

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

“Estudio de la efectividad de tres tipos de inhibidores de corrosión para la protección de estructuras de concreto armado”

Tesis para obtener el título profesional de **Ingeniera Civil**

AUTORAS:

Ancori Torobeo, Liz Stefany

Tenorio Palomino, Main Graciela

ASESORES:

Lic. María Isabel Díaz Tang (Asesor)

Ing. Julio César Carhuamaca Huanri (Coasesor)

Lima, abril 2021

Resumen

Una de las principales patologías que compromete la vida útil de las estructuras de concreto armado es la corrosión del acero de refuerzo, frente a la cual, surge como una medida de protección la adición de compuestos químicos al concreto fresco, denominados inhibidores de corrosión, para mejorar la durabilidad de las estructuras. La presente investigación consiste en evaluar la efectividad de tres aditivos inhibidores de corrosión con importante presencia comercial en el Perú, uno de tipo inorgánico (A) y dos de tipo orgánico (B y C), adicionados a mezclas de concreto diseñadas con relación w/c igual a 0.60 y con cloruro de sodio en distintas concentraciones para inducir la corrosión acelerada de las barras de acero embebidas en las probetas de concreto.

La evaluación del estado de corrosión de las barras de acero de refuerzo se realizó por medio de dos técnicas electroquímicas: medición de potenciales y estimación de la velocidad de corrosión, que permitieron identificar la presencia y el avance del fenómeno corrosivo. Asimismo, la evaluación comprendió la rotura de las probetas de concreto para la inspección visual de las barras de acero corrugado embebidas para una correcta interpretación de los valores obtenidos.

En base a las técnicas utilizadas, se demostró que el aditivo inhibidor de corrosión inorgánico A es más efectivo en estructuras de concreto armado que contienen una concentración máxima de NaCl de hasta 0.5%, permitiendo al acero de refuerzo alcanzar su estado de pasivación a un nivel superior ($E_{\text{corrA}} = -0.17 \text{ V CSE}$) que con los inhibidores de corrosión orgánicos ($E_{\text{corrB}} = -0.20 \text{ V CSE}$ y $E_{\text{corrC}} = -0.23 \text{ V CSE}$). Sin embargo, en estructuras de concreto armado que contienen una concentración de NaCl de hasta 2.5%, se demostró que ninguno de los tres inhibidores de corrosión es efectivo, pero el inhibidor de corrosión orgánico B es el que permitiría extender la vida útil de las estructuras de manera más efectiva en el tiempo, debido a que su velocidad de corrosión es menor ($V_{\text{corrB}} = 0.035 \mu\text{m/año}$) en comparación con la velocidad de corrosión de los otros dos aditivos inhibidores ($V_{\text{corrA}} = 0.039 \mu\text{m/año}$ y $V_{\text{corrC}} = 0.049 \mu\text{m/año}$).

Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos infinitamente a Dios por cuidarnos y guiarnos durante estos años de crecimiento profesional y permitarnos compartir este logro con nuestras familias.

Nos gustaría expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestros asesores de investigación, a la Lic. María Isabel Díaz Tang y al Ing. Julio César Carhuamaca Huanri de la Pontificia Universidad Católica del Perú, por su confianza, apoyo y orientación constante.

Asimismo, expresamos nuestro agradecimiento al equipo profesional y técnico del Laboratorio de Estructuras Antisísmicas y del Instituto de Corrosión y Protección de la Pontificia Universidad Católica del Perú por su soporte durante el desarrollo experimental de la presente investigación.

También expresamos toda nuestra gratitud a nuestros amigos y colegas Dyjp Contreras Prado, Cranmer Rojas Carpio y Anthony Méndez Cisneros por su apoyo y soporte emocional hacia la culminación del presente trabajo.

Dedicatorias

Dedico la presente tesis a mis padres Fredy Ancori y Julia Torobeo por su apoyo incondicional, a mi hermana Luz que siempre está a mi lado y es mi mayor soporte, a mi hermano Luis que, a pesar de la distancia, siempre me transmite su positivismo y, por supuesto a mi compañera de tesis, amiga y hermana Main, por impulsar el proyecto, por la paciencia y el apoyo.

Liz Stefany Ancori Torobeo

Dedico el presente trabajo a mis padres Indalecio Tenorio y Maximina Palomino por ser mi soporte y mi mayor fuente de inspiración, a mi hermana y mejor amiga Liz por su confianza y fortaleza, y a las personas que Dios pone en mi camino por su paciencia y motivación constante.

Main Graciela Tenorio Palomino

Tabla de Contenidos

Resumen.....	i
Agradecimientos.....	ii
Tabla de Contenidos.....	iii
Lista de Tablas.....	vi
Lista de Figuras.....	ix
Capítulo I. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Hipótesis.....	3
1.4 Organización del documento.....	3
Capítulo II. Aspectos fundamentales de la durabilidad.....	5
2.1 Durabilidad del concreto reforzado.....	5
2.2 Factores externos que afectan la durabilidad del concreto.....	9
2.3 Factores internos que determinan la calidad del concreto.....	10
Capítulo III. Corrosión del acero de refuerzo.....	15
3.1 Naturaleza porosa y alcalina del concreto.....	15
3.2 Pasividad del acero de refuerzo.....	17
3.3 Corrosión del acero de refuerzo.....	19
3.4 Inhibidores de corrosión.....	22
Capítulo IV. Materiales.....	25
4.1 Insumos para las mezclas de concreto.....	25
4.1.1 Agua.....	25
4.1.2 Cemento.....	26

4.1.3 Agregado grueso.....	26
4.1.4 Agregado fino.....	28
4.1.5 Aditivos.....	30
4.1.6 Cloruro de sodio.....	31
4.2 Elementos para la preparación de testigos.....	32
4.2.1 Barras de acero inoxidable.....	32
4.2.2 Barras de acero corrugado.....	32
4.2.3 Esmalte epóxico.....	33
4.3 Materiales para la fabricación de probetas.....	33
4.3.1 Desmoldante.....	33
Capítulo V. Metodología.....	34
5.1 Etapa 1: Planificación.....	34
5.1.1 Diseño de probetas.....	34
5.1.2 Planificación de mezclas de concreto.....	36
5.2 Etapa 2: Etapa preliminar.....	37
5.2.1 Ensayos de agregados.....	37
5.2.2 Fabricación de moldes prismáticos.....	38
5.2.3 Diseño teórico de las mezclas de concreto.....	41
5.2.4 Validación del diseño teórico en campo.....	44
5.3 Etapa 3: Muestreo de las probetas de concreto.....	45
5.3.1 Preparación de las 13 mezclas de concreto.....	45
5.3.2 Ensayos de control de calidad del concreto en estado fresco.....	46
5.3.3 Ensayos de control de calidad del concreto en estado endurecido.....	53
5.4 Etapa 4: Mediciones electroquímicas.....	56

5.5 Etapa 5: Inspección de barras de acero de refuerzo.....	63
Capítulo VI. Resultados.....	67
6.1 Ensayos de control de calidad del concreto en estado fresco.....	67
6.2 Ensayos de control de calidad del concreto en estado endurecido.....	69
6.3 Mediciones electroquímicas.....	69
6.4 Inspección visual.....	71
Capítulo VII. Discusión de Resultados.....	76
7.1 Ensayos de control de calidad del concreto en estado fresco.....	76
7.2 Ensayos de control de calidad del concreto en estado endurecido.....	79
7.3 Mediciones electroquímicas.....	80
Capítulo VIII. Conclusiones y Recomendaciones.....	100
8.1 Conclusiones.....	100
8.2 Recomendaciones.....	102
Referencias.....	103

Apéndices



Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Vida útil nominal de los diferentes tipos de estructura</i>	7
Tabla 2 <i>Clasificación de los aditivos inhibidores de corrosión</i>	23
Tabla 3 <i>Interpretación de mediciones de potencial</i>	23
Tabla 4 <i>Criterios para estimar el nivel de corrosión</i>	24
Tabla 5 <i>Límites químicos para agua de mezcla</i>	25
Tabla 6 <i>Normas utilizadas para propiedades físicas del agregado grueso</i>	26
Tabla 7 <i>Resumen de características físicas del agregado grueso</i>	26
Tabla 8 <i>Resumen de características químicas del agregado grueso</i>	27
Tabla 9 <i>Normas utilizadas para propiedades físicas del agregado fino</i>	28
Tabla 10 <i>Resumen de características físicas del agregado fino</i>	28
Tabla 11 <i>Resumen de características químicas del agregado fino</i>	29
Tabla 12 <i>Resumen de las características del aditivo reductor de agua</i>	30
Tabla 13 <i>Resumen de características de los aditivos inhibidores de corrosión</i>	31
Tabla 14 <i>Requisito de composición química del cloruro de sodio</i>	31
Tabla 15 <i>Resumen de las especificaciones técnicas del cloruro de sodio</i>	31
Tabla 16 <i>Composición química de las barras de acero inoxidable AISI 316</i>	32
Tabla 17 <i>Composición química de las barras de acero corrugado</i>	33
Tabla 18 <i>Características técnicas del esmalte epóxico</i>	33
Tabla 19 <i>Parámetros de diseño para probetas cilíndricas</i>	34
Tabla 20 <i>Parámetros de diseño para probetas prismáticas</i>	35
Tabla 21 <i>Especificaciones para diseño de mezclas de concreto</i>	36
Tabla 22 <i>Características físicas de los agregados</i>	41
Tabla 23 <i>Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción</i>	42

Tabla 24	<i>Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire</i>	42
Tabla 25	<i>Relación agua-cemento y la resistencia a compresión del concreto</i>	43
Tabla 26	<i>Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto</i>	43
Tabla 27	<i>Secuencia para mezcla original – MO (duración = 5 minutos)</i>	46
Tabla 28	<i>Secuencia para mezclas patrón – MP (duración = 5 minutos)</i>	46
Tabla 29	<i>Secuencia para mezclas A, mezclas B y mezclas C (duración = 8 minutos)</i>	46
Tabla 30	<i>Normas para ensayos de control de calidad del concreto en estado fresco</i>	47
Tabla 31	<i>Especificaciones de compactación de las probetas de concreto</i>	51
Tabla 32	<i>Condiciones y parámetros para las mediciones electroquímicas</i>	61
Tabla 33	<i>Resumen de consideraciones en la técnica electroquímica de polarización lineal</i>	62
Tabla 34	<i>Resultados de ensayos de control de calidad del concreto en estado fresco</i>	67
Tabla 35	<i>Resultados del ensayo de resistencia a compresión de las probetas cilíndricas</i>	68
Tabla 36	<i>Resultados de las mediciones electroquímicas de las mezclas MO y MP</i>	69
Tabla 37	<i>Resultados de las mediciones electroquímicas de las mezclas MA</i>	70
Tabla 38	<i>Resultados de las mediciones electroquímicas de las mezclas MB</i>	70
Tabla 39	<i>Resultados de las mediciones electroquímicas de las mezclas MC</i>	71
Tabla 40	<i>Inspección visual de las mezclas MO y MP-0.5</i>	71
Tabla 41	<i>Inspección visual de las mezclas MP-1.5 y MP-2.5</i>	72
Tabla 42	<i>Inspección visual de las mezclas MA</i>	72
Tabla 43	<i>Inspección visual de las mezclas MB</i>	73
Tabla 44	<i>Inspección visual de las mezclas MC</i>	73
Tabla 45	<i>Parámetros de control de calidad del concreto en estado fresco</i>	76
Tabla 46	<i>Dependencia entre la relación w/c y la resistencia a compresión del concreto</i>	79
Tabla 47	<i>Técnicas estadísticas para evaluación de atipicidad de mediciones electroquímicas</i> ...81	

Tabla 48 <i>Resumen de mediciones de potencial después de evaluación estadística de atipicidad</i> ...	82
Tabla 49 <i>Criterio de valoración de potenciales</i>	83
Tabla 50 <i>Criterio de valoración de potenciales para evaluación de probetas prismáticas</i>	83
Tabla 51 <i>Criterio de interpretación de potenciales</i>	84
Tabla 52 <i>Resultados de evaluación de atipicidad de valores estimados de tasa de corrosión</i>	94



Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Comparación inversión vs tiempo entre una estructura “durable” y “no durable”	8
<i>Figura 2.</i> Proporción de los componentes del concreto en volumen absoluto.....	11
<i>Figura 3.</i> Influencia de la relación w/c en la resistencia a compresión y en el revenimiento.....	13
<i>Figura 4.</i> Efecto del tiempo de curado sobre el desarrollo de la resistencia del concreto.....	14
<i>Figura 5.</i> Distribución del tamaño de poros en el concreto.....	16
<i>Figura 6.</i> Red de poros capilares en el concreto endurecido.....	16
<i>Figura 7.</i> Contenido crítico de cloruros por peso de cemento.....	18
<i>Figura 8.</i> Iniciación y propagación de corrosión en una estructura – Modelo de Tuutti.....	19
<i>Figura 9.</i> Celda electroquímica de la corrosión en medio alcalino.....	20
<i>Figura 10.</i> Consecuencias estructurales de la corrosión en estructuras de concreto armado.....	21
<i>Figura 11.</i> Curva granulométrica del agregado grueso.....	27
<i>Figura 12.</i> Curva granulométrica del agregado fino.....	29
<i>Figura 13.</i> Probeta cilíndrica de concreto para ensayos de resistencia a compresión.....	35
<i>Figura 14.</i> Probeta prismática de concreto reforzado para mediciones electroquímicas.....	35
<i>Figura 15.</i> Codificación de las 13 mezclas de concreto diseñadas.....	37
<i>Figura 16.</i> Modelo de espécimen de prueba - ASTM G109.....	38
<i>Figura 17.</i> Diseño de probeta prismática de concreto.....	39
<i>Figura 18.</i> Sección transversal del encofrado para probetas prismáticas.....	39
<i>Figura 19.</i> Fabricación y ensamblaje del encofrado para probetas prismáticas.....	40
<i>Figura 20.</i> Vista en planta del encofrado con barras de acero dispuestas según el diseño.....	40
<i>Figura 21.</i> Barras de acero corrugado sin impurezas superficiales.....	40
<i>Figura 22.</i> Preparación de barras de acero corrugado con pintura epóxica en sus extremos.....	41
<i>Figura 23.</i> Mezcla prueba N° 1 (MB-2.5%), slump 5 cm, sin aditivo reductor de agua.....	44

<i>Figura 24.</i> Mezcla prueba N° 2 (MB-2.5%), slump 15 cm, con poca cohesión.....	45
<i>Figura 25.</i> Mezcla prueba N° 3 (MB-2.5%), slump 18 cm, con buena consistencia.....	45
<i>Figura 26.</i> Línea de tiempo de ensayos de control del concreto en estado fresco.....	47
<i>Figura 27.</i> Muestreo de la mezcla de concreto MB-2.5%, adecuada apariencia inicial.....	48
<i>Figura 28.</i> Medición de temperatura de la mezcla de concreto MB-2.5%, T= 20.3 °C.....	49
<i>Figura 29.</i> Asentamiento de la mezcla MB-2.5%, slump = 12.9 cm, falla tipo normal.....	49
<i>Figura 30.</i> Ensayo de peso unitario de la mezcla MB-2.5%, P.U.=2,324.32 kg/m ³	50
<i>Figura 31.</i> Ensayo de contenido de aire de la mezcla MB-2.5%, valor = 3.8%.....	51
<i>Figura 32.</i> Especificaciones de compactación de probetas cilíndricas (vista en planta)	52
<i>Figura 33.</i> Especificaciones de compactación de probetas prismáticas (vista en planta)	52
<i>Figura 34.</i> Moldeo de probetas prismáticas (05) y probetas cilíndricas (03) por cada mezcla.....	53
<i>Figura 35.</i> Línea de tiempo de ensayos de calidad del concreto en estado endurecido.....	53
<i>Figura 36.</i> Desencofrado de probetas prismáticas de concreto.....	53
<i>Figura 37.</i> Probetas cilíndricas y prismáticas desencofradas - moldes de metal y melamina.....	54
<i>Figura 38.</i> Ensayo de resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto.....	55
<i>Figura 39.</i> Probetas cilíndricas de la mezcla de concreto MB – 2.5% ensayadas a compresión...55	55
<i>Figura 40.</i> Secado de probetas prismáticas en un entorno de HR de 50%.....	56
<i>Figura 41.</i> Línea de tiempo de ensayos realizados a las probetas prismáticas de concreto.....	56
<i>Figura 42.</i> Procedimientos ejecutados a las probetas antes de mediciones electroquímicas.....	56
<i>Figura 43.</i> Saturación de 3 probetas prismáticas por cada tipo de mezcla de concreto.....	57
<i>Figura 44.</i> Secado de probetas prismáticas previo a las mediciones electroquímicas.....	57
<i>Figura 45.</i> Acondicionamiento de probeta prismática para las mediciones electroquímicas.....	58
<i>Figura 46.</i> Esquema de montaje experimental para las mediciones electroquímicas.....	59
<i>Figura 47.</i> Montaje real de la probeta prismática para las mediciones electroquímicas.....	60

<i>Figura 48.</i> Curva de polarización lineal a partir del potencial de corrosión E_{corr}	61
<i>Figura 49.</i> Línea de tiempo de ensayos realizados a las probetas prismáticas de concreto	63
<i>Figura 50.</i> Esquema de corte de probetas prismáticas de concreto	63
<i>Figura 51.</i> Equipo de ensayo de tracción diametral marca FORNEY	64
<i>Figura 52.</i> Corte de una probeta prismática de la mezcla MB-2.5 por la mitad.....	64
<i>Figura 53.</i> Profundidad de carbonatación en una probeta prismática de la mezcla MB-2.5	65
<i>Figura 54.</i> Inspección visual y con estereomicroscopio, daño visible por corrosión.....	65
<i>Figura 55.</i> (Izquierda) Refuerzo sin daño. (Derecha) Refuerzo dañado por corrosión.....	66
<i>Figura 56.</i> Grados de evaluación de indicios de corrosión.....	66
<i>Figura 57.</i> Grados de evaluación de adherencia aparente acero/concreto.....	66
<i>Figura 58.</i> Esquema de 03 probetas cilíndricas elaboradas por cada mezcla de concreto	67
<i>Figura 59.</i> Esquema de 03 probetas prismáticas ensayadas por cada mezcla de concreto	69
<i>Figura 60.</i> Inspección visual de la probeta N° 2 – Mezcla MO.....	74
<i>Figura 61.</i> Inspección visual de la probeta N° 1 – Mezcla MP-1.5.....	74
<i>Figura 62.</i> Inspección visual de la probeta N° 2 – Mezcla MA-2.5.....	75
<i>Figura 63.</i> Inspección visual de la probeta N° 5 – Mezcla MP-2.5.....	75
<i>Figura 64.</i> Resultados obtenidos de temperatura de las 13 mezclas de concreto	76
<i>Figura 65.</i> Resultados obtenidos de asentamiento de las 13 mezclas de concreto	77
<i>Figura 66.</i> Evaluación del tipo de falla de las mezclas con slump fuera del límite especificado ...	77
<i>Figura 67.</i> Resultados obtenidos de peso unitario de las 13 mezclas de concreto	78
<i>Figura 68.</i> Resultados obtenidos de contenido de aire de las 13 mezclas de concreto.....	78
<i>Figura 69.</i> Resultados de resistencia a compresión de las 13 mezclas de concreto diseñadas.....	79
<i>Figura 70.</i> Interpretación de valores de potencial de corrosión promedio de las mezclas MP	85
<i>Figura 71.</i> Comparación visual entre las mezclas MP en función al aumento de [NaCl].....	85

<i>Figura 72.</i> Interpretación de valores de potencial de corrosión promedio de las mezclas MA.....	86
<i>Figura 73.</i> Comparación visual entre las mezclas MA en función al aumento de [NaCl].....	86
<i>Figura 74.</i> Interpretación de valores de potencial de corrosión promedio de las mezclas MB.....	87
<i>Figura 75.</i> Comparación visual entre las mezclas MB en función al aumento de [NaCl].....	88
<i>Figura 76.</i> Interpretación de valores de potencial de corrosión promedio de las mezclas MC.....	89
<i>Figura 77.</i> Comparación visual entre las mezclas MC en función al aumento de [NaCl].....	89
<i>Figura 78.</i> Comparación de valores de potencial de las mezclas con [NaCl] = 0.5%.....	90
<i>Figura 79.</i> Comparación visual entre las mezclas de concreto con [NaCl] = 0.5%.....	90
<i>Figura 80.</i> Comparación de valores de potencial de las mezclas con [NaCl] = 1.5%.....	91
<i>Figura 81.</i> Comparación visual entre las mezclas de concreto con [NaCl] = 1.5%.....	91
<i>Figura 82.</i> Comparación de valores de potencial de las mezclas con [NaCl] = 2.5%.....	92
<i>Figura 83.</i> Comparación visual entre las mezclas de concreto con [NaCl] = 2.5%.....	92
<i>Figura 84.</i> Comparación de valores de tasa de corrosión de las mezclas con [NaCl] = 0.5%.....	96
<i>Figura 85.</i> Comparación de valores de tasa de corrosión de las mezclas con [NaCl] = 1.5%.....	97
<i>Figura 86.</i> Comparación de pérdida de diámetro de los refuerzos en 50 años, [NaCl]=1.5%.....	97
<i>Figura 87.</i> Comparación de valores de tasa de corrosión de las mezclas con [NaCl] = 2.5%.....	98
<i>Figura 88.</i> Comparación de pérdida de diámetro de los refuerzos en 50 años, [NaCl]=2.5%.....	99

Capítulo I. Introducción

1.1 Antecedentes

Actualmente, la construcción constituye una importante actividad económica para el Perú, siendo un sector cada vez más representativo debido a la creciente tendencia de la inversión pública y privada. Según el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP, 2019) [24], la construcción representa aproximadamente el 6% del PBI peruano, lo que lo convierte en uno de los sectores que más aporta e impulsa el crecimiento económico del país. Sin embargo, este sector se encuentra sujeto a constantes pérdidas económicas debido al desarrollo de patologías en las estructuras de concreto armado, tanto en edificaciones como en infraestructuras, que aceleran el deterioro de los materiales que las componen. Una de las principales patologías que compromete la vida útil de las estructuras de concreto armado es la corrosión del acero de refuerzo, que se desarrolla a causa de la exposición continua de las estructuras a diversas condiciones ambientales.

