promedio total de la loseta -181 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 9

	-421	-445.5	-453
	-390.5	-379.5	-428.5
	-339	-372.5	-394.5

Promedio total de la loseta -403 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 10

	-501.5	-527	-544.5
	-499.5	-526	-535
	-489	-503.5	-492

Promedio total de la loseta -513 mV

Segunda medición con agentes corrosivos
Fecha: 23 de Enero de 2006

Valores promedio medidos en la Loseta 1

	-272	-270.5	-270.5
	-267.5	-273.5	-277.5
	-272.5	-278.5	-291.5

Promedio total de la loseta -275 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 2

	-295	-296	-297
	-291	-294.5	-300
	-287.5	-297.5	-305.5

Promedio total de la loseta -296 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 3

	-224	-243.5	-234
	-224	-254.5	-227
	-212	-218	-231

Promedio total de la loseta -230 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 4

	-294	-321	-288
	-281	-321.5	-299.5
	-299	-304	-316

Promedio total de la loseta -303 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 5

	-456	-464	-470.5
	-444.5	-454.5	-446
	-436	-436.5	-437

Promedio total de la loseta -449 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 6

	-449	-471	-475.5
	-462.5	-456	-452.5
	-448	-471.5	-456

Promedio total de la loseta -460 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 7

	-316	-312	-318.5
	-307.5	-314.5	-319
	-313	-316	-320

Promedio total de la loseta -315 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 8

	-349.5	-329.5	-334
	-337.5	-334.5	-360
	-366.5	-345.5	-347

Promedio total de la loseta -345 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 9

	-505	-534	-544
	-485	-506.5	-560.5
	-490	-481.5	-527.5

Promedio total de la loseta -515 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 10

	-569.5	-605.5	-622.5
	-589.5	-614.5	-623.5
	-582.5	-589.5	-576.5

Promedio total de la loseta -597 mV

Tercera medición con agentes corrosivos
Fecha: 6 de Febrero de 2006

Valores promedio medidos en la Loseta 1

	-294	-278	-278
	-276	-284	-285
	-281	-285	-295

Promedio total de la loseta -284 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 2

	-317	-321	-317
	-321	-313	-316
	-305	-319	-324

Promedio total de la loseta -317 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 3

	-323	-343	-343
	-301	-320	-307
	-321	-346	-372

Promedio total de la loseta -331 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 4

	-448	-463	-483
	-405	-438	-458
	-475	-447	-488

Promedio total de la loseta -456 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 5

	-610	-607	-602
	-615	-620	-608
	-628	-655	-645

Promedio total de la loseta -621 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 6

	-527	-564	-562
	-530	-525	-531
	-500	-527	-512

Promedio total de la loseta -531 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 7

	-331	-322	-328
	-322	-326	-331
	-328	-330	-334

Promedio total de la loseta -328 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 8

	-362	-352	-350
	-366	-359	-357
	-364	-363	-366

Promedio total de la loseta -360 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 9

	-604	-611	-627
	-592	-597	-621
	-597	-603	-606

Promedio total de la loseta -606 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 10

	-626	-635	-636
	-634	-639	-641
	-630	-633	-623

Promedio total de la loseta -633 mV

Cuarta medición con agentes corrosivos
Fecha: 21 de Febrero de 2006

Valores promedio medidos en la Loseta 1

	-297	-300	-295
	-293	-296	-299
	-297	-292	-298

Promedio total de la loseta -296 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 2

	-327	-328	-330
	-317	-314	-316
	-304	-309	-314

Promedio total de la loseta -318 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 3

	-199	-209	-230
	-206	-234	-240
	-226	-254	-265

Promedio total de la loseta -229 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 4

	-283	-296	-308
	-275	-332	-353
	-304	-332	-328

Promedio total de la loseta -312 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 5

	-587	-596	-597
	-584	-575	-574
	-569	-565	-555

Promedio total de la loseta -578 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 6

	-578	-601	-593
	-549	-552	-556
	-521	-537	-542

Promedio total de la loseta -559 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 7

	-326	-317	-305
	-315	-305	-314
	-308	-312	-322

Promedio total de la loseta -314 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 8

	-337	-314	-306
	-357	-333	-344
	-332	-328	-331

Promedio total de la loseta -331 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 9

	-527	-553	-583
	-502	-540	-574
	-516	-542	-558

Promedio total de la loseta -544 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 10

	-592	-613	-618
	-607	-617	-616
	-603	-603	-581

Promedio total de la loseta -606 mV

Quinta medición con agentes corrosivos
Fecha: 8 de Marzo de 2006

Valores promedio medidos en la Loseta 1

	-282	-286	-283
	-284	-284	-283
	-279	-288	-295

Promedio total de la loseta -285 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 2

	-267	-270	-274
	-269	-269	-274
	-264	-272	-274

Promedio total de la loseta -270 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 3

	-168	-130	-128
	-122	-136	-157
	-115	-146	-165

Promedio total de la loseta -141 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 4

	-214	-257	-286
	-231	-273	-305
	-255	-279	-294

Promedio total de la loseta -266 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 5

	-537	-551	-568
	-547	-562	-561
	-553	-557	-565

Promedio total de la loseta -556 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 6

	-485	-517	-473
	-444	-444	-456
	-435	-466	-495

Promedio total de la loseta -468 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 7

	-360	-389	-367
	-352	-365	-369
	-335	-352	-374

Promedio total de la loseta -363 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 8

	-363	-352	-352
	-365	-365	-367
	-366	-361	-382

Promedio total de la loseta -364 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 9

	-516	-539	-557
	-505	-534	-567
	-501	-522	-544

Promedio total de la loseta -532 mV

Valores promedio medidos en la Loseta 10

	-569	-598	-611
	-580	-609	-616
	-566	-580	-566

Promedio total de la loseta -588 mV

**Anexo 2 – Mediciones Actuales de Potencial de Corrosión en Loetas
Antiguas de Hormigón Armado**

Primera Medición

Fecha: 26 de Enero del 2018

LOSETA 1			LOSETA 2		
-0,496	-0,430	-0,459	-0,610	-0,610	-0,624
-0,440	-0,490	-0,480	-0,634	-0,645	-0,570
-0,480	-0,500	-0,449	-0,609	-0,632	-0,610
Promedio	-0,469		Promedio	-0,616	

LOSETA 3			LOSETA 4		
-0,656	-0,665	-0,678	-0,629	-0,646	-0,662
-0,637	-0,680	-0,610	-0,650	-0,657	-0,684
-0,670	-0,676	-0,686	-0,660	-0,604	-0,585
Promedio	-0,662		Promedio	-0,642	

LOSETA 5			LOSETA 6		
-0,618	-0,629	-0,629	-0,559	-0,545	-0,548
-0,624	-0,618	-0,620	-0,549	-0,540	-0,522
-0,624	-0,650	-0,643	-0,516	-0,483	-0,470
Promedio	-0,628		Promedio	-0,526	

LOSETA 7			LOSETA 8		
-0,543	-0,545	-0,579	-0,600	-0,591	-0,608
-0,522	-0,521	-0,580	-0,588	-0,567	-0,575
-0,526	-0,536	-0,563	-0,582	-0,581	-0,515
Promedio	-0,546		Promedio	-0,579	

LOSETA 9			LOSETA 10		
-0,440	-0,450	-0,462	-0,508	-0,536	-0,590
-0,486	-0,488	-0,467	-0,498	-0,492	-0,502
-0,512	-0,502	-0,470	-0,514	-0,465	-0,382
Promedio -0,475			Promedio -0,499		