La corrosión del acero de refuerzo en una estructura de concreto armado daña principalmente la adherencia acero-concreto, lo que genera que la estructura tenga menor capacidad de respuesta ante diversas sollicitaciones de resistencia, ocasionando que el servicio se desarrolle en condiciones inseguras hasta el punto de quedar inutilizada. Frente a esta problemática, se propuso como alternativa la adición de compuestos químicos a la mezcla de concreto, denominados inhibidores de corrosión, que sean capaces de inhibir químicamente la acción corrosiva de los cloruros sobre el acero de refuerzo en el concreto armado. Estos inhibidores de corrosión pueden ser de dos tipos: inhibidores orgánicos e inhibidores inorgánicos, siendo la efectividad de cada uno de ellos dependiente de su composición química, de su mecanismo de acción y de su concentración en el concreto. Sin embargo, la elección de un adecuado aditivo inhibidor de corrosión, por lo general, no se realiza en base a evaluaciones técnicas que determinen su efectividad en la protección de la durabilidad de la estructura específica en consideración.

De acuerdo con lo mencionado, resulta fundamental poner en estudio de investigación la efectividad de los inhibidores de corrosión, debido a la magnitud de la inseguridad y del impacto económico que significa la corrosión en las estructuras de concreto armado. La medición y la información acerca del estado de corrosión del material metálico se obtienen por medio de técnicas electroquímicas, pues esta patología es, generalmente, el resultado de un proceso electroquímico que deteriora la capa protectora de los refuerzos por la presencia de iones de cloruro.

En base a ello, el presente trabajo de investigación se centra en evaluar la efectividad de tres inhibidores de corrosión con importante presencia comercial en el Perú, adicionados durante la preparación de las mezclas de concreto, las cuales incluyen también en su composición cloruro de sodio en distintas concentraciones para inducir la corrosión acelerada de las barras de acero corrugado embebidas en probetas de concreto. La evaluación de su estado de corrosión se obtiene por medio de dos técnicas electroquímicas: medición de potenciales y estimación de la velocidad de corrosión del acero de refuerzo, que permiten identificar la presencia y el avance del fenómeno corrosivo. La investigación concluye con el rompimiento de las probetas de concreto para la inspección visual de las barras de acero corrugado que se encontraban embebidas, a fin de describir el nivel de daño corrosivo para cada caso evaluado. Finalmente, en base a la data cuantitativa y cualitativa, esta investigación pretende guiar en el ‘arte’ de selección de un adecuado aditivo inhibidor de corrosión que garantice la durabilidad de las estructuras de concreto reforzado, de forma que cumplan la vida útil para la cual fueron diseñadas.

1.2. Objetivos

Objetivo General:

Evaluar por medio de técnicas electroquímicas y mediante inspección visual la efectividad de tres inhibidores de corrosión, siendo dos de tipo orgánico y uno inorgánico, y determinar cuál(es) ofrece(n) mayor protección para la durabilidad de estructuras de concreto armado

diseñadas con mezclas de concreto de relación w/c igual a 0.60 y frente a distintas concentraciones de iones cloruro como agentes despasivantes.

Objetivos Específicos:

- Evaluar el comportamiento de tres aditivos inhibidores de corrosión en función al aumento del contenido de cloruro de sodio presente en el concreto, para lo cual se diseñarán mezclas con tres porcentajes distintos de concentración: (a) 0.5%, (b) 1.5% y (c) 2.5%.
- Determinar el tipo de inhibidor más efectivo contra el proceso corrosivo del acero de refuerzo, entre los dos tipos evaluados: (a) inhibidor orgánico e (b) inhibidor inorgánico.
- Aplicar técnicas electroquímicas que permitan valorar la efectividad del mecanismo de acción de cada uno de los tres aditivos inhibidores de corrosión para la protección de las barras de acero corrugado frente al desarrollo de esta patología en el concreto armado.
- Cualificar el proceso corrosivo en las barras de acero corrugado mediante la observación y descripción de los daños examinados que se producen en un tiempo determinado.

1.3. Hipótesis

Los tres inhibidores de corrosión actúan de manera efectiva contra la corrosión del acero de refuerzo, sin embargo, el inhibidor de tipo inorgánico ofrece mayor protección para la durabilidad de las estructuras de concreto armado en comparación a los otros dos inhibidores de corrosión orgánicos evaluados, de acuerdo a la mayor cantidad de estudios realizados anteriormente.

1.4. Organización del documento

En el Capítulo II se describen los aspectos fundamentales de la durabilidad del concreto y se analizan los factores que intervienen en su desempeño y que determinan el comportamiento de las estructuras durante su vida útil.

En el Capítulo III se describe la naturaleza porosa y alcalina del concreto y el estado pasivo del acero de refuerzo embebido en concreto. En base a ello, se explica la naturaleza electroquímica de la corrosión y la alternativa de adición de inhibidores de corrosión para proteger el acero.

En el Capítulo IV se detallan los materiales que se utilizaron en el desarrollo experimental del proyecto de investigación, precisando sus especificaciones técnicas y sus características físicas y químicas evaluadas mediante determinados ensayos normalizados.

En el Capítulo V se describe la metodología aplicada en el desarrollo experimental de la investigación, el cual se divide en 6 etapas: Planificación, Etapa preliminar, Muestreo de las mezclas de concreto, Mediciones Electroquímicas e Inspección de barras de acero de refuerzo.

En el Capítulo VI se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de control de calidad del concreto en estado fresco y en estado endurecido. Asimismo, se muestran las mediciones electroquímicas obtenidas y las tablas que resumen la inspección visual realizada.

En el Capítulo VII se realiza la interpretación y evaluación de los resultados presentados en el Capítulo VI, conforme al marco teórico, para explicar los objetivos planteados.

En el Capítulo VIII se finaliza el presente trabajo de investigación con las conclusiones y recomendaciones.

Capítulo II. Aspectos fundamentales de la durabilidad

Actualmente, el concreto armado es el sistema constructivo más utilizado a nivel mundial, debido a sus propiedades que hoy en día son fundamentales para cualquier tipo de edificación e infraestructura. Una de ellas es la durabilidad, que permite a las estructuras de concreto armado cumplir con la función para la cual están diseñadas con un grado razonable de seguridad, de manera que tengan un comportamiento adecuado en las condiciones normales de servicio durante su vida útil. Sin embargo, debido a diversos factores internos y externos, se originan patologías que dañan principalmente la interacción acero-concreto de este sistema constructivo, por lo que su durabilidad se ve afectada. En base a ello, en este capítulo se analizan los factores que intervienen en el desempeño de la durabilidad y que, por tanto, determinan el comportamiento de las estructuras durante su vida útil.

2.1 Durabilidad del concreto reforzado

En los últimos años, el término “durabilidad” ha ido cobrando cada vez más importancia en el sector de la construcción debido al deterioro prematuro de las estructuras de concreto reforzado y a las sumas millonarias que significan su mantenimiento o la reconstrucción de las mismas. Por ello, una de las medidas adoptadas contra esta problemática ha sido incluir normas que garanticen la calidad de los materiales empleados en la construcción para optimizar su uso y así obtener estructuras con mayor durabilidad. Sin embargo, muchas de estas estructuras se encuentran expuestas a ambientes muy agresivos, lo que genera que su durabilidad se vea afectada, disminuyendo el tiempo de vida útil para la cual fueron diseñadas. Bertolini, Elsener, Pedferri y Podler (2004) [25] proponen una definición para este concepto de vida útil de una estructura como el periodo en el que conserva los requisitos del proyecto sobre seguridad, funcionalidad y estética, sin costos inesperados de mantenimiento.

Según Portland Cement Association (2004) [32], la durabilidad del concreto reforzado es la capacidad que tiene para resistir la acción del ambiente, el ataque químico y la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Sin embargo, Muñoz y Mendoza (2012) [38] destacan que la durabilidad, además de representar la capacidad de las estructuras para conservar inalteradas sus condiciones físicas y químicas durante su vida útil, también comprende la degradación de sus materiales por diferentes efectos de cargas y sollicitaciones a las que se encuentran sometidas, pero para las cuales fueron previstas en su diseño estructural. En consecuencia, la normativa española sobre cálculo y seguridad en estructuras de concreto reforzado -Instrucción de Hormigón Estructural (EHE, 2008) [35]- ha incluido el concepto de Estado Límite de Durabilidad en el diseño estructural de toda edificación e infraestructura, además del Estado Límite Último y del Estado Límite de Servicio ya establecidos anteriormente. Esto con la finalidad de considerar todas las posibles situaciones en las que, de ser superadas, la estructura no pueda cumplir alguna de sus funciones para las que ha sido proyectada.

El Estado Límite de Durabilidad consiste en garantizar que la degradación de las características del concreto reforzado debido a acciones físicas y químicas, diferentes a las cargas y acciones del análisis estructural, se desarrolle bajo límites aceptables para seguir considerando a la estructura 'durable'. Para ello, la norma establece identificar el tipo de ambiente en el que las estructuras se encontrarán expuestas y determinar a partir de él, la agresividad a la que serán sometidas. Una vez reconocidos los agentes agresivos, se adoptan medidas de protección para extender el tiempo en el que alcancen a producir una degradación significativa en el concreto reforzado, y en base a este valor se define los años de vida útil de la estructura. Asimismo, para que el diseño de vida útil por cargas y por durabilidad conjuntamente proyecte estructuras con una relación de costo/beneficio rentable, la vida útil nominal de las mismas no puede ser inferior a lo indicado en la Tabla 1, según la recomendación presentada en la EHE-08 [35].

Tabla 1
Vida útil nominal de los diferentes tipos de estructura

Tipo de estructura	Vida útil nominal
• Estructuras de carácter temporal	Entre 3 y 10 años
• Elementos reemplazables que no forman parte de la estructura principal (por ejemplo, barandillas, apoyos de tuberías)	Entre 10 y 25 años
• Edificios (o instalaciones) agrícolas o industriales y obras marítimas	Entre 15 y 50 años
• Edificios de viviendas u oficinas, puentes u obras de paso de longitud total inferior a 10 metros y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media	50 años
• Edificios de carácter monumental o de importancia especial	100 años
• Puentes de longitud total igual o superior a 10 metros y otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta	100 años

Nota. Tomado de “La durabilidad en las estructuras de concreto reforzado desde la perspectiva en la norma española para estructuras de concreto,” por F. Muñoz y C. J. Mendoza, 2012, *Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo*, 4, p. 63 [38].

Pese a estas exigencias en la etapa de diseño para garantizar la durabilidad, el desempeño real de una estructura construida no resulta igual al desempeño proyectado de la misma, pues la calidad del concreto reforzado depende de diversos factores como las características y variabilidad de cada uno de sus componentes, la interacción entre los mismos, y los métodos de dosificación, mezclado, transporte, colocación, compactación y curado del concreto (PCA, 2004) [32]. Esto es uno de los problemas potenciales en la determinación directa de la durabilidad, pues está sujeta a la influencia de numerosas variables que hace que el concreto reforzado sea un sistema constructivo heterogéneo y anisotrópico. Por ello, para garantizar que la durabilidad de una

estructura se mantenga dentro de un rango aceptable y de acuerdo a su diseño, es preciso establecer un determinado nivel de control de calidad en actividades como: (a) control de las materias primas del concreto (cemento, agregados, agua y aditivos químicos), (b) diseño de la mezcla, (c) control del concreto en estado fresco y endurecido y, (d) control de los procesos de mezcla, transporte, colocación, compactación y curado (Vidaud E. & Vidaud I., 2014) [50].

Si bien es cierto que el diseño por durabilidad implica un alto grado de complejidad y un costo inicial mayor con respecto al diseño por resistencia mecánica, el concreto que resulta a partir de él es resistente y ‘durable’, resultando económico a comparación del concreto ‘barato’ que puede ser resistente antes sus solicitaciones de carga, pero ‘no durable’ a largo plazo e incluso costoso por el mantenimiento requerido en el futuro. Esto se resume en la Figura 1, a partir de la cual se observa que el costo por no considerar la durabilidad es mayor al que se invierte si se le considera, pues un buen diseño que toma en cuenta los riesgos del ambiente no es más caro que el diseño que los ignora (Taylor, 2002) [46].

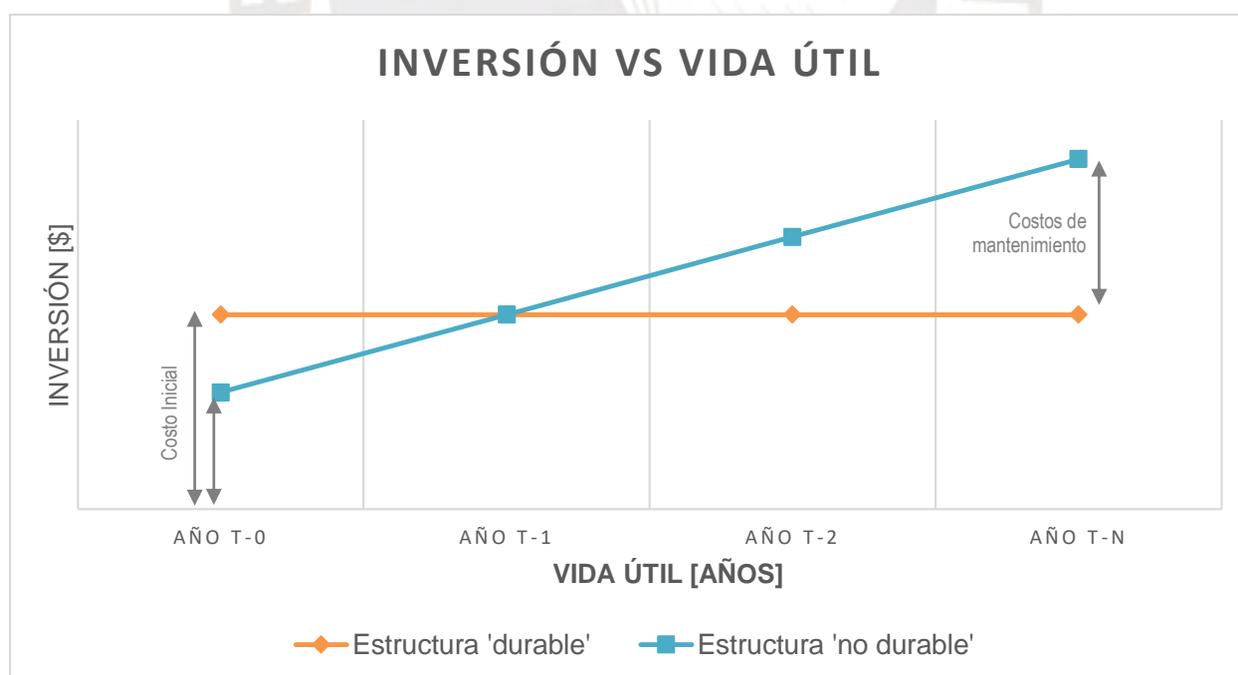


Figura 1. Comparación inversión vs tiempo entre una estructura ‘durable’ y ‘no durable’
Adaptado de *Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico*, por O. Hernández & C. J. Mendoza, 2005, México D.C., México [30].

2.2 Factores externos que afectan la durabilidad del concreto

La durabilidad del concreto reforzado está sujeta a la influencia de numerosas variables que pueden ser clasificadas en dos categorías: agentes externos, los cuales se encuentran en el medio ambiente o se deben a condiciones de servicio; y agentes internos, que varían en función de la calidad del concreto reforzado (Hernández & Mendoza, 2005) [30]. Sin embargo, la magnitud del daño producido en el concreto resulta del efecto combinado entre el ataque del agente activo al que se encuentra expuesto y la calidad del concreto que determina su grado de protección frente a él. A continuación, se detallan los principales agentes externos que afectan la durabilidad del concreto reforzado:

a. Ciclos de hielo-deshielo

Este es el factor de intemperismo potencialmente más destructivo, debido al congelamiento del agua al interior del concreto expuesto a temperaturas bajas que disminuyen por debajo de cero (Páez, Leal, & Restrepo, 2009) [40]. El congelamiento del agua produce presiones osmótica e hidráulica en las capilaridades y poros de la pasta de cemento y en el agregado que, al superar su resistencia a tracción, la cavidad se dilata y se rompe. Este deterioro es visible en forma de fisuras, descascaramiento y desmoronamiento (PCA, 2004) [32].

b. Carbonatación

Proceso por el cual el CO_2 penetra en el concreto y reacciona con los hidróxidos, tales como los hidróxidos de calcio para formar carbonatos (Verbeck, 1958) [49]. El deterioro se origina principalmente por la caída abrupta del pH alcalino de la solución-poro del concreto, el cual es necesario para la protección de los refuerzos contra la corrosión. Asimismo, la carbonatación puede ocasionar aumentos en los esfuerzos de tracción y compresión de las zonas afectadas, provocando microfisuración en la estructura interna del concreto armado (PCA, 2004) [32].

c. Corrosión

La corrosión en las estructuras de concreto armado se produce debido a la presencia de iones de cloruros que penetran y destruyen la película de pasivación que protege al acero de refuerzo generada por el ambiente de pH alto en el concreto (Beauperthuy & Scannone, 2005) [44]. El deterioro a causa de este agente externo se debe principalmente a la pérdida de sección del acero de refuerzo que afecta directamente la adherencia acero-concreto, lo que ocasiona la disminución de la capacidad resistente de la estructura ante distintas solicitaciones.

d. Ataque por sulfatos

La presencia de sulfatos en el suelo y en el agua puede atacar y destruir estructuras de concreto armado, debido a las reacciones que desencadenan con los compuestos hidratados de la pasta de cemento. El daño se genera como consecuencia de las presiones que estas reacciones originan, pues provocan un incremento en el volumen de sólidos y por tanto la fractura de la pasta de cemento, ocasionando la desintegración del concreto debido a la pérdida de cohesión y a la disminución de su resistencia (Garzón, 2013) [27].