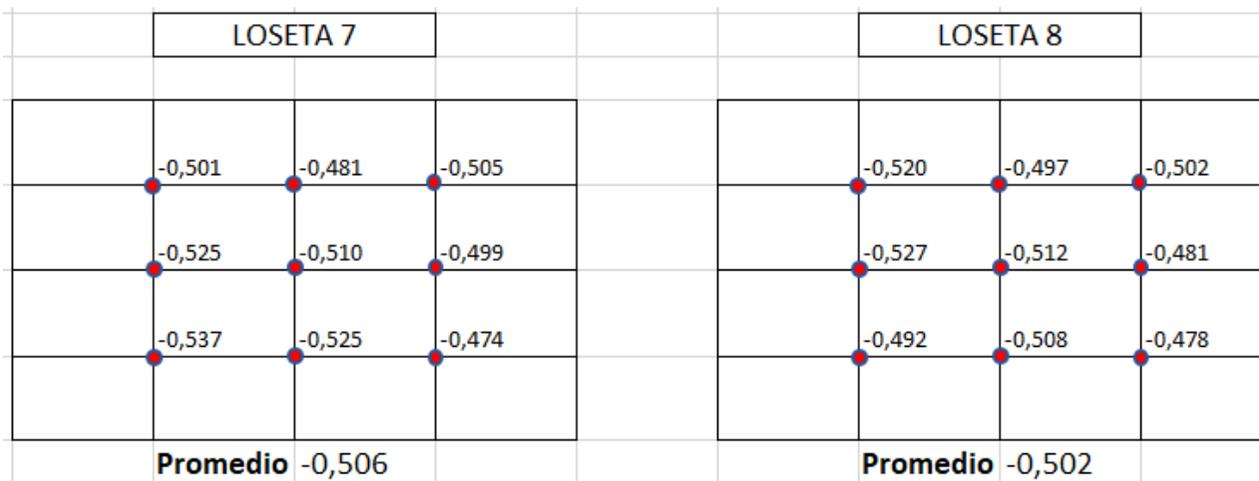
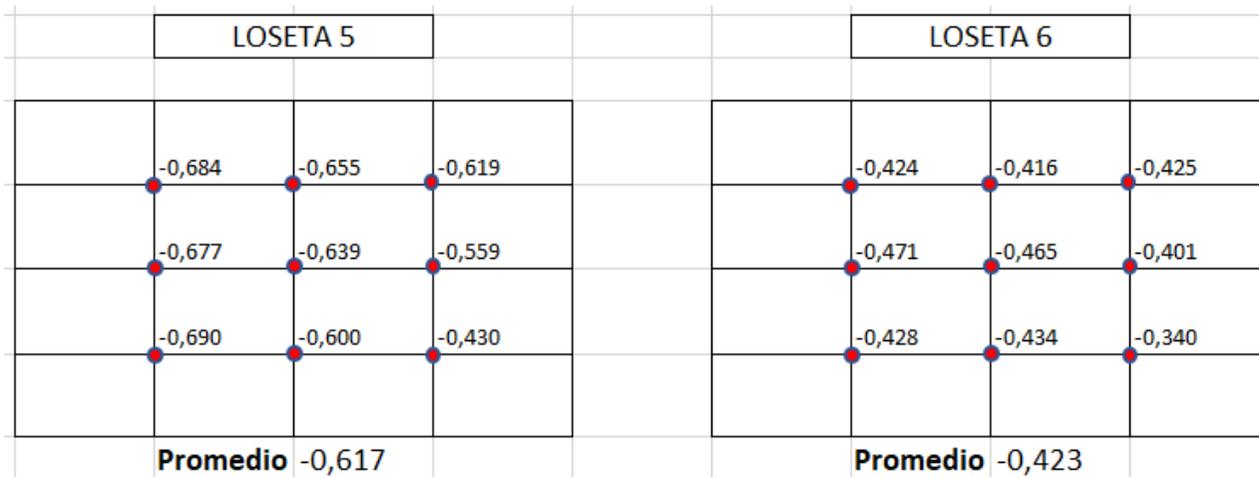
(Valores Medidos en V)

Segunda Medición

Fecha: 09 de Febrero del 2018

LOSETA 1			LOSETA 2		
-0,432	-0,336	-0,426	-0,401	-0,491	-0,442
-0,332	-0,460	-0,297	-0,525	-0,525	-0,437
-0,350	-0,492	-0,229	-0,514	-0,500	-0,481
Promedio -0,373			Promedio -0,480		

LOSETA 3			LOSETA 4		
-0,609	-0,483	-0,556	-0,550	-0,542	-0,527
-0,517	-0,601	-0,556	-0,630	-0,596	-0,527
-0,575	-0,586	-0,546	-0,460	-0,590	-0,512
Promedio -0,559			Promedio -0,548		



LOSETA 9			LOSETA 10		
-0,280	-0,279	-0,273	-0,430	-0,470	-0,496
-0,406	-0,391	-0,254	-0,507	-0,485	-0,433
-0,344	-0,288	-0,164	-0,430	-0,402	-0,275
Promedio	-0,298		Promedio	-0,436	

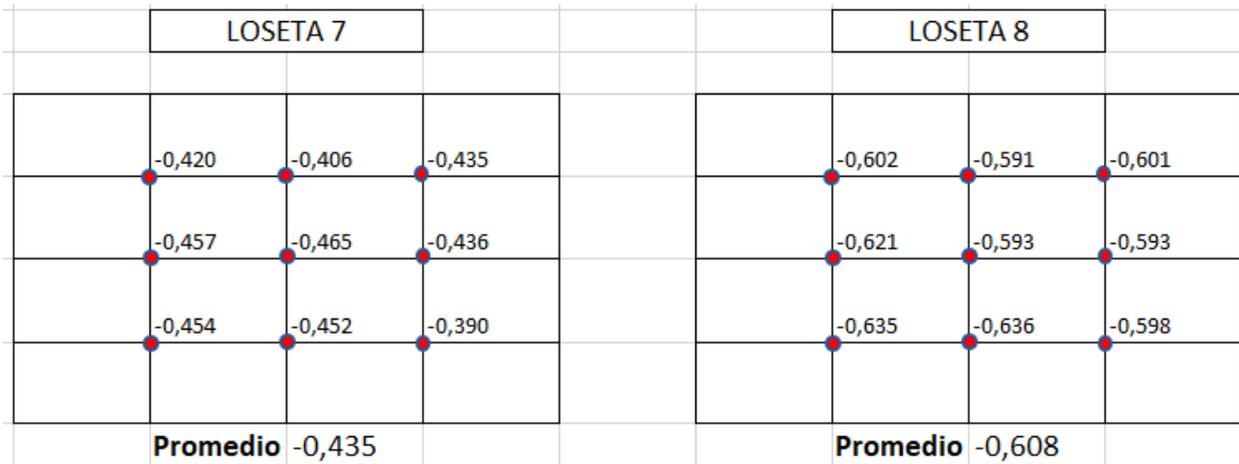
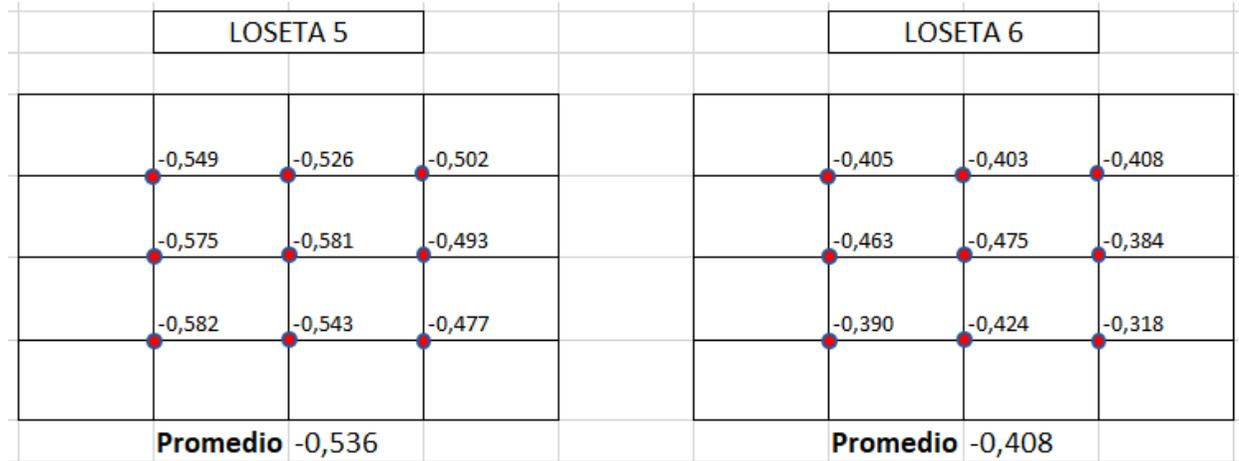
(Valores Medidos en V)

Tercera Medición

Fecha: 16 de Febrero del 2018

LOSETA 1			LOSETA 2		
-0,448	-0,345	-0,470	-0,542	-0,666	-0,581
-0,354	-0,566	-0,425	-0,676	-0,745	-0,600
-0,384	-0,567	-0,371	-0,684	-0,685	-0,660
Promedio -0,437			Promedio -0,649		

LOSETA 3			LOSETA 4		
-0,508	-0,336	-0,479	-0,526	-0,524	-0,504
-0,409	-0,525	-0,454	-0,620	-0,580	-0,513
-0,467	-0,512	-0,481	-0,552	-0,561	-0,492
Promedio -0,463			Promedio -0,541		

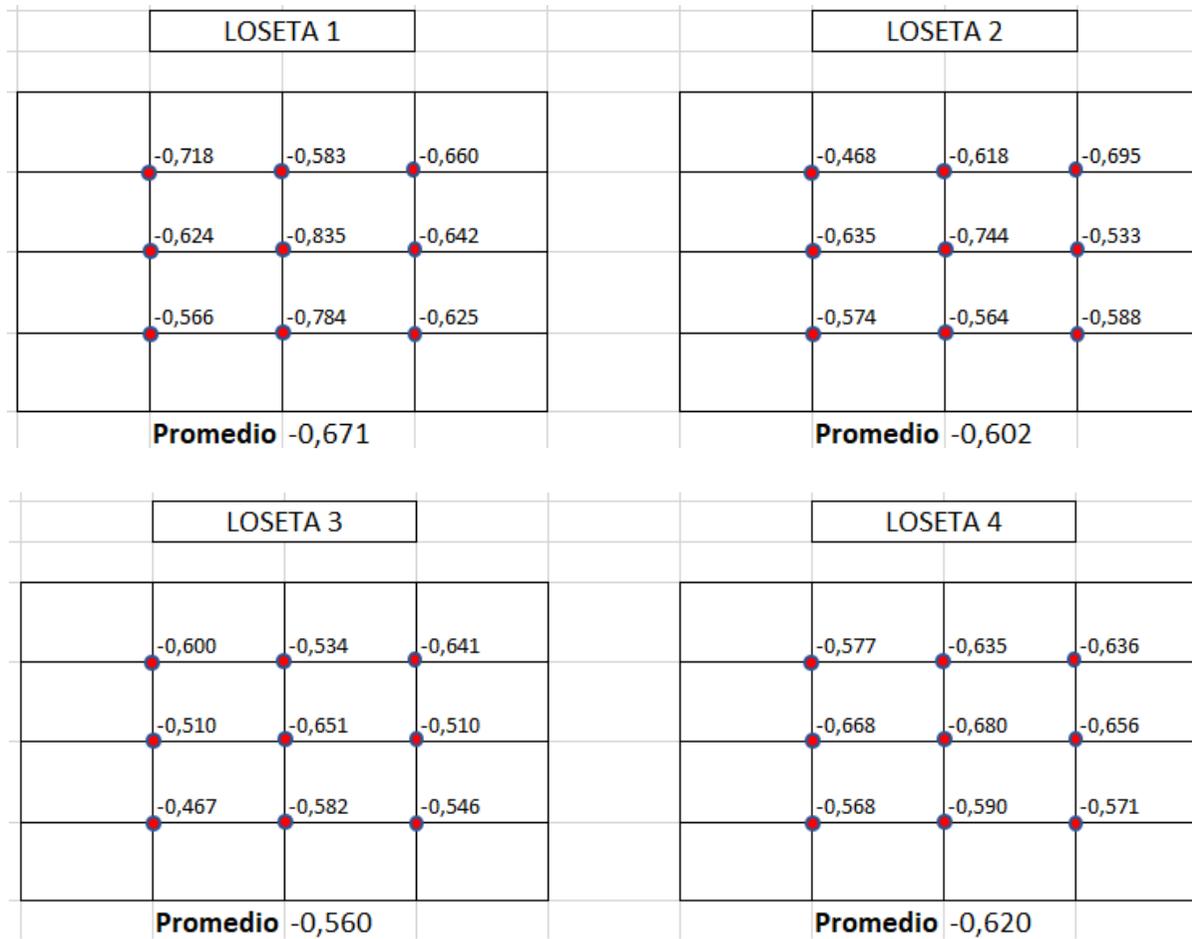


LOSETA 9			LOSETA 10		
-0,375	-0,377	-0,362	-0,373	-0,388	-0,448
-0,517	-0,508	-0,389	-0,460	-0,430	-0,376
-0,420	-0,465	-0,336	-0,393	-0,310	-0,220
Promedio	-0,417		Promedio	-0,378	

(Valores Medidos en V)

Cuarta Medición

Fecha: 22 de Febrero del 2018

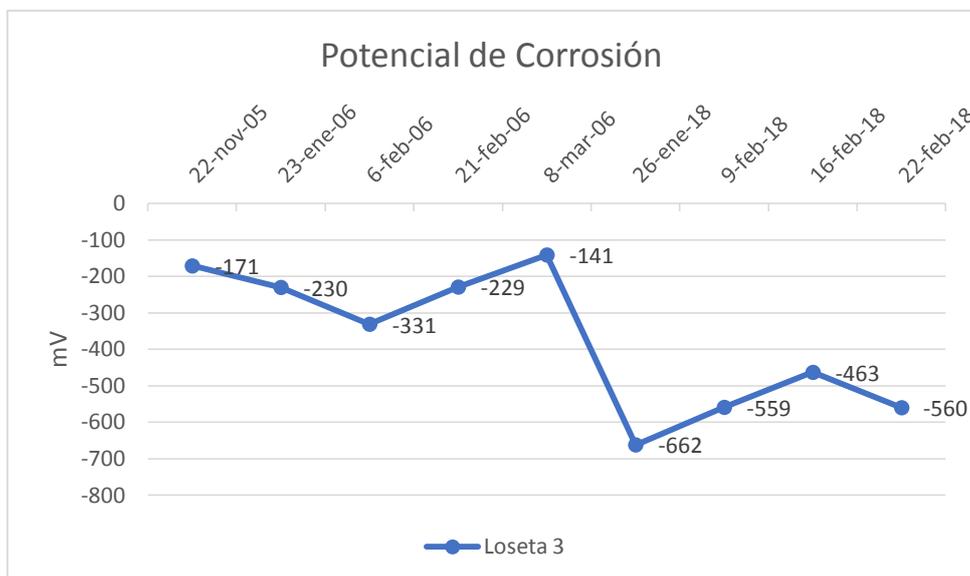
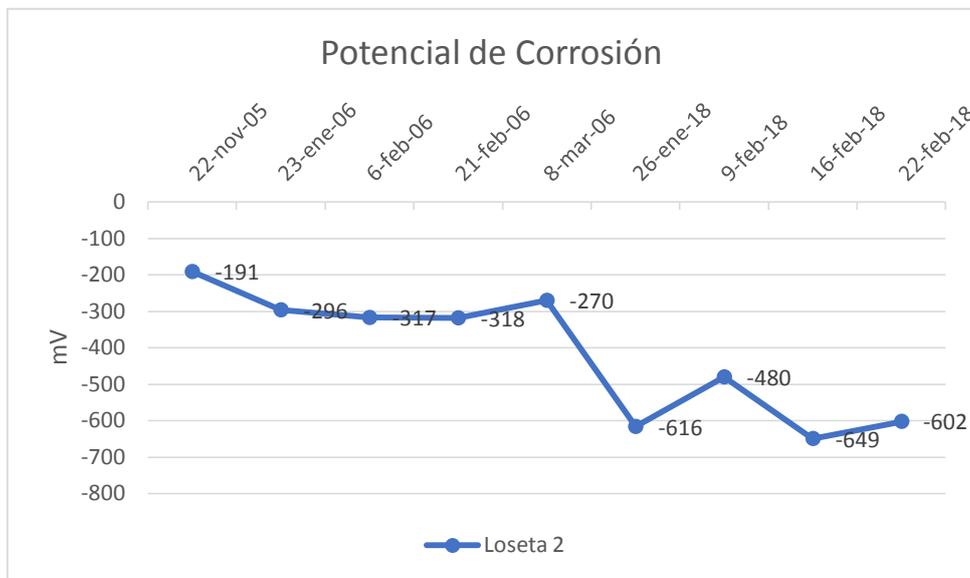
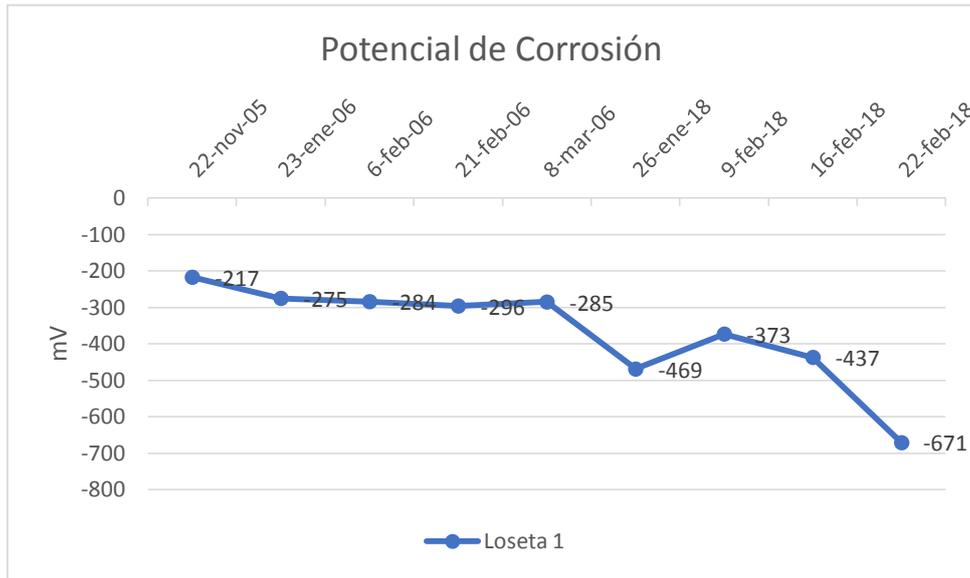