Sin embargo, el grado de deterioro que estos agentes externos y otros causan en el concreto reforzado, afectando su durabilidad, depende del nivel de protección que le proporcione la calidad de su estructura interna, la cual obedece a la influencia de distintos factores.

2.3 Factores internos que determinan la calidad del concreto

Si bien no se puede limitar factores medioambientales a los que se encuentran expuestas las estructuras, es posible garantizar su protección a través de la calidad del concreto, pues un monitoreo continuo en cada una de las etapas que conforman su obtención y colocación hace posible la disminución del grado de deterioro que estos agentes externos puedan causar a la durabilidad del concreto reforzado. Por ello, el control de calidad es imprescindible durante la evaluación de los materiales, el diseño de la mezcla de concreto y el procedimiento constructivo:

a. Selección de materiales

El concreto es un material que se obtiene de la mezcla de cemento, agua, agregados y aditivos químicos, por lo que es necesario evaluar la calidad de cada uno de estos componentes y su interrelación, ya que son en primera instancia los determinantes del comportamiento de la estructura. En consecuencia, una óptima selección de materiales se realiza en base a las características físicas y químicas obtenidas mediante ensayos normalizados para controlar que puedan trabajar eficientemente de manera conjunta en la estructura que se desee. Además, es importante considerar que el costo de los componentes de un buen concreto no se diferencia del costo de los mismos componentes de un concreto pobre (Hernández & Mendoza, 2005) [30].

En la Figura 2, se esquematiza las proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto, de donde se puede observar que el cemento es el ingrediente activo que interviene en menor cantidad, pero la selección del tipo más adecuado resulta determinante para la durabilidad del concreto. Asimismo, los agregados, que ocupan hasta el 75% del volumen del concreto, deben cumplir los requisitos granulométricos establecidos por norma para garantizar adecuadas propiedades del concreto endurecido. De igual forma, la composición del agua y de los agregados deben ser evaluadas para verificar que el contenido de sustancias dañinas no exceda los límites especificados, pues esto permite prevenir el deterioro del concreto.

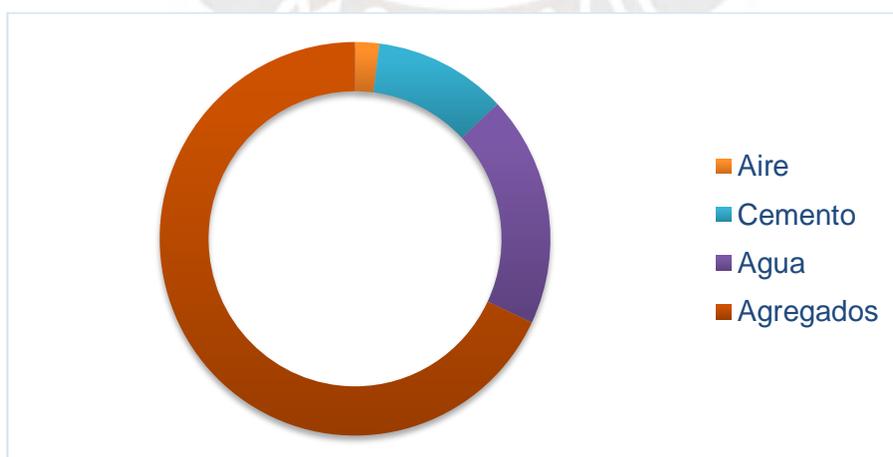


Figura 2. Proporción de los componentes del concreto en volumen absoluto
Adaptado de *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*, por E. Pasquel, 1998, Lima, Perú [41].

b. Diseño de la mezcla de concreto

La etapa de diseño de la mezcla de concreto consiste en la obtención de un material que satisfaga de forma eficiente los requerimientos particulares de un determinado proyecto, pues para cada uno existen condicionantes ambientales, de diseño estructural, de materiales, mano de obra, equipo, etc., que necesariamente requieren una solución original en lo que se refiere al diseño de mezcla (Pasquel, 1998) [41]. El diseño de una mezcla no solo tiene como propósito alcanzar un valor específico de resistencia a compresión del concreto (f'_c), sino también se enfoca en conseguir un adecuado comportamiento del concreto en estado plástico según los requerimientos particulares de cada estructura. Un control adecuado de las características del concreto en estado plástico, como su trabajabilidad y consistencia, permite prevenir el desarrollo de patologías en el concreto endurecido, pues de esta forma es posible optimizar su colocación y compactación evitando la presencia de futuras cangrejeras y fisuras por contracción plástica en la estructura.

Uno de los parámetros básicos del diseño de mezclas de concreto es la relación agua/cemento, pues está ligado a una gran gama de sus propiedades, tanto en estado fresco como endurecido. Estos dos componentes interactúan de la siguiente manera: conforme más agua se adicione, aumenta la fluidez de la mezcla y, por tanto, su trabajabilidad y plasticidad, lo cual presenta grandes beneficios para su colocación; pero también comienza a disminuir la resistencia debido al mayor volumen de espacios creados por el agua libre (Guevara *et al.*, 2012) [29]. En base a ello, una baja relación agua/cemento resulta fundamental para la durabilidad del concreto, pues incrementa su compacidad, por lo que tendrá menos cantidad de poros interconectados, reduciendo la capacidad de ingreso de agentes agresivos en la estructura que generen su deterioro.

A continuación, en la Figura 3 se muestra la influencia de la relación agua/cemento en el revenimiento del concreto en estado fresco y en la resistencia a compresión alcanzada en estado endurecido, ambos términos relacionados directamente con la durabilidad del concreto reforzado.

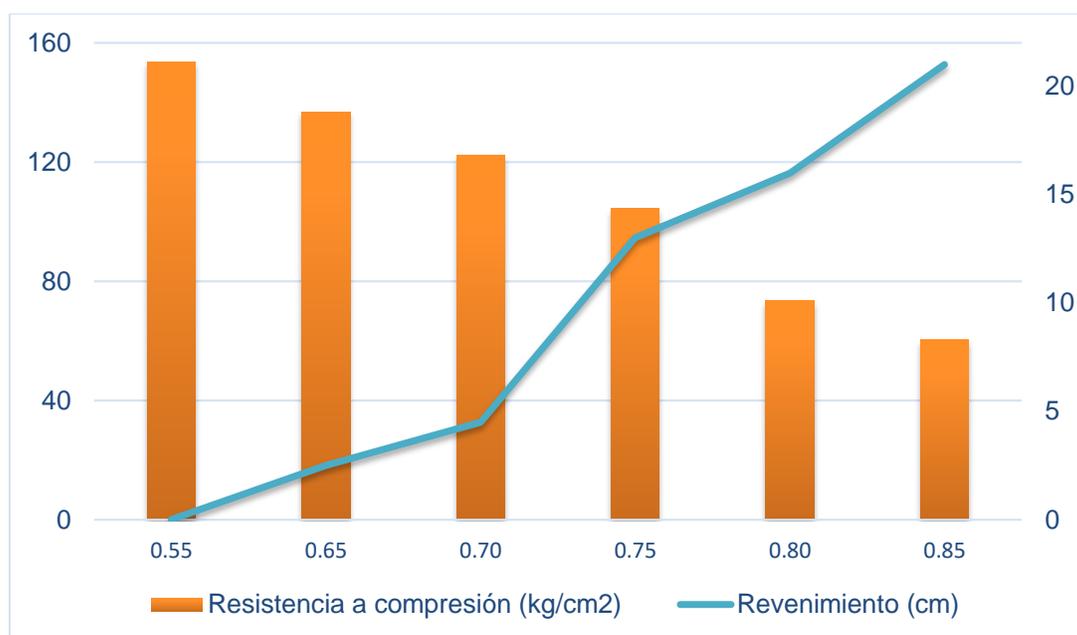


Figura 3. Influencia de la relación w/c en la resistencia a compresión y en el revenimiento
Adaptado de *Efecto de variación agua/cemento en el concreto*, por Guevara et al., 2012, Costa Rica [29].

c. Procedimientos constructivos

Además del diseño de la mezcla de concreto, los procesos de mezclado, transporte, colocación, compactación y curado son factores que intervienen en la calidad del concreto, pues la adecuada ejecución de cada uno de estos procedimientos contribuyen al desarrollo de las propiedades del concreto endurecido. Por ello, deben ser ejecutados por mano de obra calificada y en base a procedimientos normalizados, ya que esto garantiza el ahorro de costos por mantenimiento y reparaciones a largo plazo, haciendo posible el desempeño por durabilidad de la estructura de concreto reforzado.

La compactación y el curado del concreto son los procesos más influyentes sobre las propiedades del concreto endurecido, pues mediante éstos, el concreto logra desarrollar mayor resistencia, impermeabilidad, resistencia a abrasión, estabilidad dimensional y resistencia a congelación-deshielo, propiedades que garantizan mayor durabilidad (PCA, 2004) [32]. La compactación se realiza con la finalidad de eliminar la concentración de piedras, agujeros y aire atrapado, por lo que previene la presencia de cangrejeras en la estructura, las cuales son puntos de

fácil acceso para los agentes externos hacia la estructura interna causando deterioro. Asimismo, el curado controla la pérdida de agua del concreto, evitando la retracción de las superficies y, por lo mismo, su fisuración por contracción plástica, patología que también promueve el ingreso de factores dañinos a la estructura.

A continuación, en la Figura 4 se muestra el efecto del tiempo de curado húmedo sobre el desarrollo de la resistencia del concreto y, por ende, sobre su durabilidad.

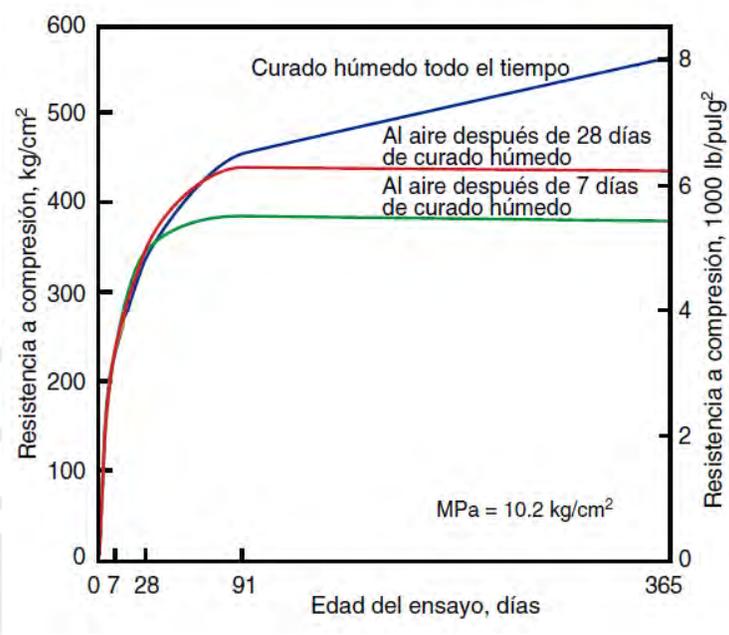


Figura 4. Efecto del tiempo de curado sobre el desarrollo de la resistencia del concreto
Tomado de *Flexure and Tension Tests of Plain Concrete (Ensayos de Flexión y Tensión del Concreto Simple)*, por Gonnerman & Shuman, 1928, Illinois, EEUU [28].

Finalmente, además de ejecutar correctamente estos procedimientos constructivos, es fundamental una adecuada puesta en obra, asegurando la colocación de las armaduras respetando las distancias mínimas de recubrimiento para garantizar la protección de la armadura. Es por ello que existen normas internacionales donde se especifican espesores adecuados de acuerdo a la agresividad del ambiente, debido a la importancia del recubrimiento en la durabilidad del concreto reforzado (CYTED, 1997) [48].

Capítulo III. Corrosión del acero de refuerzo

La importancia del acero de refuerzo en una estructura de concreto armado radica en su capacidad de conferir propiedades mecánicas como la resistencia a tracción y a flexión, mientras que el concreto aporta resistencia a la compresión e inercia química, proporcionando en conjunto seguridad estática y durabilidad. Muchas veces, el comportamiento de una estructura se ve afectado por la corrosión, que es un fenómeno común que causa el deterioro prematuro de los refuerzos. Sin embargo, las estructuras de concreto provenientes de buenos procesos de fabricación y de buena calidad proporcionan una excelente vida de servicio al acero embebido, con un riesgo de corrosión mínimo debido al nivel aceptable de protección química y física que le provee el concreto bajo condiciones ambientales específicas (Pradhan y Bhattacharjee, 2009) [43].

3.1 Naturaleza porosa y alcalina del concreto

La estructura del concreto endurecido consta de dos fases, pasta de cemento y agregados, sin embargo, la fase con mayor importancia desde el punto de vista electroquímico es la pasta de cemento (estructura porosa), pues los agregados son considerados impermeables y con una resistividad infinita, por lo que no son conductores, a diferencia de la pasta de cemento donde sí ocurren procesos de transporte de carga y de masa (Peña, Estupiñán, Vásquez, & Mejía, 2011) [42]. En la Figura 5 se observa la distribución del tamaño de poros en el concreto, clasificados en poros de gel que se originan a partir del crecimiento del gel C-S-H, poros capilares, y huecos que se forman debido a la mala compactación del concreto (Kitowski & Wheat, 1997) [31].

Los poros más importantes para efecto de la corrosión son los poros capilares, pues forman una red de poros interconectados entre sí (ver Figura 6), lo que facilita procesos de transporte de carga y de masa de agentes externos. La formación de este tipo de poros depende de la relación w/c del concreto, pues la estructura porosa se forma a partir de los espacios que deja el agua que no consigue hidratar las partículas de cemento y que posteriormente se evapora, ya que la relación

w/c necesaria para la hidratación total es solo 0.24 (Maruya, Hsu, Takeda, & Tangtermsirikul, 2003) [33]. Sin embargo, debido a la importancia y necesidad de ciertas propiedades del concreto en estado fresco, el rango de las dosificaciones comunes del concreto varía entre 0.50 y 0.70, quedando cantidad de agua extra que al evaporarse forma una red de poros (Pasquel, 1998) [41].

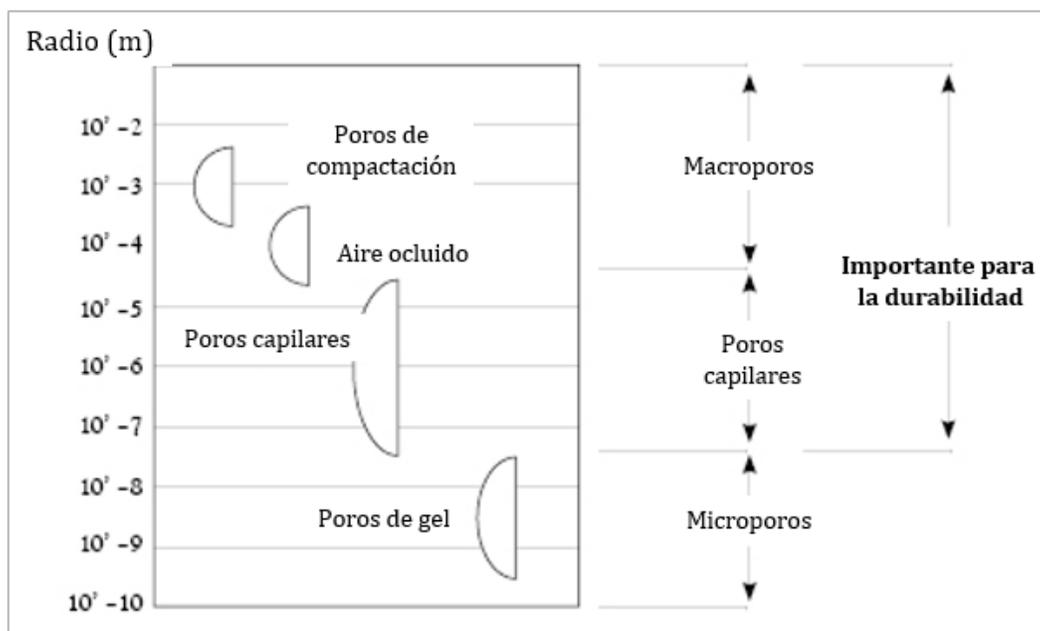


Figura 5. Distribución del tamaño de poros en el concreto

Adaptado de *El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado* (Publicación Técnica No. 182), por Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte. (2001) [45].

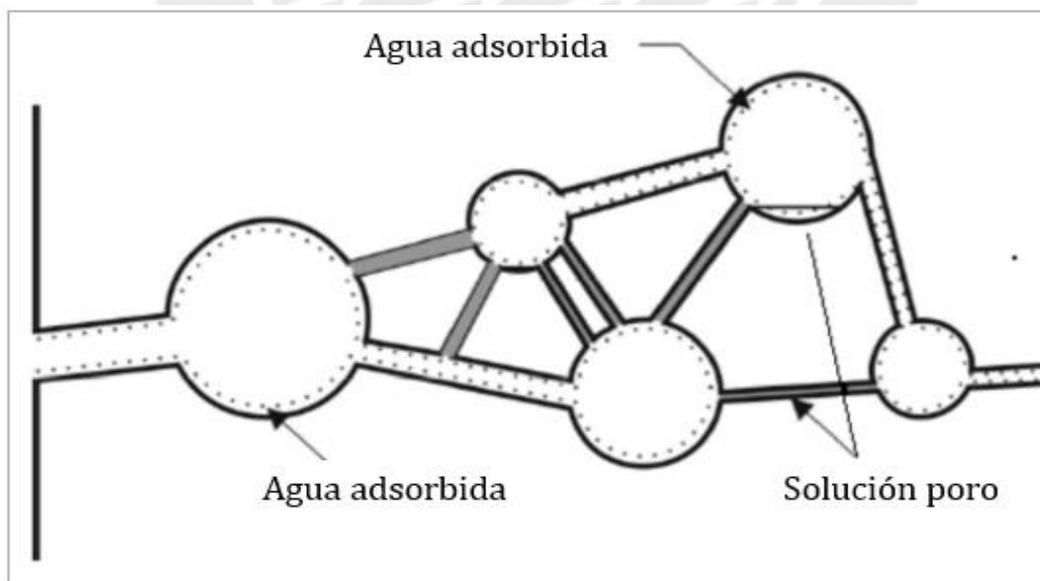
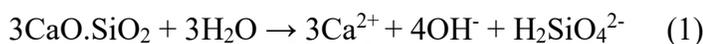


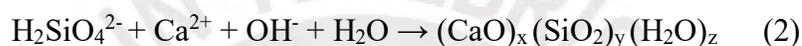
Figura 6. Red de poros capilares en el concreto endurecido

Tomado de *Comportamiento Electroquímico del Acero Embebido del Concreto* (Tesis de maestría), por Moreno, E. (2005), ESIQIE – IPN, México D.F., México [37].