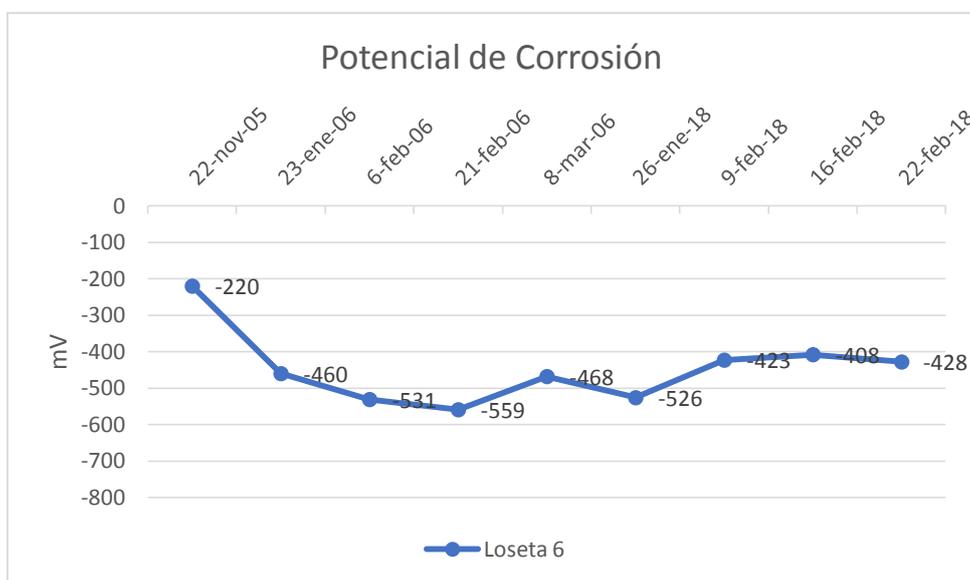
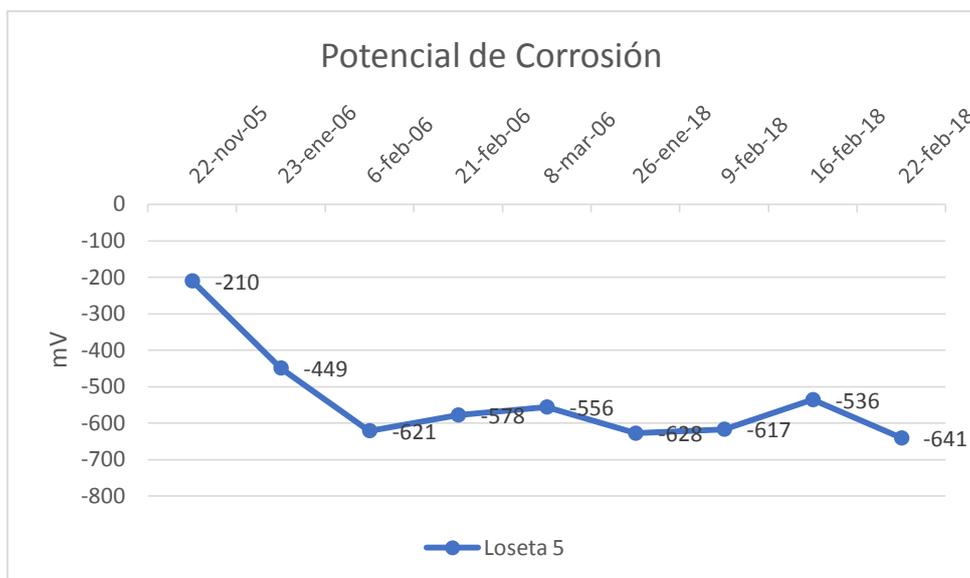
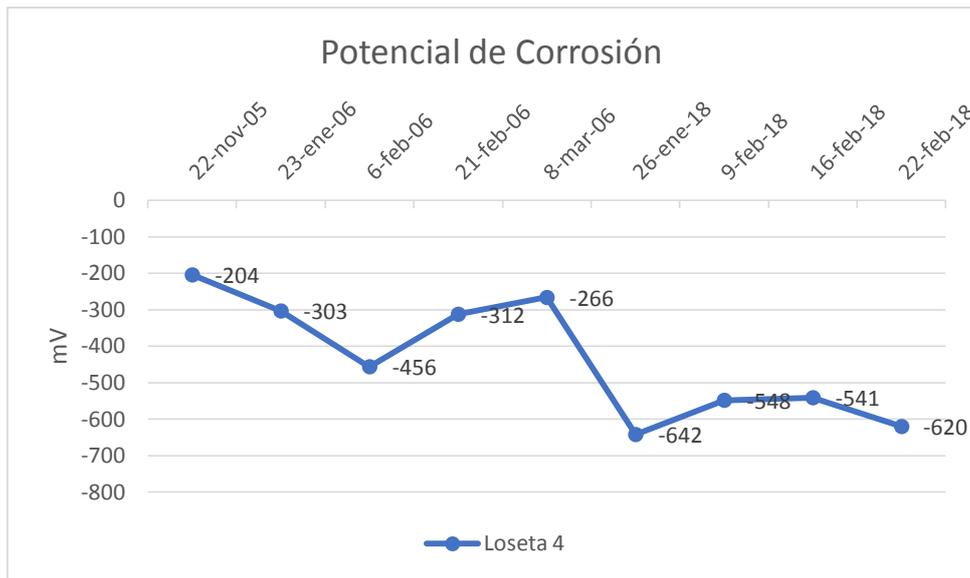
LOSETA 5			LOSETA 6		
-0,617	-0,758	-0,689	-0,396	-0,495	-0,507
-0,636	-0,779	-0,664	-0,441	-0,570	-0,528
-0,526	-0,606	-0,496	-0,221	-0,380	-0,310
Promedio	-0,641		Promedio	-0,428	

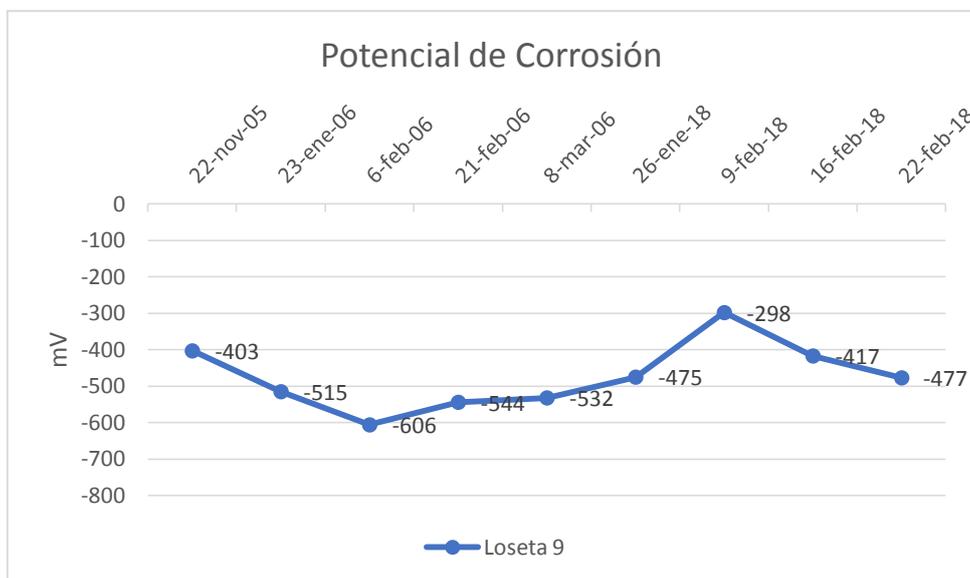
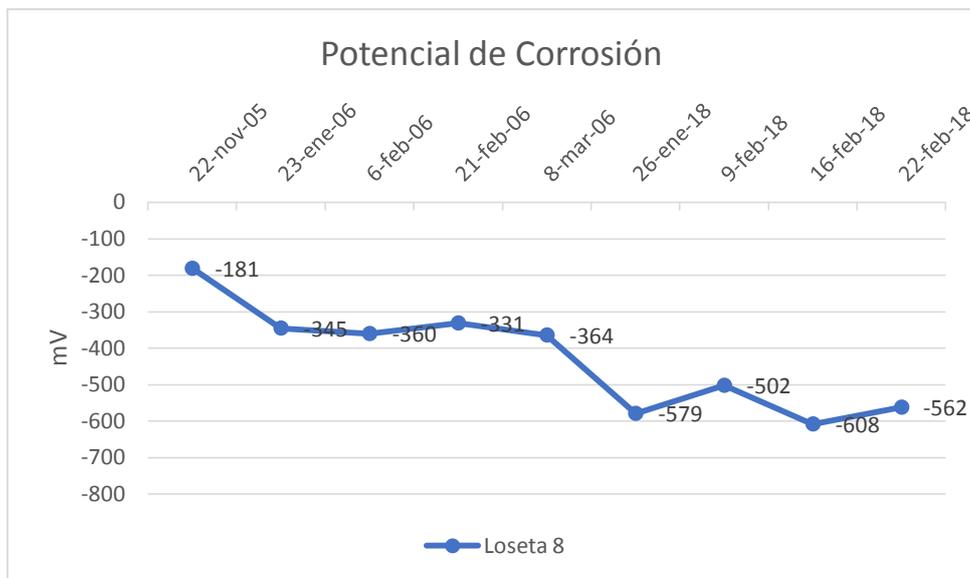
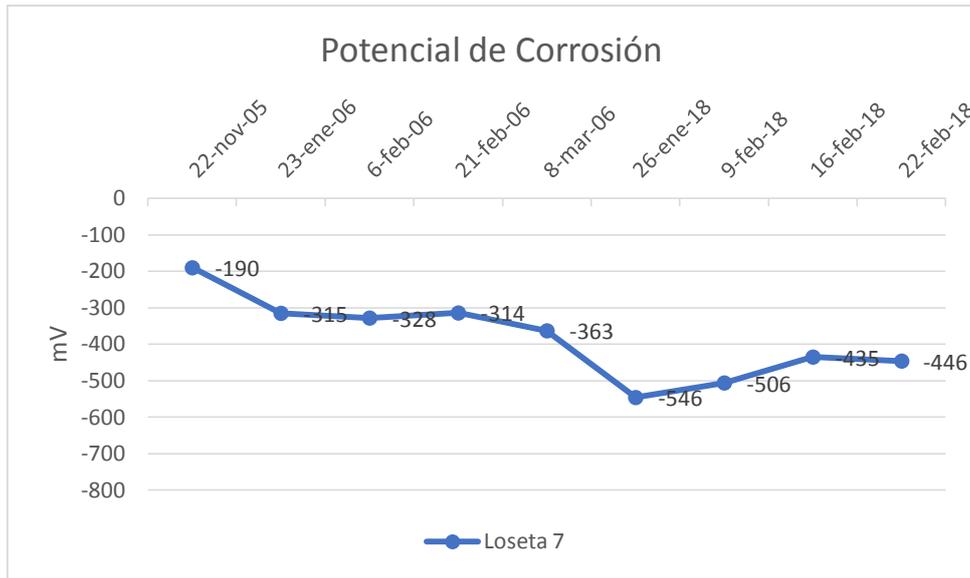
LOSETA 7			LOSETA 8		
-0,404	-0,480	-0,345	-0,554	-0,646	-0,602
-0,498	-0,620	-0,500	-0,534	-0,696	-0,599
-0,288	-0,485	-0,391	-0,413	-0,524	-0,490
Promedio	-0,446		Promedio	-0,562	

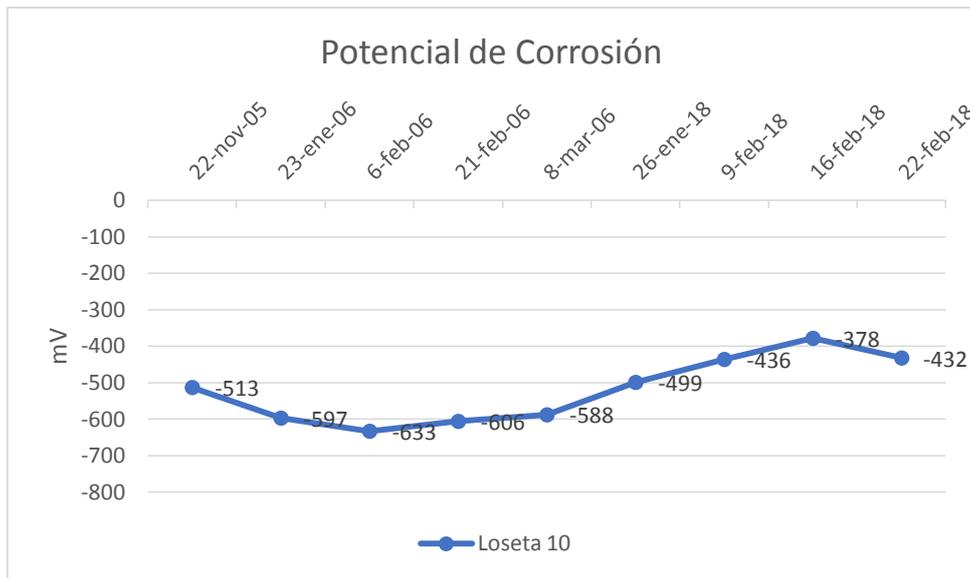
LOSETA 9			LOSETA 10		
-0,350	-0,463	-0,360	-0,395	-0,482	-0,488
-0,575	-0,644	-0,514	-0,485	-0,572	-0,465
-0,449	-0,560	-0,380	-0,382	-0,365	-0,258
Promedio	-0,477		Promedio	-0,432	