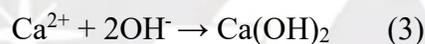
Si bien el concreto constituye, de forma inherente, una estructura porosa que posibilita el ingreso de agentes externos, constituye también una protección para el acero de refuerzo, debido a su ambiente de pH alto que promueve la pasivación y formación de una película de protección de óxido sobre el acero, la cual retarda su corrosión. El ambiente alcalino de la red de poros del concreto endurecido se debe, principalmente, al hidróxido de calcio Ca(OH)_2 (Portlandita) que se forma durante la hidratación de los silicatos del cemento (Melchers & Li, 2006) [34]:



Disolución del cemento al contacto con el agua



Gel C-S-H



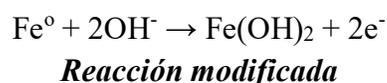
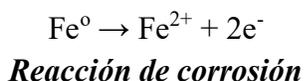
Portlandita

Después de estas reacciones, los álcalis solubles (sodio y potasio), propios de la composición química del cemento, quedan en solución en forma de hidróxidos, los cuales contribuyen también al pH alcalino de la fase acuosa contenida en los poros, colocándolo en el extremo más alcalino, valores entre 12 y 14, teniendo como resultado la formación de una capa pasiva que protege la superficie del acero embebido en el concreto (Moreno, 2005) [37].

3.2 Pasividad del acero de refuerzo

La pasividad del acero de refuerzo es atribuida a la formación de una película protectora sobre su superficie, la cual no detiene el proceso corrosivo, pero sí lo retarda, ya que disminuye la velocidad de corrosión. Esta película pasiva, compuesta por iones hidroxilo OH^- adheridos naturalmente alrededor de la superficie del metal, actúa como una barrera entre el concreto y el acero de refuerzo, evitando la adhesión de moléculas de agua sobre la superficie del metal. Asimismo, estos iones hidroxilo OH^- modifican la reacción anódica de corrosión, impidiendo la

liberación de iones ferrosos Fe^{2+} y formando productos de corrosión no solubles que protegen la superficie del acero (Almusallam, 2001) [2]:



Este hidróxido se adhiere a la superficie del acero, formando una capa pasiva inicial, que posteriormente se oxidará, transformándose en productos más estables, principalmente en magnetita Fe_3O_4 (capa pasiva interna) y maghemita $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (capa pasiva externa), los cuales mantienen protegido al acero de refuerzo (Moreno, 2005) [37].

Sin embargo, el ingreso de iones cloruro a través de la estructura porosa del concreto por difusión, puede inducir la ruptura localizada o uniforme de esta capa protectora y generar la corrosión del acero. Ello se produce cuando se acumula una cantidad crítica de Cl^- en la superficie del acero, denominada “umbral de cloruros”, que varía en función de la calidad del concreto, de la humedad ambiental y del estado de carbonatación (ver Figura 7). Los iones Cl^- desplazan a los iones OH^- de la superficie del metal, principalmente en sitios positivos, causando la disolución localizada de la capa protectora y, por ende, cambiando el estado de corrosión de pasivo a activo.

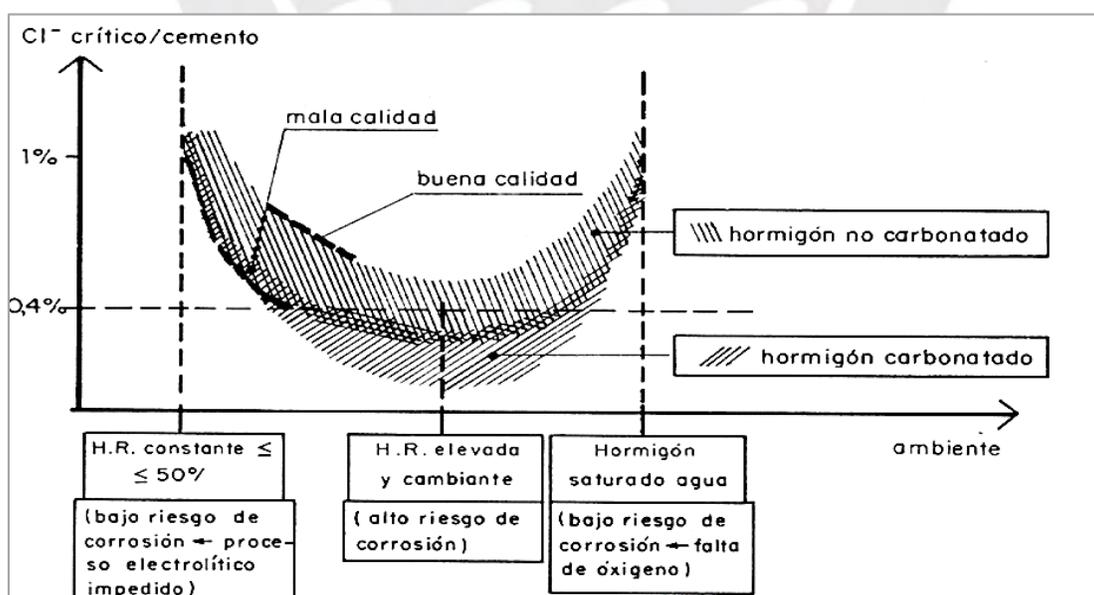


Figura 7. Contenido crítico de cloruros por peso de cemento

Adaptado de *Manual de Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras*, por S. Feliú y C. Andrade, Consejo Superior de Investigaciones Metalúrgicas. (1989) [26].

La Figura 8 resume la vida útil de la estructura frente al fenómeno de corrosión, y se puede dividir el tiempo de vida útil en dos periodos: iniciación y propagación. El periodo de iniciación es el tiempo que tardan los cloruros en llegar hasta el acero de refuerzo y cambiar su estado de corrosión de pasivo a activo; y el periodo de propagación es el tiempo en el que el acero se corroe libremente hasta que llega a un grado de deterioro inaceptable de seguridad y funcionalidad; a partir de este punto, la estructura ingresa a su vida residual (Bertolini et al., 2004) [25].



Figura 8. Iniciación y propagación de corrosión en una estructura – Modelo de Tuutti
Adaptado de *Corrosion of Steel in Concrete*, por L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedferri y R. Polder, Alemania [25]

3.3 Corrosión del acero de refuerzo

Según la ISO 8044-20 [39], la corrosión es la interacción fisicoquímica, generalmente de naturaleza electroquímica, entre un metal y su entorno, que produce modificaciones en las propiedades del metal, y que puede conducir a una degradación significativa de la función del metal, del medio (entorno), o del sistema del que ambos forman parte. En el concreto reforzado, sistema que está compuesto por barras de acero corrugado embebidas en concreto, la corrosión se produce en medio acuoso, degradando este sistema mediante procesos de naturaleza electroquímica, debido a la formación de una celda electroquímica donde se produce transferencia de carga a partir de dos semi-reacciones químicas (ver Figura 9).

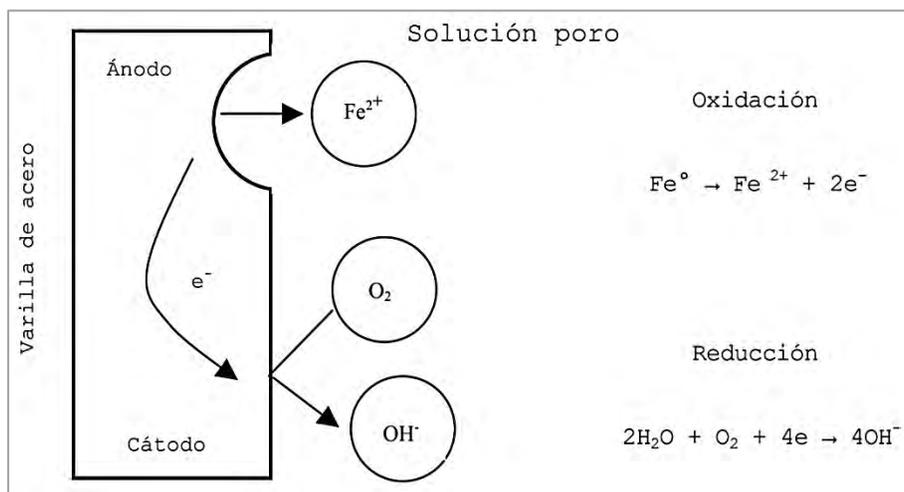


Figura 9. Celda electroquímica de la corrosión en medio alcalino

Tomado de *Comportamiento Electroquímico del Acero Embebido del Concreto* (Tesis de maestría), por Moreno, E. (2005), ESIQIE – IPN, México D.F., México [37]

Una celda electroquímica es un sistema que está conformado por dos electrodos: el ánodo, en el que se lleva a cabo la oxidación; y el cátodo, donde se efectúa la reducción. En el concreto armado, la energía que se transfiere en forma de electrones del ánodo al cátodo se produce a través de la misma barra de acero, debido a que se forman sitios energéticamente desiguales en la superficie metálica por la existencia de heterogeneidades en la interfase entre el conductor eléctrico (acero de refuerzo) y el conductor iónico (solución poro del concreto) (Bertolini et al., 2004) [25].

Para que este movimiento de electrones se produzca es necesaria la presencia simultánea de oxígeno y humedad en el concreto, porque cuando la humedad relativa del ambiente es muy baja, el concreto se seca, dejando de comportarse como electrolito y medio de transporte de iones cloruro. Por otro lado, la presencia de oxígeno es necesaria para las reacciones catódicas, siendo su concentración en el concreto una variable en función de la saturación de los poros, pues al ser un gas que penetra el concreto por difusión, se difunde más rápidamente a través de poros abiertos que a través de poros saturados de agua. De acuerdo a lo anterior, siempre y cuando se den todas estas condiciones, se producirá el fenómeno de corrosión.

Como resultado de este proceso de naturaleza electroquímica, se produce la siguiente reacción anódica como una reacción de corrosión:



Reacción de corrosión

Estos iones producidos pasan directamente a la solución como especies solubles, dejando de contribuir con el crecimiento de la capa pasiva, lo que ocasiona su disolución y su cambio a estado activo de corrosión. Esta pérdida de protección a causa de la disolución de la capa pasiva, significa un aumento exponencial de la velocidad de corrosión, debido al aumento de la concentración de estos iones solubles de Fe en la solución poro del concreto que, al llegar a su punto de saturación, forman precipitados (productos de corrosión) que se acumulan alrededor del acero de refuerzo. Estos productos de corrosión ejercen altas presiones al interior del concreto, causando la formación de fisuras y fracturas en la zona de la interfase.

El deterioro por corrosión se debe a dos acciones simultáneas que dañan la interacción acero-concreto: la acumulación de productos de corrosión en la superficie de la barra de acero y la reducción de su diámetro. Las consecuencias hasta alcanzar el estado mínimamente aceptable de la estructura, se centran además del daño a su capacidad de servicio o su condición externa, también en su desempeño estructural (ver Figura 10) y, por tanto, en su seguridad.

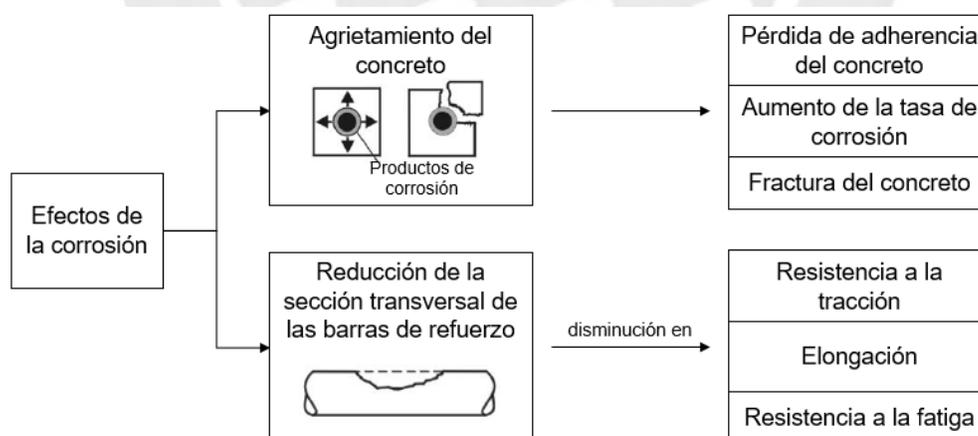


Figura 10. Consecuencias estructurales de la corrosión en estructuras de concreto armado
Adaptado de *Corrosion of Steel in Concrete*, por L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedferri y R. Polder, Alemania [25]

3.4 Inhibidores de corrosión

En base a lo descrito en el Capítulo 2, el concreto reforzado ha demostrado ser un sistema constructivo excelente en términos de desempeño estructural y durabilidad, siempre y cuando su diseño y la calidad del concreto sean considerados adecuadamente. Sin embargo, muchas estructuras están expuestas a entornos muy agresivos, en los cuales es necesario aplicar medidas de protección adicionales, como el uso de inhibidores de corrosión, los cuales son compuestos químicos agregados como aditivos al concreto fresco, con el objetivo de garantizar la durabilidad de las estructuras de concreto reforzado.

Según la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE, 2010) [3], los aditivos inhibidores de corrosión pueden clasificarse según su mecanismo de acción:

(a) Inhibidores anódicos: actúan sobre la reacción anódica del proceso de corrosión, favoreciendo la formación de una película pasivadora. Debido a sus propiedades oxidantes, este tipo de inhibidores estabilizan la película pasiva mediante su capacidad de oxidar iones ferrosos (Fe^{2+}) a iones férricos (Fe^{3+}) poco solubles. Entre ellos destacan los nitritos, nitratos y cromatos.

(b) Inhibidores catódicos: actúan sobre la reacción catódica. Se incluyen en este punto las sales de zinc y magnesio.

(c) Inhibidores de adsorción: son compuestos orgánicos polares capaces de adsorberse sobre la superficie del metal a proteger, especialmente en zonas catódicas. Se pueden destacar las aminas, aminoalcoholes y aminocarboxilatos.

En la Tabla 2, se resumen los principales tipos de aditivos inhibidores de corrosión de los refuerzos embebidos en concreto, con sus limitaciones y eficacia inhibidora.

Tabla 2
Clasificación de los aditivos inhibidores de corrosión

Clasificación	Limitaciones	Eficacia inhibidora
Anódicos	Riesgo de localizar la corrosión si la cantidad es insuficiente	Alta. Tomado como referencia.
Catódicos	Limitada solubilidad en agua y medio alcalino	Buena. Mejora cuando se emplea junto con nitritos.
De adsorción	Limitada solubilidad en agua	Alta, al actuar sobre ambas reacciones.

Nota. Tomado de “Manual de tecnología de aditivos para hormigón,” de ACHE, 2010, *Aditivos inhibidores de hormigón*, 16, p. 113 [3].

La eficacia de los aditivos inhibidores de corrosión se puede evaluar mediante técnicas electroquímicas, a partir de distintos métodos de ensayos no destructivos y destructivos. Entre los ensayos no destructivos, las técnicas electroquímicas más comunes son la medición del potencial de corrosión y la estimación de la velocidad de corrosión.

A. Medición de potencial de corrosión

Esta técnica electroquímica proporciona información cualitativa sobre el riesgo de corrosión, mediante la cual se puede establecer límites para los que la probabilidad de corrosión es elevada. La interpretación de las medidas del potencial de corrosión se suele hacer calificando el riesgo según el criterio establecido por la norma ASTM C876-15 [19] (ver Tabla 3):

Tabla 3
Interpretación de mediciones de potencial

Potencial de corrosión, E_{corr} (mV vs CSE)	Riesgo de corrosión
$E > -200$	< 10%
$-200 > E > -350$	Incierto
$E < -350$	> 90%

Nota. Adaptado de ASTM C876-15 “Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete” [19].

Debido a que la acción inhibitoria afecta al potencial del acero de refuerzo, el desplazamiento del potencial de corrosión como consecuencia de la presencia de un inhibidor de corrosión, puede ayudar a conocer el mecanismo de acción del inhibidor. El desplazamiento hacia potenciales más negativos puede sugerir que el inhibidor se deposita y actúa selectivamente en los sitios catódicos, mientras que un desplazamiento hacia potenciales más positivos estaría indicando la actuación del inhibidor sobre los sitios anódicos del acero (Bertolini et al., 2004) [25].

B. Estimación de la velocidad de corrosión

Esta técnica electroquímica proporciona información cuantitativa sobre la velocidad o intensidad de corrosión (i_{corr}) de la pérdida del metal por unidad de superficie y tiempo. Las unidades básicas son $\text{g/cm}^2 \cdot \text{día}$, aunque la forma de definirla electroquímicamente es en $\mu\text{A/cm}^2$ o, transformando este dato a partir de la densidad del metal, en unidades de penetración (mm/año).

En las recomendaciones del comité RILEM TC 154-ECR [47] se establecen los criterios indicados en la Tabla 4 para estimar el nivel de corrosión de una estructura.

Tabla 4
Criterios para estimar el nivel de corrosión

Intensidad de corrosión i_{corr} ($\mu\text{A/cm}^2$)	Velocidad de corrosión V_{corr} (mm/año)	Nivel de corrosión
≤ 0.1	≤ 0.001	Despreciable
0.1 – 0.5	0.001 – 0.005	Bajo
0.5 – 1	0.005 – 0.010	Moderado
> 1.0	> 0.010	Alto

Adaptado de “*Recommendation on polarization resistance measurements*”, *Materials and Structures, in press* (RILEM TC 154-ECR),” de The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures [47].

Capítulo IV. Materiales

En el presente capítulo, se describe la composición de los insumos utilizados en la preparación de las diferentes mezclas de concreto, cuyos diseños difieren en función a dos variables: cantidad de cloruro de sodio y tipo de aditivo inhibidor de corrosión. Asimismo, se detallan los materiales utilizados en el armado de las probetas: barras de acero corrugado y barras de acero inoxidable; así como la pintura epóxica usada en la adaptación de las barras de acero corrugado para las mediciones del proceso corrosivo, y el desmoldante aplicado en los encofrados.

4.1 Insumos para las mezclas de concreto

Los insumos base utilizados en la preparación de las mezclas de concreto fueron: (a) agua, (b) cemento, (c) agregado grueso y (d) agregado fino. Con el propósito de reproducir el concreto utilizado actualmente en la construcción, se definió agregar un aditivo reductor de agua en todas las mezclas de concreto para garantizar una adecuada trabajabilidad que permita la compactación representativa de las muestras. Se adicionó también cloruro de sodio en las mezclas de concreto, con el objetivo de acelerar el proceso corrosivo de las barras de acero de refuerzo y evaluar la efectividad del mecanismo de acción de cada uno de los aditivos inhibidores de corrosión.

4.1.1 Agua

Se verificó su composición en base al límite aceptable de cloruros establecido en la norma ASTM C1602M-18 [21], el cual se muestra en la Tabla 5, con el objetivo de controlar el contenido de cloruros en todas las mezclas de concreto, según los diseños realizados en la etapa preliminar.

Tabla 5
Límites químicos para agua de mezcla

Concentración máxima en agua de mezcla	Límites
Cloruro como Cl ⁻ , ppm	
1 en concreto pretensado, cubiertas de puentes, o designado de otra manera	500
2 otro concreto armado en ambientes húmedos o que contenga incrustaciones de aluminio o metales diferentes o con formas de metal galvanizado de sujeción	1000

4.1.2 Cemento

Se utilizó cemento Portland tipo I, el cual es de uso común y general para las estructuras de concreto armado. En el diseño de las mezclas de concreto, se consideró el valor de 3.15 gr/cm^3 para su peso específico, de acuerdo a lo especificado en su ficha técnica. Asimismo, se verificó el máximo contenido de cloruros, siendo igual a 0.02%, según la norma ASTM C150M-20 [14].

4.1.3 Agregado grueso

Para determinar las propiedades físicas y químicas del agregado grueso, se realizaron diversos ensayos estandarizados según las normas indicadas en la Tabla 6:

Tabla 6

Normas utilizadas para propiedades físicas del agregado grueso

Ensayo	Norma
Análisis granulométrico de agregado fino y grueso	ASTM C136-19 [12]
Peso específico y absorción del agregado grueso	ASTM C127-15 [10]
Peso unitario de los agregados	ASTM C29M-17a [6]
Humedad natural de los agregados	ASTM C566-19 [18]

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7, así como la gráfica de su curva granulométrica, en la Figura 11:

Tabla 7

Resumen de características físicas del agregado grueso

Agregado Grueso	
T.M.N.	1/2"
M.F.	6.15
P.U. comp. [g/cm^3]	1.61
P.U. suelto [g/cm^3]	1.51
P.E. [g/cm^3]	2.76
wa [%]	1.08
wo [%]	0.51

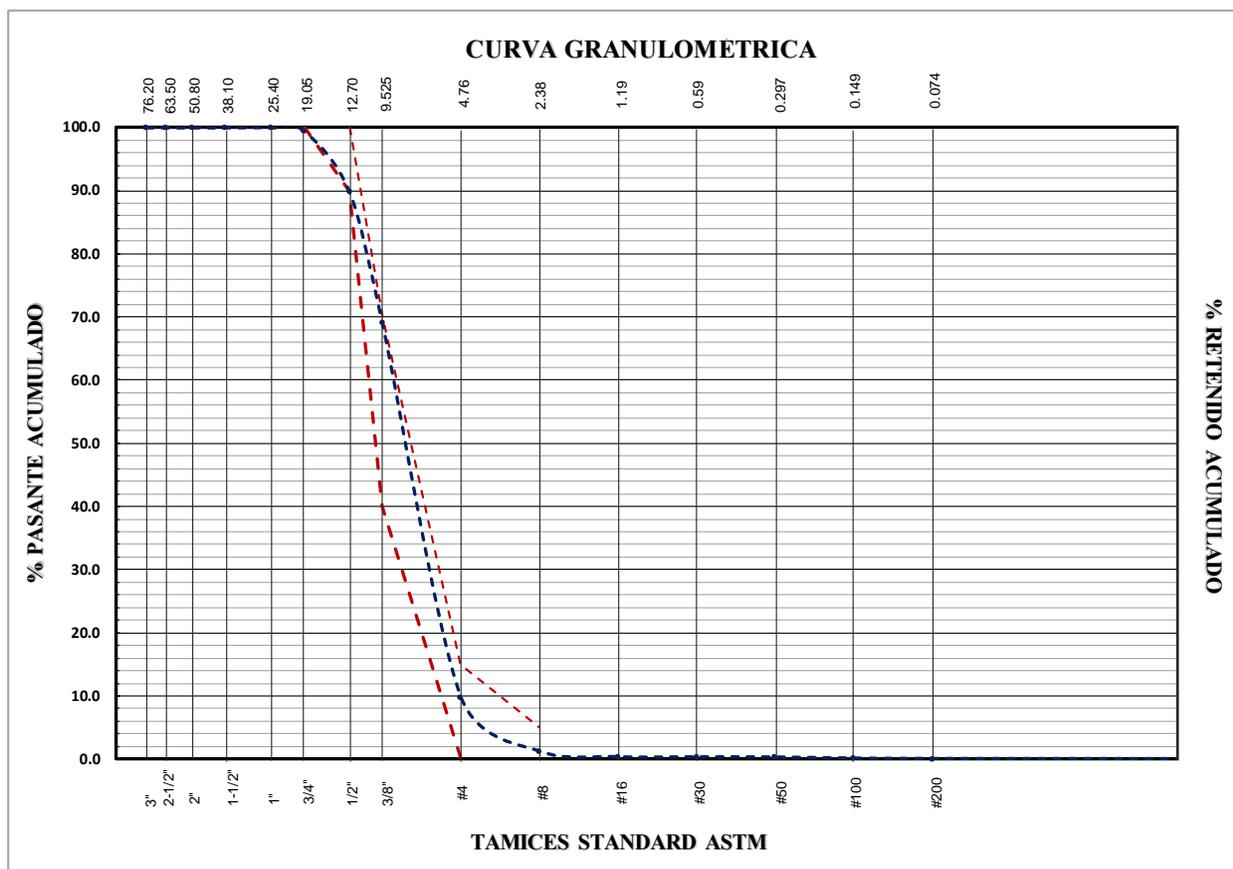


Figura 11. Curva granulométrica del agregado grueso

Según la norma ASTM C33M-18 [8], la curva granulométrica del agregado grueso pertenece al huso 7, cumpliendo los requisitos prescritos para el número de tamaño especificado.

Asimismo, se realizaron ensayos químicos al agregado grueso y se obtuvieron los siguientes resultados, indicados en la Tabla 8:

Tabla 8
Resumen de características químicas del agregado grueso

Componente	[mg/kg], [ppm]	Promedio [ppm]
Cloruros	80.64	82.16
	83.68	
TSD	943.43	943.72
	944.00	
Sulfatos	289.83	289.91
	290.00	

4.1.4 Agregado fino

Para determinar las propiedades físicas y químicas del agregado fino, se realizaron diversos ensayos estandarizados según las normas indicadas en la Tabla 9:

Tabla 9

Normas utilizadas para propiedades físicas del agregado fino

Ensayo	Norma
Análisis granulométrico de agregado fino y grueso	ASTM C136-19 [12]
Peso específico y absorción del agregado fino	ASTM C128-15 [11]
Peso unitario de los agregados	ASTM C29M-17a [6]
Humedad natural de los agregados	ASTM C566-19 [18]
Porcentaje que pasa la malla #200 en agregado fino	ASTM C117-17 [9]

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 10, así como la gráfica de su curva granulométrica en la Figura 12:

Tabla 10

Resumen de características físicas del agregado fino

Agregado Fino	
T.M.N.	#4
M.F.	2.63
P.U. comp. [g/cm ³]	1.70
P.U. suelto [g/cm ³]	1.53
P.E. [g/cm ³]	2.54
wa [%]	1.41
wo [%]	0.64
P>#200 [%]	5.26

Según la norma ASTM C33M-18 [8], la curva granulométrica se ubica dentro de los límites establecidos del huso estándar, cumpliendo los requisitos de calificación para agregado fino. Al igual que para el agregado grueso, se realizaron ensayos químicos al agregado fino y se obtuvieron los siguientes resultados (ver Tabla 11):

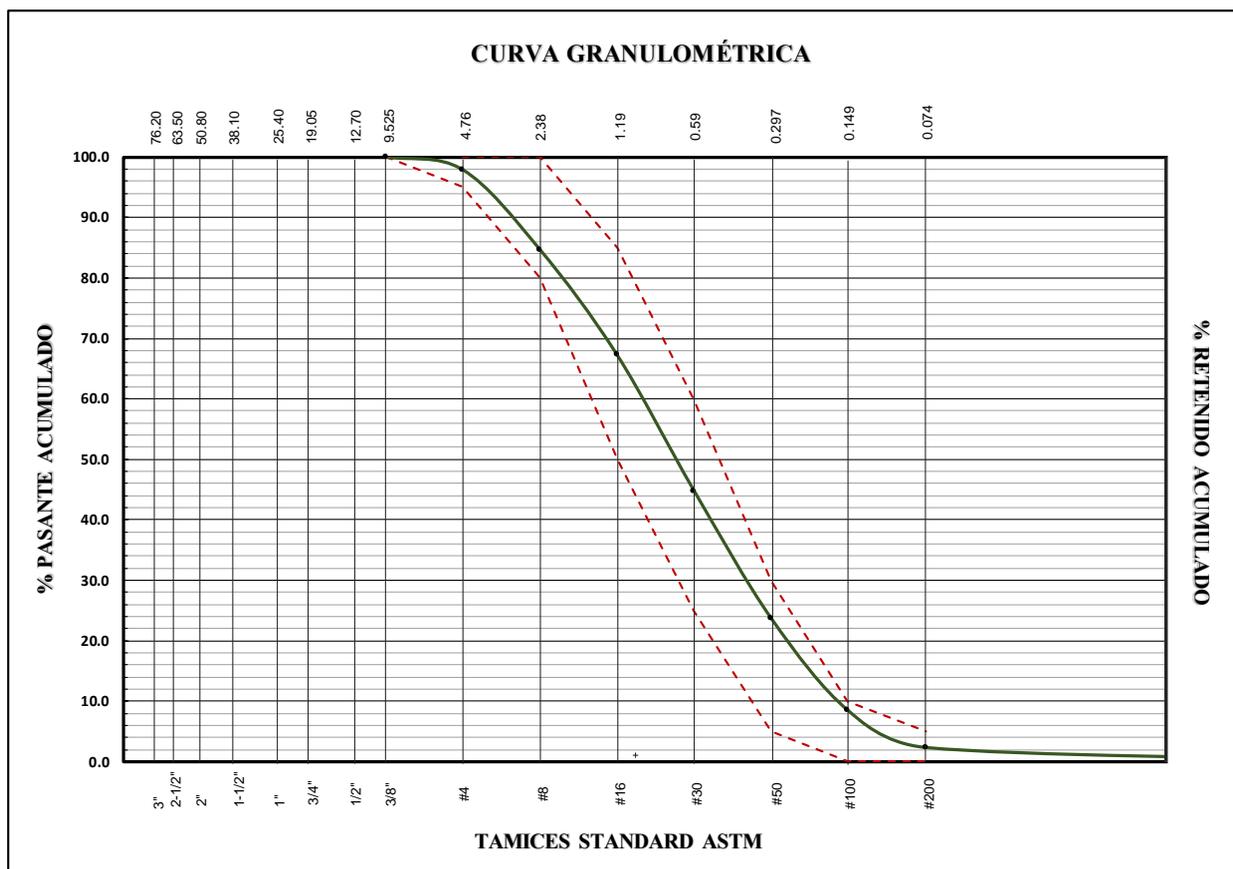


Figura 12. Curva granulométrica del agregado fino

Tabla 11
Resumen de características químicas del agregado fino

Componente	[mg/kg], [ppm]	Promedio [ppm]
Cloruros	149.42	146.91
	144.39	
TSD	1640.00	1593.08
	1546.15	
Sulfatos	466.67	491.58
	516.49	

4.1.5 Aditivos

Reductor de agua

Con la finalidad de reproducir el concreto utilizado actualmente en la construcción, se empleó un aditivo reductor de agua de alto rango para obtener un concreto rheoplástico que fluya fácilmente para realizar una compactación representativa de las muestras. Este aditivo cumple con la norma ASTM C494M-19 [16] para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos reductores de agua de alto rango tipo F, lo que garantiza una adecuada trabajabilidad de las mezclas.

Asimismo, se optó por trabajar con un aditivo que no contenga cloruros, verificándose que su composición no incluya cloruro de calcio ni algún ingrediente a base de cloruros, esto para eliminar variables que influyan en el proceso corrosivo. El peso específico de este aditivo y la dosis aplicada en las mezclas de concreto se muestran a continuación en la Tabla 12:

Tabla 12

Resumen de las características del aditivo reductor de agua

	P.E.	Rango de dosis recomendado	Dosis aplicada
Reductor de agua	1.18	6.5-16 ml/kg de cemento	6.5 ml/kg de cemento

Inhibidor de corrosión

En el desarrollo experimental, se evaluaron tres aditivos inhibidores de corrosión: uno de tipo inorgánico -con base de nitrito de calcio- y dos de tipo orgánico -con base de aminas-. La principal aplicación de cada uno de estos aditivos, según sus fichas técnicas, es proteger el acero de refuerzo en concretos convencionales que serán expuestos a cloruros o en elementos de concreto donde se añadan cloruros inicialmente a la mezcla de concreto. Asimismo, el método de aplicación de estos aditivos admite su combinación con otros aditivos, por lo que, para esta investigación, los inhibidores de corrosión se utilizaron en conjunto con el aditivo reductor de agua descrito anteriormente. A continuación, se resumen las especificaciones en la Tabla 13:

Tabla 13

Resumen de características de los aditivos inhibidores de corrosión

Inhibidor	Base química	Clasificación	Dosis recomendada	Dosis aplicada
A – Inorgánico	Nitrito de calcio	Anódico	7 kg/m ³ concreto	7 kg/m ³ concreto
B – Orgánico	Aminoetanol	De adsorción	5 L/m ³ concreto	5 L/m ³ concreto
C – Orgánico	Aminoalcohol	De adsorción	8-10 L/m ³ concreto	9 L/m ³ concreto

4.1.6 Cloruro de sodio

Para la evaluación del comportamiento de los tres inhibidores de corrosión detallados anteriormente, se diseñaron mezclas de concreto que incluyan cloruro de sodio como un insumo adicional para acelerar el proceso corrosivo de las barras de acero de refuerzo y evaluar la efectividad del mecanismo de acción de cada uno de los inhibidores de corrosión.

A partir de la norma ASTM D632-12 [22], se verificó el cumplimiento del requisito de composición química indicada a continuación en la Tabla 14:

Tabla 14

Requisito de composición química del cloruro de sodio

	Pureza mínima ASTM D632	Pureza de muestra	Resultado
Cloruro de sodio	95.00%	99.23%	Cumple

Asimismo, las especificaciones técnicas de este insumo se detallan en la Tabla 15, como también las dosis aplicadas para el diseño de las mezclas de concreto:

Tabla 15

Resumen de las especificaciones técnicas del cloruro de sodio

	Fórmula	Densidad	Dosis aplicadas
Cloruro de sodio	[NaCl]	1.35 g/cm ³	0.5% por peso de cemento
			1.5% por peso de cemento
			2.5% por peso de cemento

4.2 Elementos para la preparación de testigos

4.2.1 Barras de acero inoxidable

Se utilizaron barras de acero inoxidable de diámetro igual a 3/8", cuya composición química (ver Tabla 16) cumple con los requisitos del tipo AISI 316, según lo especificado en la norma ASTM A240M-20 [5]. Se eligió trabajar con este tipo de acero inoxidable, pues al incorporar molibdeno en su composición, su resistencia a la corrosión es mayor, lo cual permite su comportamiento como contraelectrodo o electrodo auxiliar en una celda de corrosión.

Tabla 16

Composición química de las barras de acero inoxidable AISI 316

Elementos	Requisitos Químicos (%)
Carbono [C]	≤ 0.080
Manganeso [Mn]	≤ 2.000
Fósforo [P]	≤ 0.045
Azufre [S]	≤ 0.030
Silicio [Si]	≤ 0.750
Cromo [Cr]	16.0 – 18.0
Níquel [Ni]	10.0 – 14.0
Molibdeno [Mo]	2.00 – 3.00
Nitrógeno [N]	0.10

Nota. Tomado de ASTM A240M-20 "Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications" [5].

4.2.2 Barras de acero corrugado

Las barras expuestas al proceso corrosivo son barras de acero de diámetro igual a 3/8", con resaltes Hi-bond de alta adherencia al concreto, las cuales son usadas en construcción como refuerzo. Según la ASTM A36M-19 [4], estas barras cumplen con las especificaciones del acero estructural Grado 60, siendo su composición química la que se detalla en la Tabla 17:

Tabla 17
Composición química de las barras de acero corrugado

Elementos	Requisitos Químicos (%)
Carbono [C]	≤ 0.26
Fósforo [P]	≤ 0.04
Silicio [Si]	≤ 0.40
Cobre [Cu]	≥ 0.20

Nota. Tomado de ASTM A36M-19 "Standard Specification for Carbon Structural Steel" [4].

4.2.3 Esmalte epóxico

La pintura aplicada en las barras de acero es un esmalte epóxico que provee alta resistencia química a la corrosión, con la cual se delimitó la sección expuesta de las barras a la presencia de cloruros en las mezclas de concreto para uniformizar las mediciones electroquímicas.

Se verificó el cumplimiento de las características del epóxico con la ASTM C881M-20a [20] para la clasificación correspondiente exigida por los ensayos electroquímicos (ver Tabla 18):

Tabla 18
Características técnicas del esmalte epóxico

Clasificación ASTM C881	
Tipo IV	Para uso en concreto y otros materiales
Grado 3	Consistencia antideslizante
Clase E	Para uso entre 15 y 30 °C

4.3 Materiales para la fabricación de probetas

4.3.1 Desmoldante

Se empleó un desmoldante tipo barniz que forma una película muy resistente que evita la adherencia del concreto al encofrado de melamina. Para la preparación de este material se diluyó el desmoldante en relación de 1:3 con su solvente y se aplicó sobre el encofrado dejando una película lisa y uniforme. Este material se empleó con la finalidad de uniformizar la calidad del acabado de las probetas de concreto armado y controlar el ingreso de agentes externos para estandarizar sus condiciones de exposición.

Capítulo V. Metodología

En el presente capítulo, se describe la parte experimental de esta investigación, la cual se diseñó a partir del estado de conocimiento en técnicas electroquímicas para la evaluación del acero de refuerzo expuesto a un proceso corrosivo: medición de potenciales y estimación de la velocidad de corrosión, ambas técnicas de inspección no destructivas.