(Valores Medidos en V)





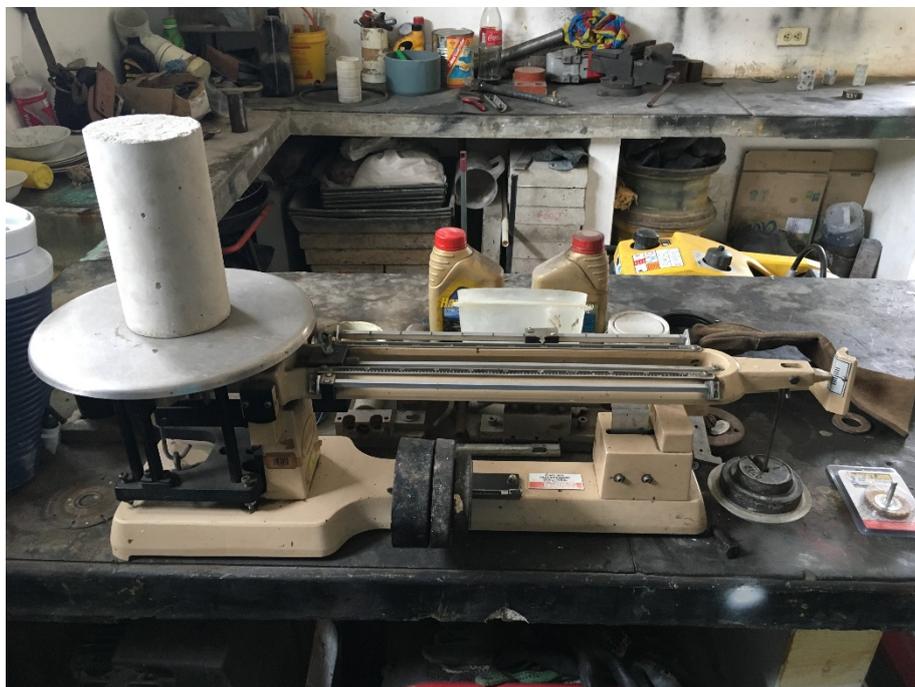




Anexo 3 – Ensayos de Compresión Simple

Estas pruebas fueron realizadas en el laboratorio “CEINVES” de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil con ayuda de un laboratorista experto. Estos ensayos se realizaron para poder verificar la resistencia a la compresión que tiene el hormigón utilizado en la fabricación de las nuevas losetas.

Para comenzar, se pesa el cilindro en una balanza y con el diámetro se calcula el área. Estos datos son necesarios debido a que hay que ingresarlos en la máquina donde realizamos el ensayo. En este caso, se contaba con un cilindro que pesaba 3600 gramos y tenía un diámetro de 104 mm, con el cual se calculó un área de 84.9 cm^2 .



Luego de haber pesado el cilindro y calculado su área, se procede a ingresar estos valores en la máquina junto con el cilindro.



Una vez colocado el cilindro, la maquina comenzara a ejercerle una fuerza de compresión. A medida que ejerce la fuerza también nos muestra la velocidad con la que se la esta aplicando.



De esta manera, la máquina continúa aplicándole fuerza al cilindro hasta que se rompe. Una vez que pasa esto, se registra la fuerza que se estuvo aplicando al momento en el que se fisura el elemento.

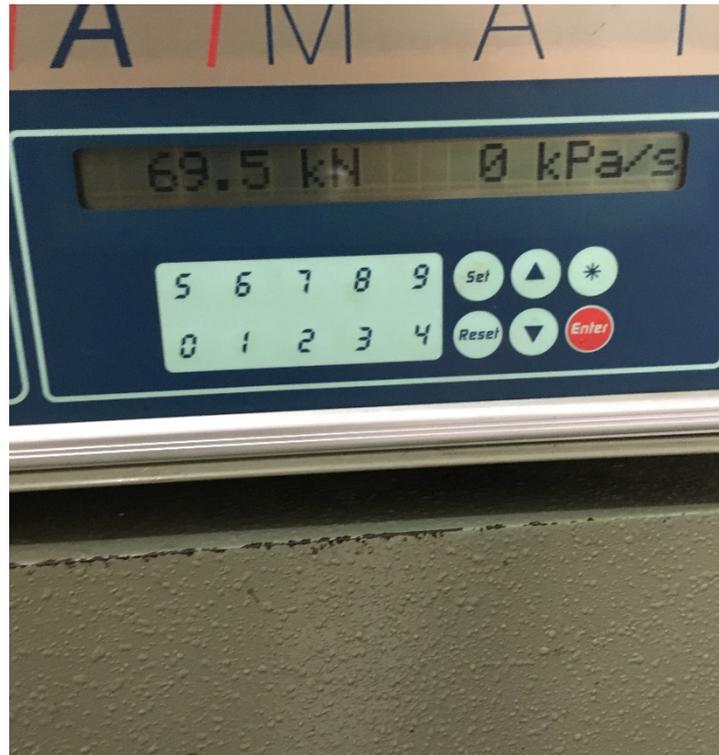


Cabe recalcar que esta prueba fue realizada en un cilindro a los 14 días y en otro cilindro a los 28 días de haberse fundido las losetas. En el primer cilindro, la fuerza que se registro fue de 65.9 kN, lo cual se transforma con ayuda del área en una resistencia a la compresión de 79.15 kg/cm².



Se debe aclarar que este hormigón no fue curado, por lo que en el segundo ensayo se obtuvo un valor de resistencia a la compresión sin mucha diferencia

con respecto al primer ensayo. Se obtuvo una resistencia de 69.5 kN, lo cual se transforma en una resistencia a la compresión de 83.48 kg/cm².



Anexo 4 – Mediciones de Potencial de Corrosión en Nuevas Losetas de Hormigón Armado

Primera Medición

Fecha: 08 de Febrero del 2018

LOSETA 1				LOSETA 2			
-0,238	-0,241	-0,234	-0,235	-0,235	-0,228	-0,290	-0,235
-0,244	-0,234	-0,238	-0,236	-0,252	-0,237	-0,280	-0,248
-0,252	-0,252	-0,240	-0,252	-0,279	-0,258	-0,277	-0,234
-0,272	-0,260	-0,247	-0,251	-0,255	-0,286	-0,243	-0,251
Promedio	-0,245			Promedio	-0,256		

LOSETA 3				LOSETA 4			
-0,267	-0,265	-0,272	-0,278	-0,266	-0,255	-0,244	-0,255
-0,238	-0,225	-0,222	-0,218	-0,233	-0,272	-0,249	-0,239
-0,243	-0,233	-0,230	-0,220	-0,274	-0,293	-0,253	-0,229
-0,257	-0,232	-0,220	-0,227	-0,253	-0,291	-0,270	-0,246
Promedio	-0,240			Promedio	-0,258		

LOSETA 5				LOSETA 6			
-0,260	-0,256	-0,233	-0,236	-0,235	-0,266	-0,255	-0,235
-0,273	-0,255	-0,223	-0,237	-0,252	-0,233	-0,272	-0,248
-0,268	-0,254	-0,245	-0,239	-0,279	-0,274	-0,293	-0,234
-0,258	-0,244	-0,237	-0,222	-0,255	-0,253	-0,291	-0,251
Promedio	-0,246			Promedio	-0,258		

LOSETA 7				LOSETA 8			
-0,303	-0,293	-0,282	-0,272	-0,162	-0,245	-0,275	-0,247
-0,288	-0,282	-0,272	-0,265	-0,276	-0,255	-0,268	-0,265
-0,289	-0,280	-0,272	-0,270	-0,283	-0,258	-0,266	-0,262
-0,303	-0,281	-0,271	-0,264	-0,274	-0,271	-0,256	-0,269
Promedio	-0,280			Promedio	-0,258		