La metodología de la investigación se dividió en las siguientes etapas:

- ✚ Etapa 1: Planificación
- ✚ Etapa 2: Etapa preliminar
- ✚ Etapa 3: Muestreo de las mezclas de concreto
- ✚ Etapa 4: Mediciones electroquímicas
- ✚ Etapa 5: Inspección de barras de acero de refuerzo

5.1 Etapa 1: Planificación

5.1.1 Esquemmatización de probetas

Se esquematizaron dos tipos de probetas de concreto: cilíndricas (ver Figura 13), para evaluación de la resistencia a compresión del concreto; y prismáticas (ver Figura 14), para la evaluación del deterioro por corrosión mediante técnicas electroquímicas. A continuación, se detallan los parámetros de diseño por cada tipo de probeta (ver Tabla 19 y Tabla 20):

Tabla 19

Parámetros para probetas cilíndricas

Parámetros – Probeta Cilíndrica		
Forma	Cilíndrica	ASTM C31M-19a [7]
Dimensiones	4" x 8"	ASTM C31M-19a [7]
Nº muestras / mezcla	3 probetas	ASTM C31M-19a [7]
Moldeo de probetas (compactación)	Nº capas = 2	
	Nº varillas por capa = 25	ASTM C192M-19 [15]
	Nº golpes por capa = 10-15	

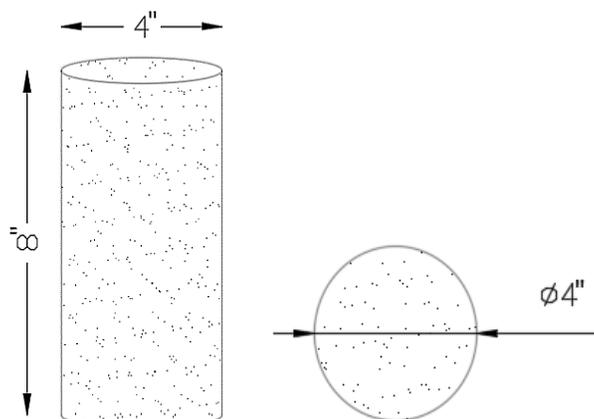


Figura 13. Probeta cilíndrica de concreto para ensayos de resistencia a compresión

Tabla 20

Parámetros de diseño para probetas prismáticas

Parámetros de diseño – Probeta Prismática		
Forma	Prismática	ASTM G109-07 [23]
Dimensiones	4" x 4" x 8"	ASTM C31M-19a [7]
Nº muestras / mezcla	5 probetas	---
Moldeo de probetas (compactación)	Nº capas = 2	
	Nº varillas por capa = 32 Nº golpes por capa = 10-15	ASTM C192M-19 [15]
Recubrimiento de barras de acero	2.5 cm	NTE E.060-09 [36]
Longitud expuesta de barras de acero (sin recubrimiento epóxico)	5"	---

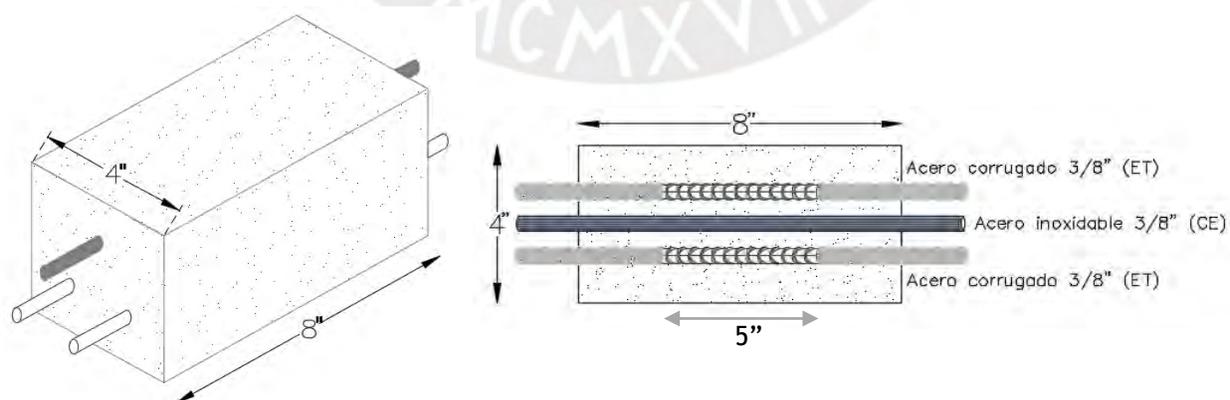


Figura 14. Probeta prismática de concreto reforzado para mediciones electroquímicas

5.1.2 Planificación de mezclas de concreto

Se planificó la preparación de 13 diferentes mezclas de concreto en total, partiendo de una mezcla comúnmente empleada en obras de edificaciones e infraestructuras, con las siguientes características:

- **01 mezcla de concreto** denominada “**Mezcla Original – MO**”, con relación w/c igual a 0.60 y con aditivo reductor de agua.

A partir de esta mezcla, se diseñaron otras nueve mezclas de concreto, añadiendo a esta composición original, un tipo de aditivo inhibidor de corrosión y una determinada concentración de cloruro de sodio que acelere el proceso corrosivo de las barras de acero. Las especificaciones consideradas para el diseño de estas mezclas de concreto se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21
Especificaciones para diseño de mezclas de concreto

Diseños de mezclas de concreto	
Relación w/c	0.60
Aditivo reductor de agua	6.5 - 16 ml/kg cemento
Aditivos inhibidor de corrosión	Inhibidor A – 7 kg/m ³ concreto
	Inhibidor B – 5 L/m ³ concreto
	Inhibidor C – 9 L/m ³ concreto
Concentraciones de cloruro de sodio [NaCl]	0.5%
	1.5%
	2.5%

- **09 mezclas de concreto** denominadas según el aditivo inhibidor de corrosión en su composición: “**Mezclas A – MA**”, “**Mezclas B – MB**” y “**Mezclas C – MC**”, diseñadas con relación w/c igual a 0.60, aditivo reductor de agua y determinada concentración de NaCl.

Las tres mezclas restantes se diseñaron a partir de la “Mezcla Original - MO”, añadiendo a su composición únicamente cloruro de sodio, para obtener mezclas base de “MA”, “MB” y “MC”, sin un aditivo inhibidor de corrosión.

- **03 mezclas de concreto** denominadas “**Mezclas Patrón – MP**” diseñadas con relación w/c igual a 0.60, aditivo reductor de agua y determinada concentración de cloruro de sodio, sin algún aditivo inhibidor de corrosión en su composición.

La codificación de estas 13 mezclas de concreto se muestra en la Figura 15:

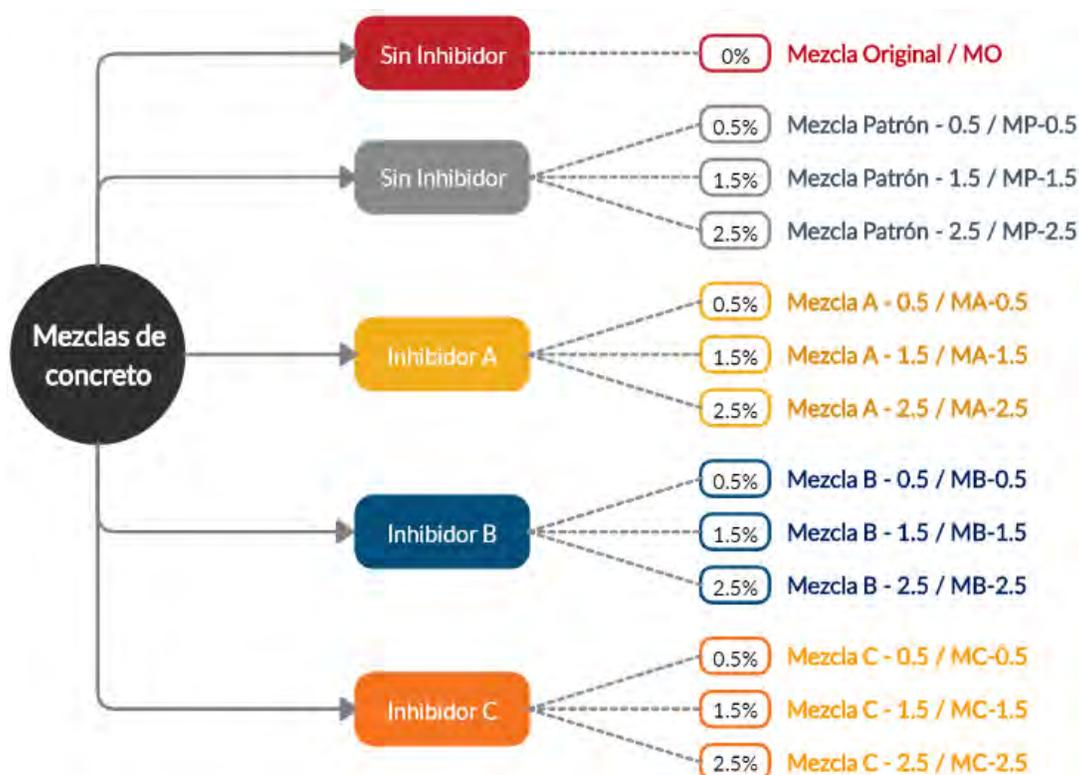


Figura 15. Codificación de las 13 mezclas de concreto diseñadas

5.2 Etapa 2: Etapa preliminar

5.2.1 Ensayos de agregados

Durante esta etapa, se ejecutaron ensayos para determinar las características físicas y granulométricas del agregado grueso y del agregado fino, a partir de las cuales se realizó el diseño teórico de las mezclas de concreto. Éstas son: (a) tamaño máximo nominal, (b) módulo de finura, (c) peso unitario, (d) peso específico, (e) humedad de absorción, (f) humedad natural, y (g) porcentaje que pasa la malla N° 200 -importante para el agregado fino-. Asimismo, se realizaron

ensayos químicos de contenido de cloruros, sales disueltas y sulfatos solubles en agua para ambos agregados, con la finalidad de verificar que este porcentaje no exceda los límites recomendados.

Los agregados se ensayaron según los procedimientos dispuestos en las normas ASTM correspondientes, y los resultados obtenidos en esta primera etapa se presentaron en el Capítulo 4. Para revisar las tablas de cálculo, véase el Apéndice A.

5.2.2 Fabricación de moldes prismáticos

De acuerdo a la Etapa 1, se diseñaron probetas prismáticas para la evaluación de la efectividad de los aditivos inhibidores de corrosión mediante técnicas electroquímicas. Este diseño se realizó en base a la norma ASTM G109-07 [23], la cual desarrolla un método de prueba para evaluar componentes destinados a inhibir la corrosión del acero embebido en el concreto debido a la presencia de cloruros. Para ello, establece la preparación de especímenes de prueba con las siguientes especificaciones (ver Figura 16):

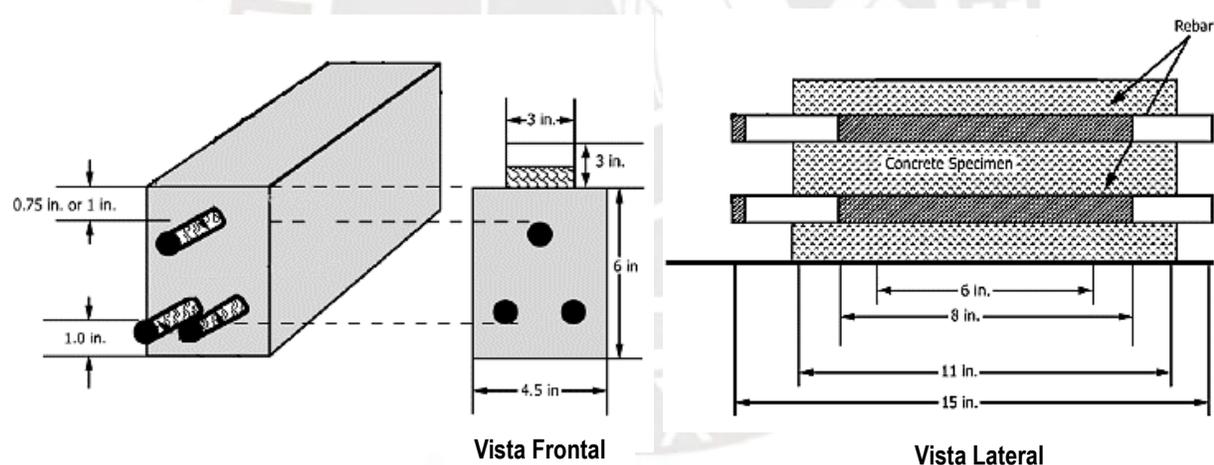


Figura 16. Modelo de espécimen de prueba - ASTM G109

Adaptado de ASTM G109-07 "Standard Test Method for Determining Effects of Chemical Admixtures on Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments" [23].

En base a estas especificaciones, se diseñó una probeta similar de concreto (ver Figura 17), pero con las dimensiones de una probeta estándar de 4" de diámetro por 8" de altura, normalizada según la ASTM C31M-19a [7], que especifica el procedimiento de moldeo de los especímenes para ensayos de resistencia a compresión. Asimismo, se definió colocar dos barras de acero

corrugado (Electrodos de trabajo – ET) y una barra de acero inoxidable (Contraelectrodo o Electrodo auxiliar – CE), dispuestas según el modelo mostrado, con 2.5 cm de recubrimiento en todas las direcciones.

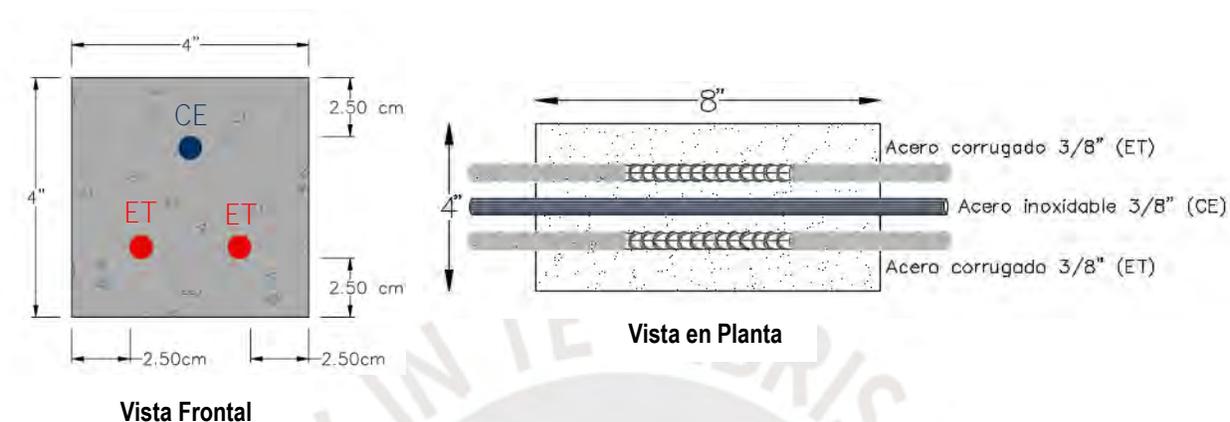


Figura 17. Diseño de probeta prismática de concreto

Encofrado

Se utilizaron planchas de melamina de 1" de espesor ensambladas mediante tornillos, de forma que sus dimensiones interiores cumplan con las especificaciones de 4" × 4" × 8" (ver Figura 18). Para conseguir que las barras de acero permanezcan en su posición durante la colocación del concreto, se realizaron 3 perforaciones en cada una de las dos caras de menor sección: dos agujeros inferiores de 12 mm de diámetro y uno superior de 10 mm, por donde se introdujeron las barras de acero, quedando un recubrimiento de 2.5 cm en todas sus direcciones (ver Figura 19 y Figura 20).

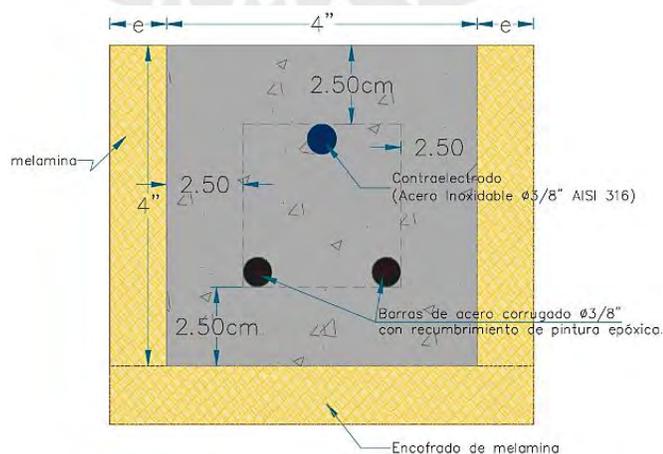


Figura 18. Sección transversal del encofrado para probetas prismáticas

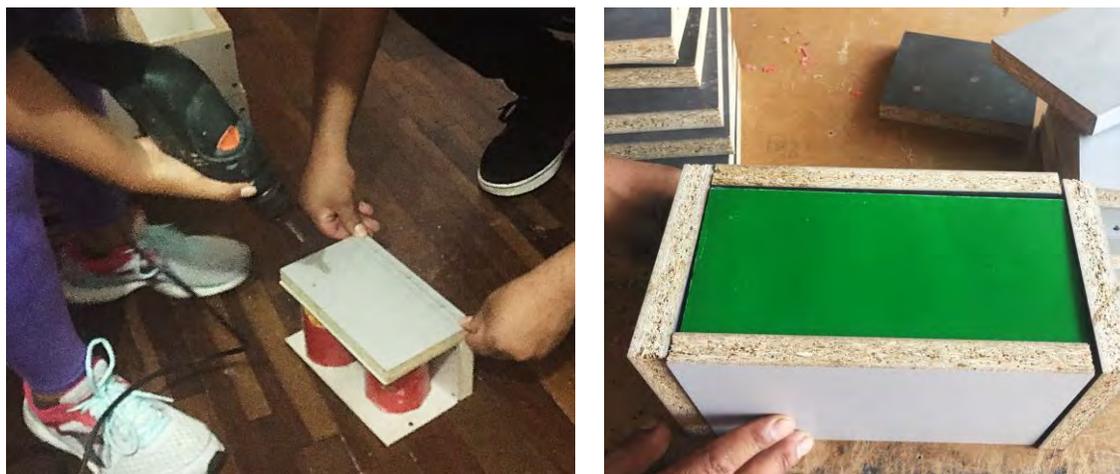


Figura 19. Fabricación y ensamblaje del encofrado para probetas prismáticas



Figura 20. Vista en planta del encofrado con barras de acero dispuestas según el diseño

Preparación de las barras de acero

Se inició con el corte de las barras de acero en longitudes de 14" y se limpió cada una con acetona industrial para eliminar cualquier impureza superficial (oxidación inicial) (ver Figura 21). Una vez limpias y secas, fueron recubiertas con pintura epóxica, dejando expuesta una longitud de 5", a fin de delimitar y controlar el área sometida al proceso corrosivo (ver Figura 22).



Figura 21. Barras de acero corrugado sin impurezas superficiales



Figura 22. Preparación de barras de acero corrugado con pintura epóxica en sus extremos

5.2.3 Diseño teórico de las mezclas de concreto

El diseño teórico de las 13 mezclas de concreto se realizó siguiendo el método ACI, a partir de los resultados obtenidos en la etapa de ensayos de agregados (ver Tabla 22). Los criterios para la dosificación teórica se muestran a continuación:

Tabla 22
Características físicas de los agregados

Agregado	T.M. ⁽¹⁾	M.F. ⁽²⁾
Piedra	1/2"	6.15
Arena	#4	2.63

(1) Tamaño Máximo Nominal
(2) Módulo de Finura

Según el ACI Committee 211.1-91 [1], el asentamiento de diseño (ver Tabla 23) se puede aumentar 2.5 cm (1 pulg.) para los métodos de consolidación manuales, tales como el varillado. Por ello, se delimitó el asentamiento de las mezclas de concreto en un rango de 10 a 15 cm (4 a 6 pulg.), para garantizar la trabajabilidad de todas las mezclas y, por tanto, la adecuada consolidación del concreto, debido a la congestión de barras de acero en las probetas prismáticas.

Tabla 23
Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción

Construcción de concreto	Revenimiento cm (pulg.)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	7.5 (3)	2.5 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	7.5 (3)	2.5 (1)
Vigas y muros reforzados	10 (4)	2.5 (1)
Columnas reforzadas	10 (4)	2.5 (1)
Pavimentos	7.5 (3)	2.5 (1)
Concreto masivo	7.5 (3)	2.5 (1)

Nota. Adaptado del ACI Committee 211.1-91 "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete" [1].

A partir de la Tabla 24, se obtuvo la cantidad inicial de agua por m^3 de concreto igual a 222 kg para todas las mezclas, sin embargo, esta cantidad se redujo en un 10% mediante la adición de un reductor de agua para garantizar una mejor resistencia a compresión del concreto, sin perjudicar la trabajabilidad del concreto.

Tabla 24
Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire

Revenimiento (cm)	Agua (kg/m^3 de concreto) para los tamaños de agregado ("							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1½"	2"	3"	6"
	Concreto sin aire incluido							
2.5 a 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
10 a 15	→ 222							
15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Nota. Adaptado del ACI Committee 211.1-91 "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete" [1].

Tabla 25
Relación agua-cemento y la resistencia a compresión del concreto

Resistencia a compresión a los 28 días, kg/cm ²	Relación agua-cemento, sin aire incorporado
450	0.38
400	0.42
350	0.47
300	0.54
257	0.60
250	0.61
200	0.69
150	0.79

Nota. Adaptado del ACI Committee 211.1-91 "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete" [1].

La relación agua-cemento especificada para todas las mezclas de concreto es 0.60 (ver Tabla 25) con el objetivo de reproducir un concreto estructural, pues con esta relación w/c se pudo garantizar la fabricación de probetas muestras con una resistencia a compresión mayor al valor de 210 kg/cm².

Según la Tabla 26, el volumen de agregado grueso varillado en seco necesario para 1 m³ de concreto es 0.57, por tanto, la relación arena/piedra en volumen por m³ de concreto resultó igual a 0.48/0.52.

Tabla 26
Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Volumen del agregado grueso por m ³ de concreto para diferentes M.F.			
(mm.)	(Pulg.)	2.4	2.6	2.8	3.0
9.5	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
19	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
75	3"	0.82	0.80	0.78	0.76
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota. Adaptado del ACI Committee 211.1-91 "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete" [1].

5.2.4 Validación del diseño teórico en campo

Se procedió a preparar una primera mezcla de prueba para determinar la dosificación necesaria del aditivo reductor de agua que mantenga el slump de todas las mezclas en un rango de 10 a 15 cm. De acuerdo al slump obtenido de 5 cm (ver Figura 23), se definió una dosis igual a 6.5 ml de aditivo/kg cemento, dosis mínima que cumple con el rango de dosificación recomendado por el proveedor.

Posteriormente, se preparó una segunda mezcla de prueba para verificar que el slump del concreto cumpla con el rango de asentamiento definido. Como se puede observar en la Figura 24, se obtuvo el slump requerido igual a 15 cm, pero se observó una mezcla con apariencia pedregosa y con poca consistencia, por lo que se optó hacer una mezcla con más cohesión. Para este propósito, se hizo una regulación en el diseño de las mezclas, variando la relación final de agregados arena/piedra a 0.51/0.49, obteniendo una mezcla con mejor consistencia (ver Figura 25).

Para revisar las tablas de dosificación de las 13 mezclas de concreto, véase Apéndice B.

Secuencia Fotográfica



Figura 23. Mezcla prueba N° 1 (MB-2.5%), slump 5 cm, sin aditivo reductor de agua.



Figura 24. Mezcla prueba N° 2 (MB-2.5%), slump 15 cm, con poca cohesión.



Figura 25. Mezcla prueba N° 3 (MB-2.5%), slump 18 cm, con buena consistencia.

5.3 Etapa 3: Muestreo de las probetas de concreto

5.3.1 Preparación de las 13 mezclas de concreto

El mezclado de los insumos se realizó en una mezcladora de eje inclinado con una capacidad de 100 L, en base al diseño de las dosificaciones realizadas para las 13 mezclas de concreto, verificando que el mezclado se realice completamente hasta que el concreto tenga una apariencia uniforme. Cada mezcla se preparó en un día programado, en una tanda de 40 L, cantidad utilizada para realizar ensayos de control de calidad del concreto en estado fresco y el moldeo de 03 probetas cilíndricas y 05 probetas prismáticas por cada mezcla. La secuencia de mezclado para cada tipo de mezcla se detalla en las Tablas 27, 28 y 29:

Tabla 27

Secuencia para mezcla original – MO (duración = 5 minutos)

Insumo	Porcentaje de mezclado
Agua	80% - peso
Piedra	100% - peso
Arena	100% - peso
Cemento	100% - peso
Reductor de agua (diluido en 20% agua)	100% - volumen

Tabla 28

Secuencia para mezclas patrón – MP (duración = 5 minutos)

Insumo	Porcentaje de mezclado
Agua	80% - peso
Piedra	100% - peso
Arena	100% - peso
Cemento	100% - peso
Sal	100% - peso
Agua	20% - peso
Reductor de agua (diluido en 20% agua)	100% - volumen

Tabla 29

Secuencia para mezclas A, mezclas B y mezclas C (duración = 8 minutos)

Insumo	Porcentaje de mezclado
Agua	50% - peso
Piedra	100% - peso
Arena	100% - peso
Cemento	100% - peso
Sal	100% - peso
Inhibidor de corrosión (diluido en 30% agua)	100% - volumen
Reductor de agua (diluido en 20% agua)	100% - volumen

5.3.2 Ensayos de control de calidad del concreto en estado fresco

Se realizaron ensayos de control de calidad y aceptación a las 13 mezclas de concreto, después de su mezclado, a fin de evidenciar y cuantificar el cumplimiento o no de los criterios y

parámetros técnicos establecidos, para evaluar en qué medida las especificaciones de diseño eran satisfechas. A continuación, en la Figura 26 se muestra un esquema que detalla la línea de tiempo de ejecución de estos ensayos:

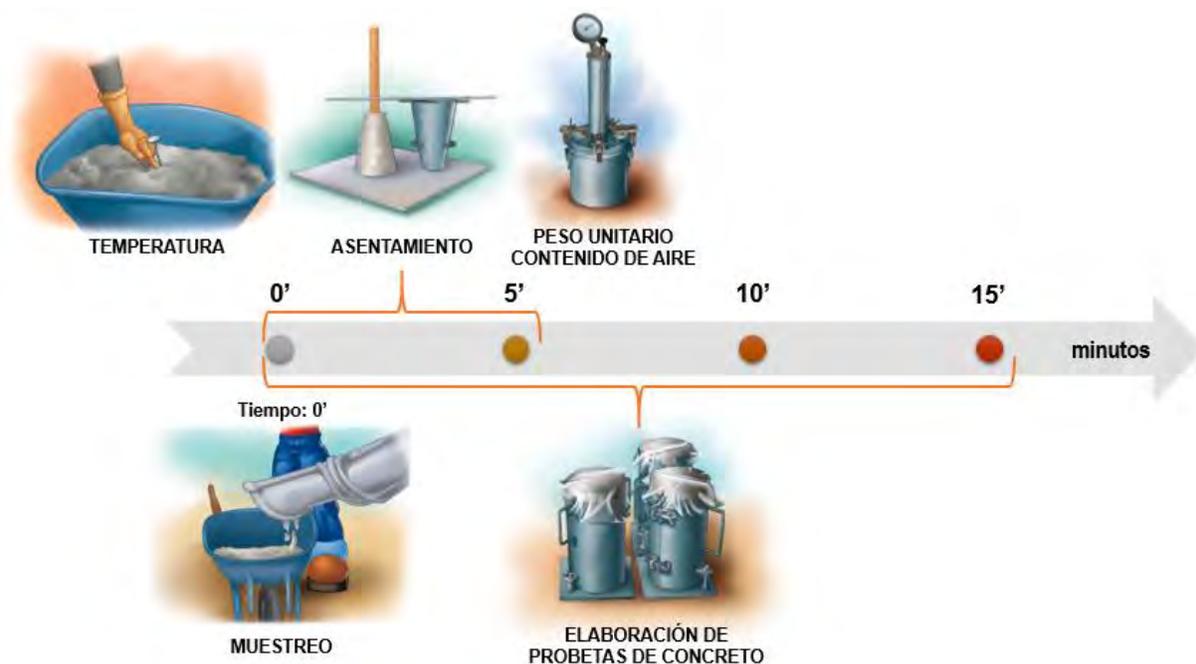


Figura 26. Línea de tiempo de ensayos de control del concreto en estado fresco

Los ensayos de control indicados en el esquema anterior se realizaron de acuerdo a las normas ASTM correspondientes (ver Tabla 30):

Tabla 30

Normas para ensayos de control de calidad del concreto en estado fresco

Ensayo	Norma
Práctica estándar para muestreo de concreto recién mezclado	ASTM C172
Método de prueba estándar para determinar la temperatura del concreto	ASTM C1064
Método de prueba estándar para determinar el asentamiento del concreto	ASTM C143
Método de prueba estándar para determinar el peso unitario, rendimiento y contenido de aire del concreto	ASTM C138
Práctica estándar para fabricar y curar probetas de concreto en campo	ASTM C31
Práctica estándar para fabricar y curar probetas de concreto en laboratorio	ASTM C192

Muestreo

Se realizó en un tiempo no mayor de 15 minutos después de finalizado el mezclado de cada tanda de concreto, a fin de obtener muestras realmente representativas para los ensayos de control. Se evaluó la apariencia de cada mezcla de concreto (ver Figura 27), después de su remezclado con lampa para uniformizar el concreto antes de efectuarse las pruebas de control.



Figura 27. Muestreo de la mezcla de concreto MB-2.5%, adecuada apariencia inicial.

Temperatura

La medición de la temperatura se ejecutó en un periodo de 5 minutos después de realizado el muestreo, debido a su importancia como parámetro que condiciona la velocidad con la que se desarrolla el proceso de endurecimiento inicial del concreto. Se utilizó un medidor de temperatura con lectura digital, el cual se introdujo de manera que esté cubierto con por lo menos 3” de concreto en todas las direcciones a su alrededor (ver Figura 28).



Figura 28. Medición de temperatura de la mezcla de concreto MB-2.5%, $T = 20.3\text{ }^{\circ}\text{C}$

Asentamiento

La medición del slump se ejecutó en un periodo de 5 minutos después de realizado el muestreo. Se verificó que las 13 mezclas de concreto obtenidas sean lo suficientemente cohesivas y fluidas para ser colocadas sin dificultad en las probetas cilíndricas y prismáticas, debido principalmente a la congestión de acero presente en las probetas prismáticas y a la dificultad en cuanto a la compactabilidad del concreto en las esquinas del encofrado (ver Figura 29).



Figura 29. Asentamiento de la mezcla MB-2.5%, slump = 12.9 cm, falla tipo normal.

Peso unitario

La medición del peso unitario se ejecutó en un periodo de 5 minutos después de realizado el muestreo. Se verificó la uniformidad de todas las mezclas de concreto, pues un indicador de que los insumos están cambiando considerablemente en su proporción o características físicas es si el peso unitario varía de forma significativa entre cada mezcla de concreto (ver Figura 30).

Contenido de aire

Se controló el contenido de aire de las 13 mezclas de concreto con el objetivo de prevenir inconvenientes en los acabados de las probetas de concreto y evitar la formación de burbujas de aire de gran tamaño en las superficies que afecten la durabilidad del concreto (ver Figura 31).



Figura 30. Ensayo de peso unitario de la mezcla MB-2.5%. P.U. = 2,324.32 kg/m³



Figura 31. Ensayo de contenido de aire de la mezcla MB-2.5%, valor = 3.8%

Moldeo de especímenes de concreto

Se realizó en un periodo de 15 minutos después de realizado el muestreo. Se ejecutó siguiendo los procedimientos de compactación normados en la ASTM C31M-19a [7] y ASTM C192M-19 [15], cuyas especificaciones se resumen en la Tabla 31:

Tabla 31

Especificaciones de compactación de las probetas de concreto

Especificación	Probeta Cilíndrica	Probeta Prismática
Norma	ASTM C31	ASTM C192
Dimensión	4" x 8"	4" x 4" x 8"
Nº muestras / mezcla	3	5
Procedimiento de compactación	Nº capas = 2	Nº capas = 2
	Nº varillas por capa = 25	Nº varillas por capa = 32
	Nº golpes por capa = 10-15	Nº golpes por capa = 10-15

La compactación manual del concreto en las probetas cilíndricas y prismáticas se realizó en 2 capas con una varilla de 3/8" de diámetro, varillando cada capa 25 y 32 veces, respectivamente, de manera distribuida uniformemente en la sección. Además de ello, según norma, se golpeó el molde lateralmente con un martillo de goma de 10 a 15 veces en ambos tipos de probeta. El detalle de este procedimiento se esquematiza en las Figuras 32,33 y 34:

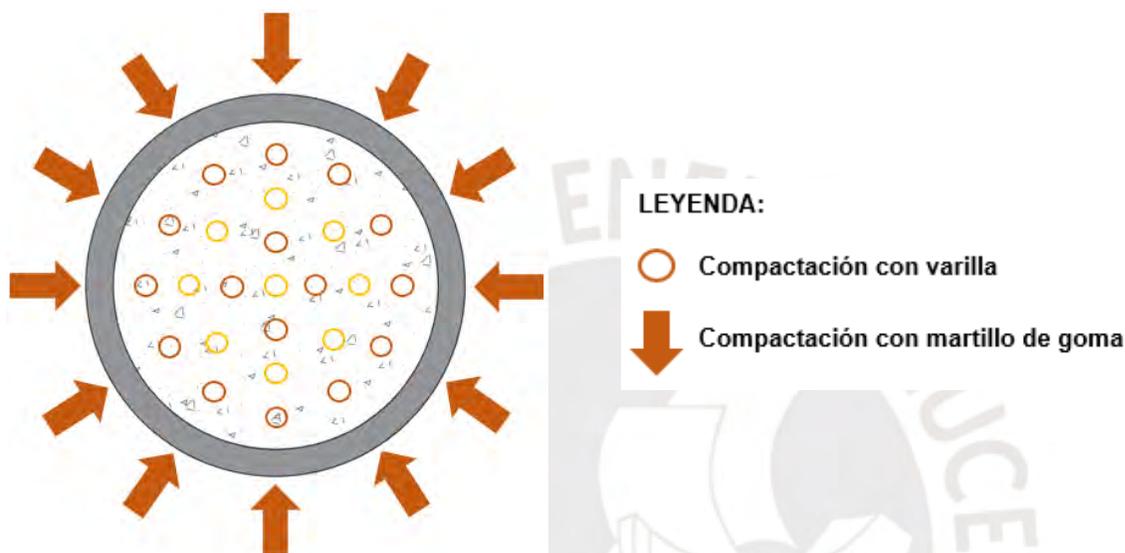


Figura 32. Especificaciones de compactación de probetas cilíndricas (vista en planta)

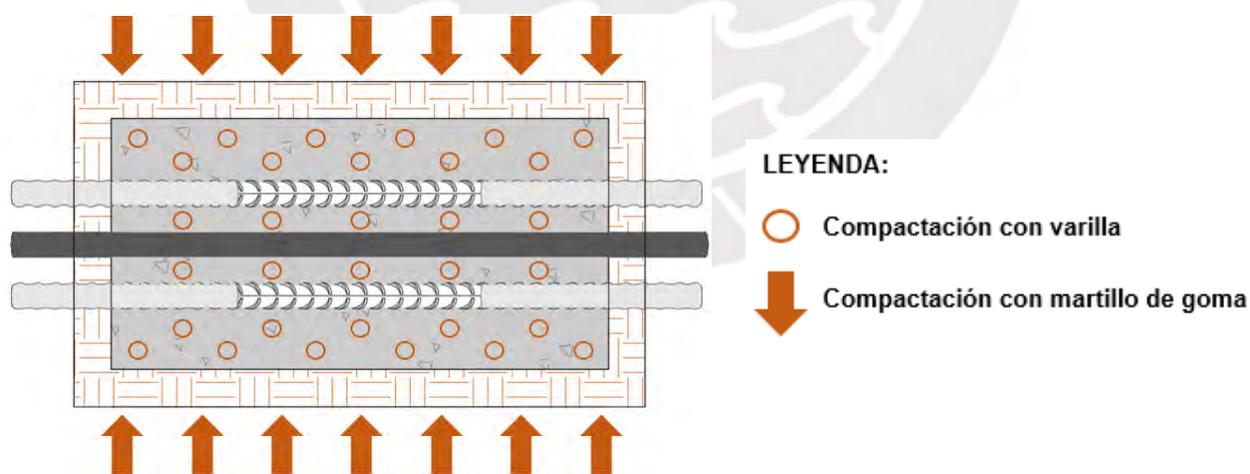


Figura 33. Especificaciones de compactación de probetas prismáticas (vista en planta)



Figura 34. Moldeo de probetas prismáticas (05) y probetas cilíndricas (03) por cada mezcla

5.3.3 Ensayos de control de calidad del concreto en estado endurecido

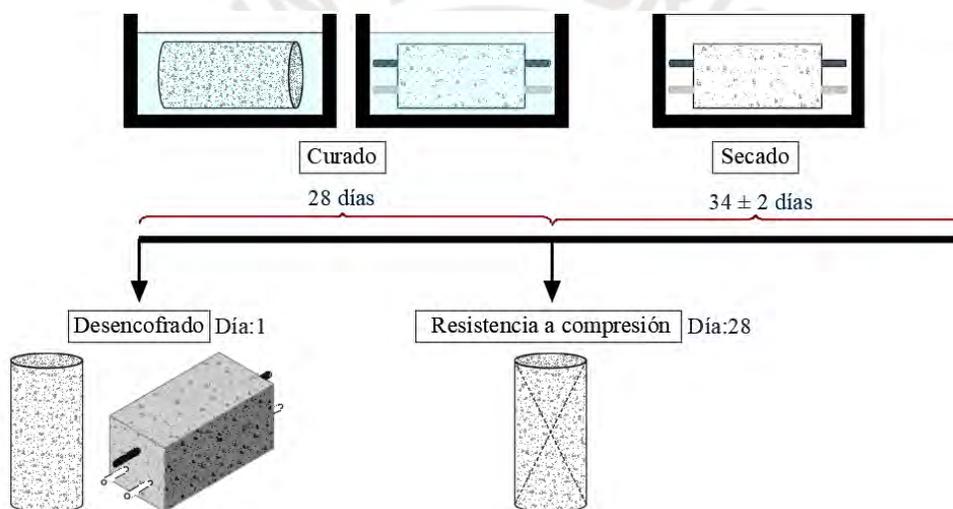


Figura 35. Línea de tiempo de ensayos de calidad del concreto en estado endurecido

Desencofrado

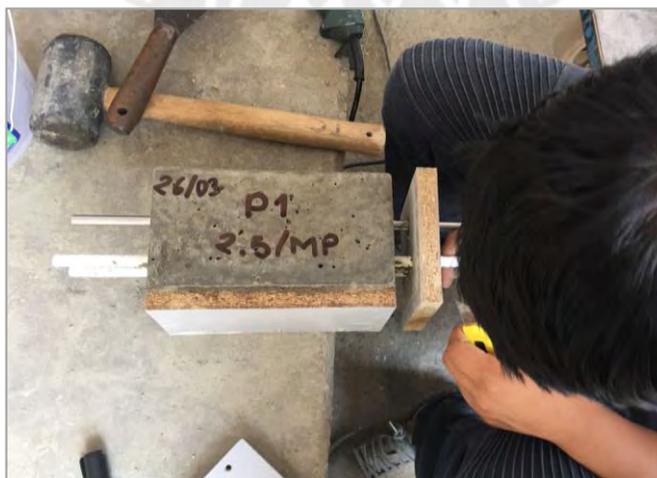


Figura 36. Desencofrado de probetas prismáticas de concreto.



Figura 37. Probetas cilíndricas y prismáticas desencofradas - moldes de metal y melamina.

Curado

Una vez desencofradas las probetas cilíndricas y prismáticas, se procedió a colocarlas en un cuarto húmedo para su curado bajo condiciones controladas, humedad relativa de 95% a 100% y temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, en base a lo especificado por la ASTM C511-19 [17]. Este procedimiento se ejecutó con la finalidad de garantizar el proceso por el cual el concreto madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de agua.