LOSETA 9				LOSETA 10			
-0,526	-0,519	-0,518	-0,518	-0,578	-0,568	-0,580	-0,585
-0,546	-0,542	-0,541	-0,538	-0,578	-0,566	-0,578	-0,586
-0,545	-0,553	-0,531	-0,528	-0,577	-0,566	-0,569	-0,573
-0,504	-0,494	-0,480	-0,472	-0,583	-0,571	-0,570	-0,568
Promedio	-0,522			Promedio	-0,575		

(Valores Medidos en V)

Segunda Medición

Fecha: 20 de Febrero del 2018

LOSETA 1				LOSETA 2			
-0,212	-0,212	-0,214	-0,225	-0,262	-0,261	-0,247	-0,243
-0,195	-0,224	-0,220	-0,217	-0,261	-0,261	-0,251	-0,251
-0,211	-0,223	-0,223	-0,227	-0,242	-0,242	-0,249	-0,254
-0,246	-0,232	-0,218	-0,222	-0,247	-0,247	-0,249	-0,253
Promedio -0,220				Promedio -0,251			

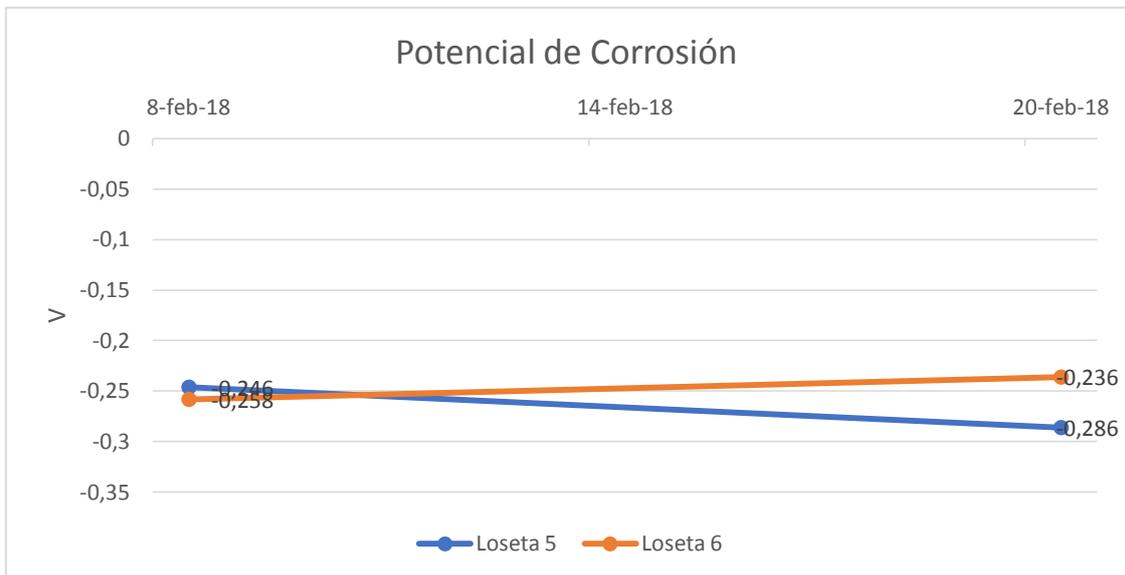
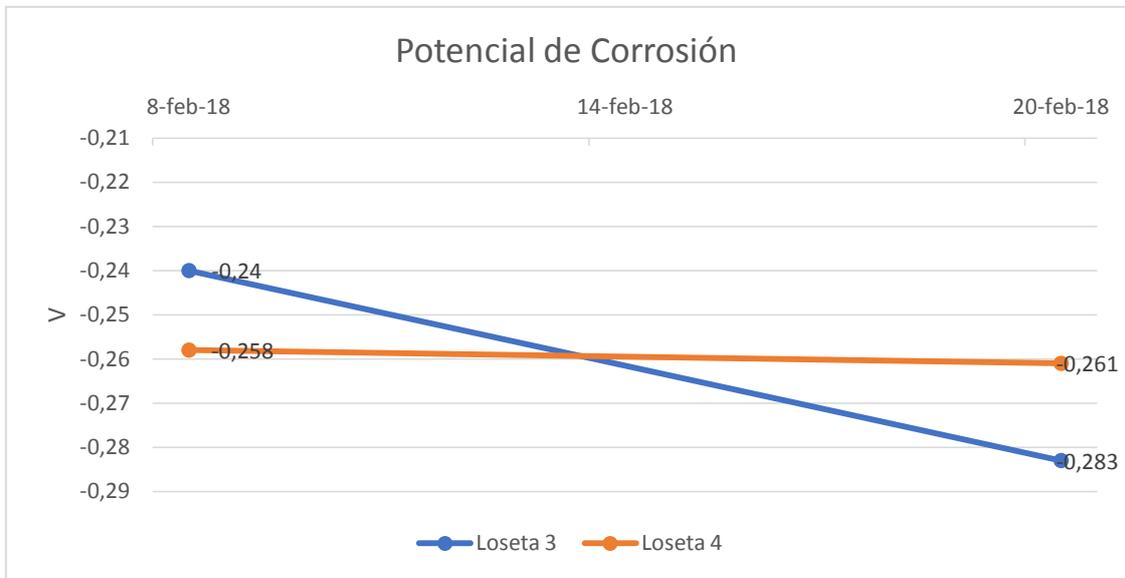
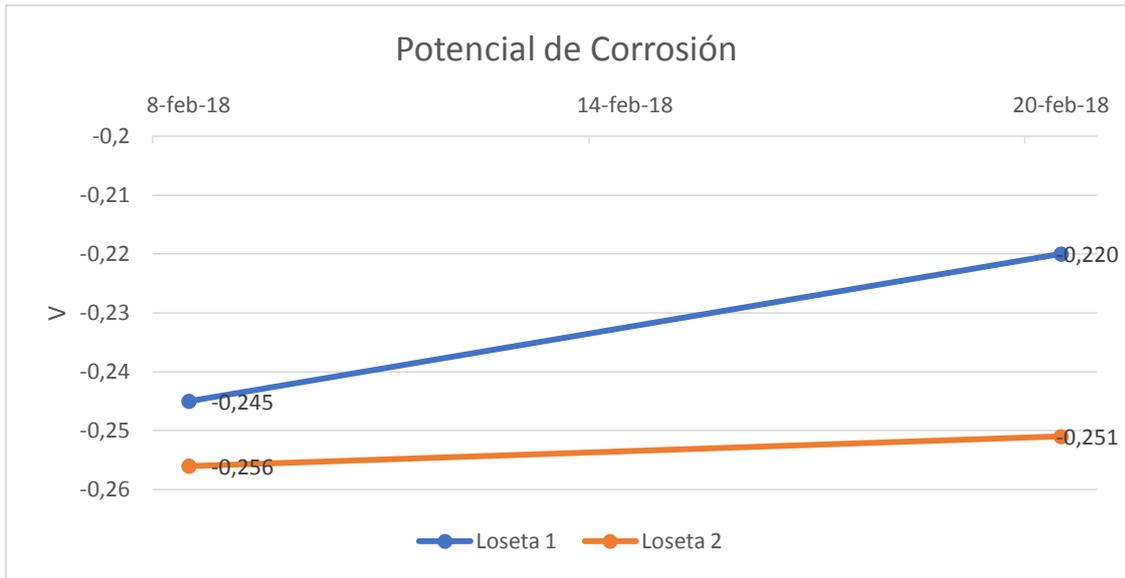
LOSETA 3				LOSETA 4			
-0,274	-0,268	-0,272	-0,277	-0,264	-0,263	-0,251	-0,259
-0,279	-0,276	-0,276	-0,274	-0,268	-0,258	-0,255	-0,260
-0,299	-0,288	-0,293	-0,279	-0,264	-0,257	-0,257	-0,262
-0,315	-0,292	-0,287	-0,285	-0,262	-0,260	-0,264	-0,267
Promedio -0,283				Promedio -0,261			

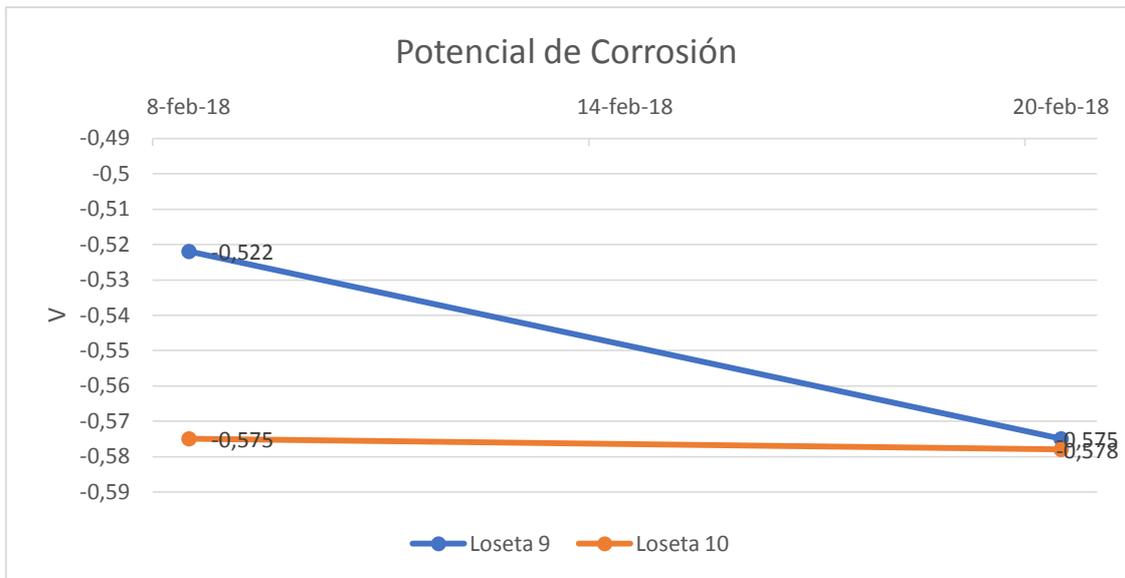
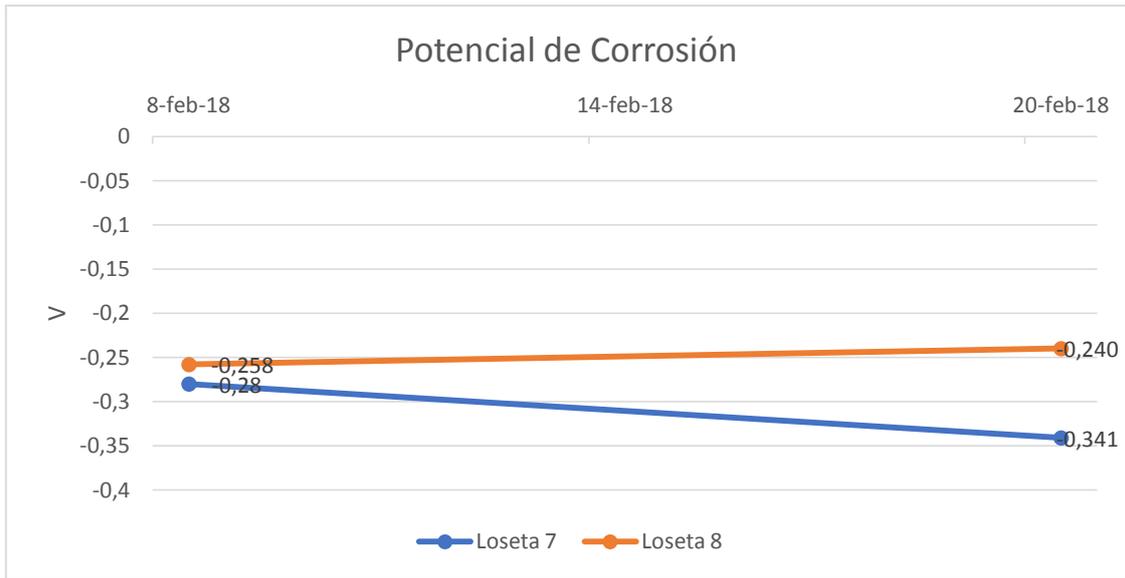
LOSETA 5				LOSETA 6			
-0,305	-0,295	-0,245	-0,284	-0,234	-0,246	-0,246	-0,244
-0,305	-0,291	-0,289	-0,275	-0,229	-0,242	-0,233	-0,250
-0,299	-0,286	-0,283	-0,280	-0,226	-0,241	-0,239	-0,239
-0,297	-0,285	-0,277	-0,277	-0,223	-0,223	-0,227	-0,240
Promedio -0,286				Promedio -0,236			

LOSETA 7				LOSETA 8			
-0,405	-0,390	-0,369	-0,354	-0,183	-0,208	-0,260	-0,190
-0,353	-0,351	-0,338	-0,327	-0,294	-0,257	-0,175	-0,223
-0,339	-0,337	-0,314	-0,312	-0,288	-0,229	-0,243	-0,270
-0,342	-0,315	-0,303	-0,299	-0,250	-0,264	-0,232	-0,272
Promedio -0,341				Promedio -0,240			

LOSETA 9				LOSETA 10			
-0,572	-0,568	-0,565	-0,559	-0,574	-0,571	-0,586	-0,587
-0,596	-0,588	-0,587	-0,588	-0,578	-0,571	-0,584	-0,586
-0,598	-0,609	-0,588	-0,586	-0,581	-0,572	-0,579	-0,580
-0,562	-0,556	-0,545	-0,531	-0,583	-0,574	-0,573	-0,572
Promedio	-0,575			Promedio	-0,578		

(Valores Medidos en V)







Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Ramos Lilliegren, Elmo Augusto**, con C.C: # **0921504676** autor del trabajo de titulación: **Sistemas de pasivación de corrosión en losas de hormigón armado** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **09 de Marzo de 2018**

f. _____

Nombre: **Ramos Lilliegren, Elmo Augusto**

C.C: **0921504676**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Sistemas de Pasivación de Corrosión en Losas de Hormigón Armado		
AUTOR	Elmo Augusto Ramos Lilliegren		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Carlos Ildefonso Chon Diaz		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	09 de Marzo de 2018	No. PÁGINAS:	DE 144
ÁREAS TEMÁTICAS:	Tecnología del Hormigón Corrosión Mantenimiento y Reparación de Estructuras		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	<i>Corrosión, potencial de corrosión, pasivación, inhibidor migratorio</i>		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>En el presente trabajo de titulación se dan a conocer los problemas que hoy en día se presentan en estructuras de hormigón armado alrededor de América y del mundo debido al fenómeno conocido como "corrosión". Se explicará detalladamente los tipos de corrosión que pueden presentarse y de las consecuencias que conllevan cada uno. Así mismo, se darán opciones de tratamientos y métodos preventivos para evitar o retrasar el inicio del proceso de la corrosión.</p> <p>Para la demostración de los distintos métodos existentes, ya sean preventivos o correctivos, se han utilizado losetas de hormigón armado elaboradas hace más de 10 años y también se replicaron dichas losetas para que se les aplique cierto tratamiento y ver cuál es la reacción en ellas. Para poder cuantificar y distinguir los cambios que se presenten en las losetas se realizaron mediciones de potencial de corrosión.</p> <p>Una vez realizadas las mediciones, para las antiguas losetas fue necesario los valores de las mediciones del potencial de corrosión que se hicieron cuando recién se fabricaron. Esto fue posible gracias a que esas antiguas losetas fueron parte de un trabajo de titulación anterior y cuyos se encontraban tabulados en las mismas. Gracias a esto se pudieron distinguir los cambios efectuados en las losetas. Para las nuevas losetas, se aplicó un tratamiento conocido como MCI (Inhibidores de Corrosión Migratorio), y con ayuda de las mediciones del trabajo de titulación anterior se expusieron las diferencias presentes en corto plazo.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR:	Teléfono: +593-4- 2000980	E-mail: elmoramos1995@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4 -2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA	
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	