Ensayo de resistencia a compresión

Después de 28 días de curado, se procedió a ensayar las probetas cilíndricas a resistencia a compresión por el método de cabeceo, usando almohadillas de neopreno en las extremidades de los especímenes. Este procedimiento se realizó a fin de evidenciar que el concreto producido cumpla con las especificaciones de resistencia y calidad de su diseño y, por tanto, las probetas sean muestras representativas del concreto comúnmente colocado en las construcciones actuales.



Figura 38. Ensayo de resistencia a compresión de probetas cilíndricas de concreto



Figura 39. Probetas cilíndricas de la mezcla de concreto MB – 2.5% ensayadas a compresión

Secado

En cuanto a las probetas prismáticas, después de 28 días de curado, fueron retiradas del cuarto húmedo para proceder a colocarlas en un ambiente con humedad relativa del 50%, de forma que sequen durante un periodo aproximado de un mes (34 ± 2 días) antes de realizar las pruebas electroquímicas, ello según el procedimiento normalizado en la ASTM G109-07 [23] (ver Figura 40).

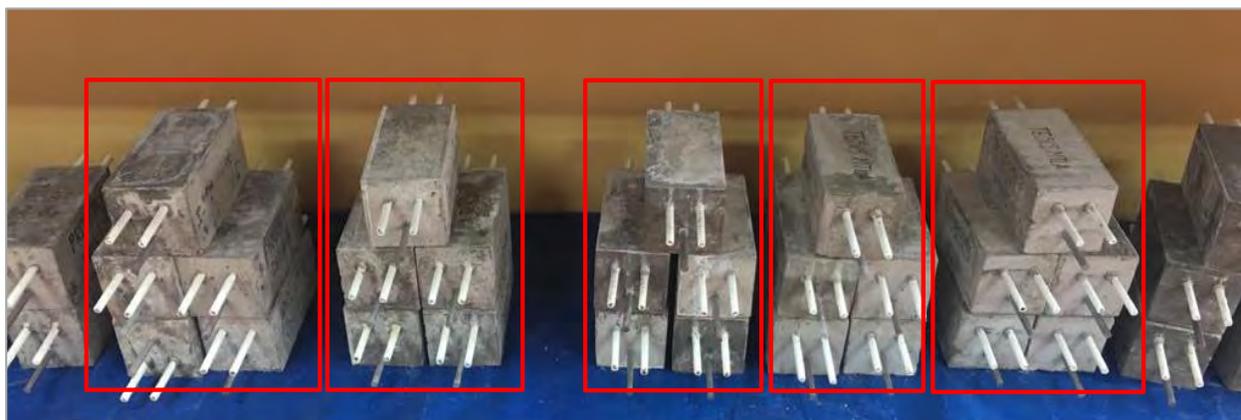


Figura 40. Secado de probetas prismáticas en un entorno de HR de 50%.

5.4 Etapa 4: Mediciones electroquímicas

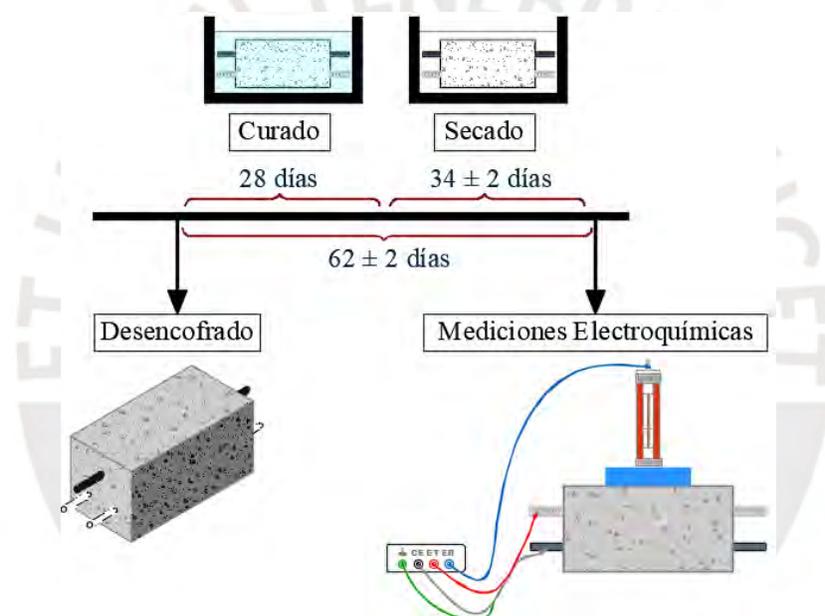


Figura 41. Línea de tiempo de ensayos realizados a las probetas prismáticas de concreto.

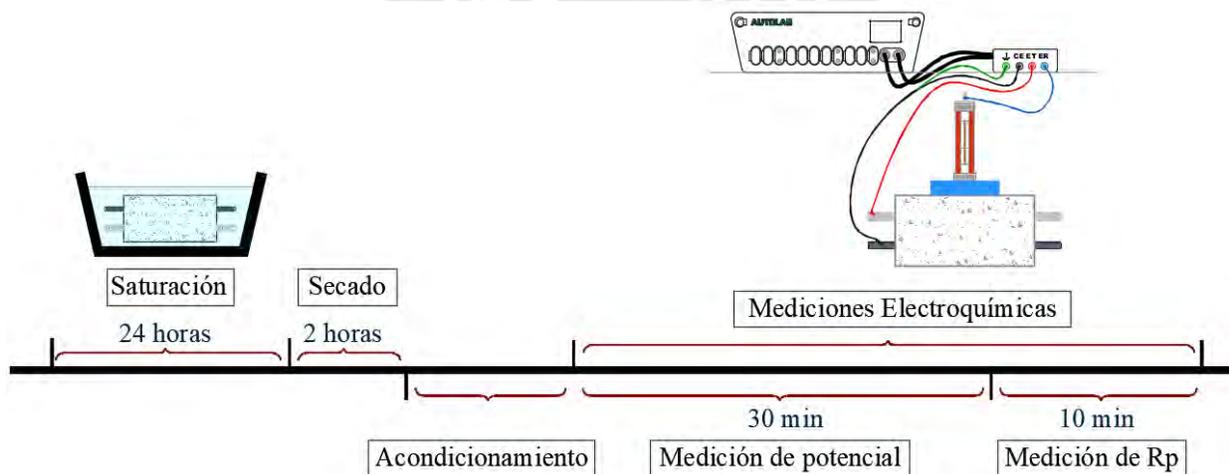


Figura 42. Procedimientos ejecutados a las probetas antes de mediciones electroquímicas.

Saturación

Según el procedimiento normalizado en la ASTM C876-15 [19], se humedeció el concreto previamente a las mediciones electroquímicas para disminuir la resistencia eléctrica del circuito (caída óhmica). El humedecimiento del concreto se realizó de manera controlada sumergiendo 3 probetas prismáticas de las 5 elaboradas, por cada mezcla de concreto, en agua potable por un intervalo de tiempo de 24 horas (ver Figura 43), antes de iniciar las mediciones electroquímicas.



Figura 43. Saturación de 3 probetas prismáticas por cada tipo de mezcla de concreto.

Secado

Después del procedimiento de saturación del concreto, se procedió a colocar las probetas prismáticas en una superficie plana no absorbente para su secado durante un intervalo de tiempo de 2 horas (ver Figura 44). Este procedimiento previo permitió obtener mediciones de potencial estables, de forma que no cambien ni fluctúen durante al menos 5 minutos.



Figura 44. Secado de probetas prismáticas previo a las mediciones electroquímicas.

Acondicionamiento

Después de 2 horas de secado, se procedió a cubrir las 3 probetas prismáticas de una mezcla de concreto con rollos stretch film 18" para conservar su humedad interna obtenida de forma controlada, hasta antes de realizar las mediciones electroquímicas.

Se realizó el siguiente procedimiento con cada probeta, antes de iniciar estas mediciones:

1. Se retiró el rollo stretch film 18" de protección.
2. Se retiró una parte de pintura epóxica en uno de los extremos de cada barra de acero.

Esta parte sin recubrimiento epóxico se cubrió con papel de aluminio en todo su perímetro para lograr una adecuada conexión eléctrica (ver Figura 45).



Figura 45. Acondicionamiento de probeta prismática para las mediciones electroquímicas

Mediciones electroquímicas

1. Equipo

Para todas las mediciones electroquímicas se usó un potenciostato marca Autolab modelo PGSTAT 128N controlado con una PC mediante el software Metrohm Autolab Nova 2.1.3.

2. Montaje experimental

Se realizó el montaje de una celda electroquímica (ver Figura 46), usando como electrodo de referencia un electrodo de cobre/sulfato de cobre (CSE) y como contraelectrodo o electrodo auxiliar a una barra de acero inoxidable embebida en la probeta de concreto. Todos los potenciales en este trabajo están referidos al CSE (0.316 V vs. electrodo estándar de hidrógeno).

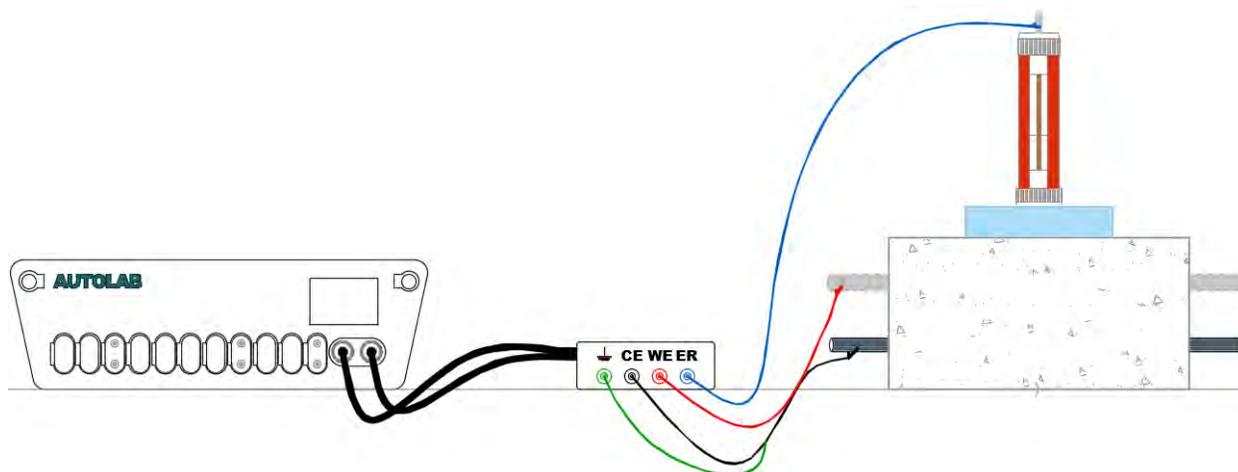


Figura 46. Esquema de montaje experimental para las mediciones electroquímicas

Se realizaron las siguientes conexiones (ver Figura 47):

- Se conectó el electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre y el terminal “ER” (*reference electrode*) del potenciostato. Para ello, se humedeció la zona de la superficie de concreto espacialmente coincidente con la proyección horizontal de la zona interna de la barra de acero de refuerzo expuesta a los cloruros (sin recubrimiento epóxico). Después de ello, encima de la zona humedecida, se colocó una esponja humedecida con una solución diluida de detergente y encima de esta esponja, el electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre. De esta forma, se realizó el contacto eléctrico entre la probeta prismática de ensayo y el electrodo de referencia, ejerciendo cierta presión entre ambos para garantizar el contacto eléctrico.
- Se conectó una de las barras de acero de refuerzo a evaluar (electrodo de trabajo) al terminal “WE” (*working electrode*) del potenciostato mediante cables de conexión y mordazas metálicas.
- Se conectó la barra de acero inoxidable embebida en la probeta de concreto con el terminal “CE” (*counter electrode*) del potenciostato mediante cables de conexión y mordazas metálicas.

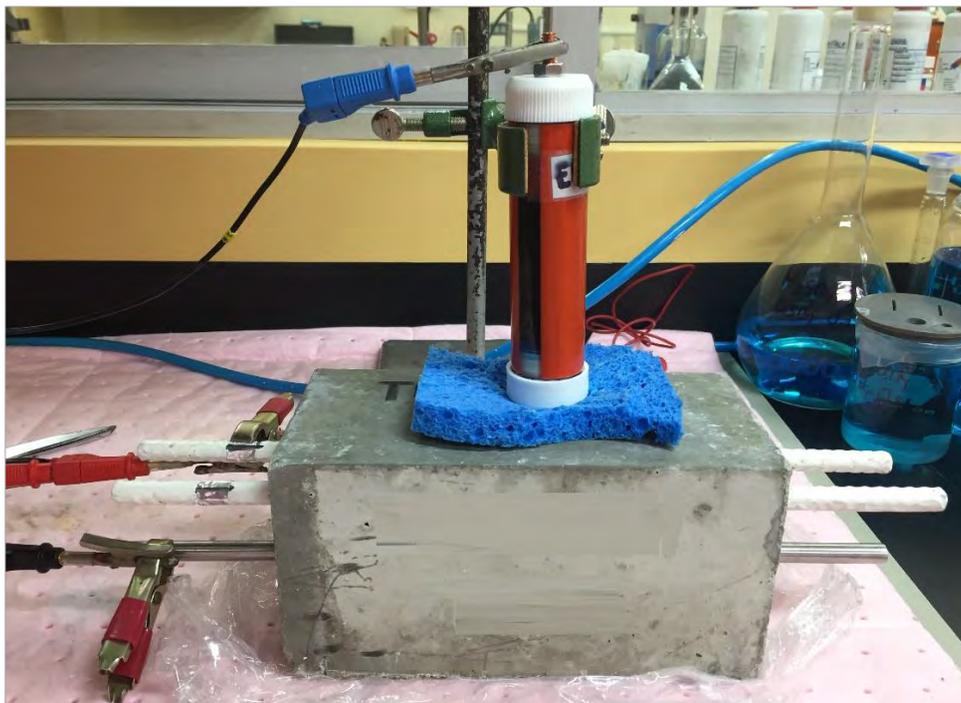


Figura 47. Montaje real de la probeta prismática para las mediciones electroquímicas

3. Metodología

Las técnicas electroquímicas realizadas a través del arreglo PC – potenciostato – celda fueron las siguientes:

A. Medición del potencial del sistema (acero de refuerzo embebido en concreto):

Se midió el potencial del sistema (referido al electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre) en un periodo de tiempo delimitado, en condiciones de circuito abierto. Mediante el análisis de la curva E vs. tiempo se determinó el valor del potencial de corrosión E_{corr} , el cual se define como el potencial alcanzado luego de un periodo de estabilización. En la presente investigación, el E_{corr} se definió como el último valor registrado después de haber transcurrido 30 minutos de estabilización.

B. Estimación de la velocidad de corrosión:

Una vez definido el E_{corr} mediante la anterior técnica electroquímica, se efectuó la técnica de polarización lineal mediante un barrido de potencial (polarización) en el rango de ± 30 mV vs.

E_{corr} (en sentido catódico y anódico). A partir de ello, se graficó la curva de polarización lineal en base a la corriente resultante (I) versus el potencial (E) (ver Figura 48), donde la pendiente corresponde a la Resistencia a la Polarización, R_p , la cual se definió como la pendiente de la regresión lineal o ajuste lineal de la curva de polarización ($\Delta E/\Delta I$), y se calculó a partir de las mediciones del software NOVA 2.1.3.

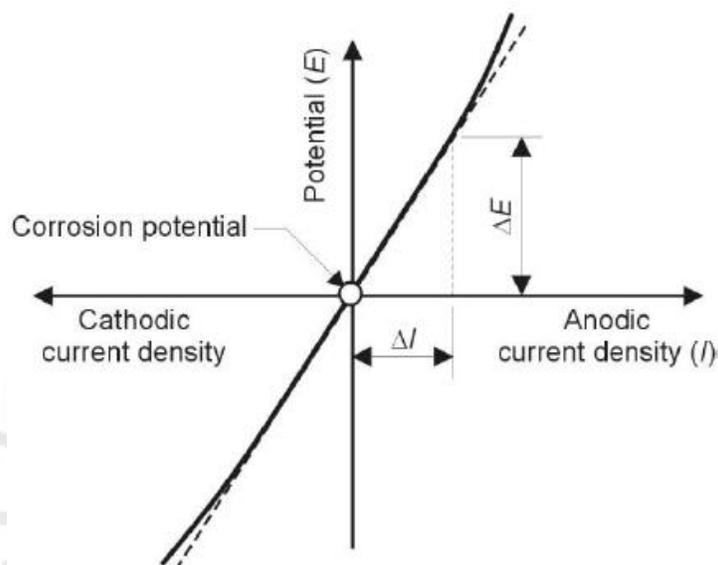


Figura 48. Curva de polarización lineal a partir del potencial de corrosión E_{corr}
Tomado de *Corrosion of Steel in Concrete*, por L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedferri y R. Polder, Alemania [25]

En la Tabla 32 se muestra un cuadro que resume estas condiciones y parámetros:

Tabla 32

Condiciones y parámetros para las mediciones electroquímicas

Condición / Parámetro	Espécimen de concreto armado
Electrodo de referencia	Cu/CuSO ₄ sat
Electrodo de trabajo	Barras de acero de refuerzo
Electrodo auxiliar	Barra de acero inoxidable
Tiempo de medición para obtener E_{corr}	1800 segundos
Rango de barrido de potencial (polarización)	± 30 mV vs. E_{corr}

La superficie polarizada se calculó como el área de la superficie de la barra de acero sin recubrimiento epóxico ($\varnothing=3/8''$, $L=12.70$ cm), expuesta al daño de los cloruros, igual a 37.97 cm^2 .

A partir de los valores de R_p obtenidos mediante la técnica electroquímica de polarización, se calculó la corriente de corrosión (I_{corr}), de acuerdo a la fórmula de Stern y Geary:

$$I_{corr} = \frac{B}{R_p}$$

Donde B , constante de resistencia a la polarización o constante de corrosividad, se consideró igual a 26 mV, valor que corresponde a armaduras corroyéndose, en base a la literatura técnica, donde se dispone de tablas de valores de B experimentales para diversos materiales. A partir de los valores obtenidos de tasa de corrosión i_{corr} , se calculó la velocidad de corrosión mediante: $v_{corr} = K * i_{corr}$, donde $K = 1.17$ ($\mu\text{m/año}) / (\text{mA}/\text{m}^2)$ para barras de acero.

En la Tabla 33, se resumen las principales consideraciones en la aplicación de la técnica electroquímica de polarización lineal.

Tabla 33

Resumen de consideraciones en la técnica electroquímica de polarización lineal

$R_p = (dE/i)$	R_p = resistencia a la polarización ($\Omega \cdot \text{m}^2$) dE = polarización con respecto al potencial de corrosión (mV) i = densidad de corriente aplicada (mA/m^2)
$i = I/A$	I = corriente aplicada (A) A = superficie polarizada (m^2)
$i_{corr} = B/R_p$	i_{corr} = tasa de corrosión (expresado como densidad de corriente de corrosión, mA/m^2) B = Constante Stern – Geary (mV)
$v_{corr} = K * i_{corr}$	v_{corr} = velocidad de corrosión ($\mu\text{m/año}$) $K = 1.17$ ($\mu\text{m/año}) / (\text{mA}/\text{m}^2)$

Nota. Adaptado del “Corrosion of steel in concrete,” por L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedferri y R. Polder, 2004 [25].

5.5 Etapa 5: Inspección de barras de acero de refuerzo

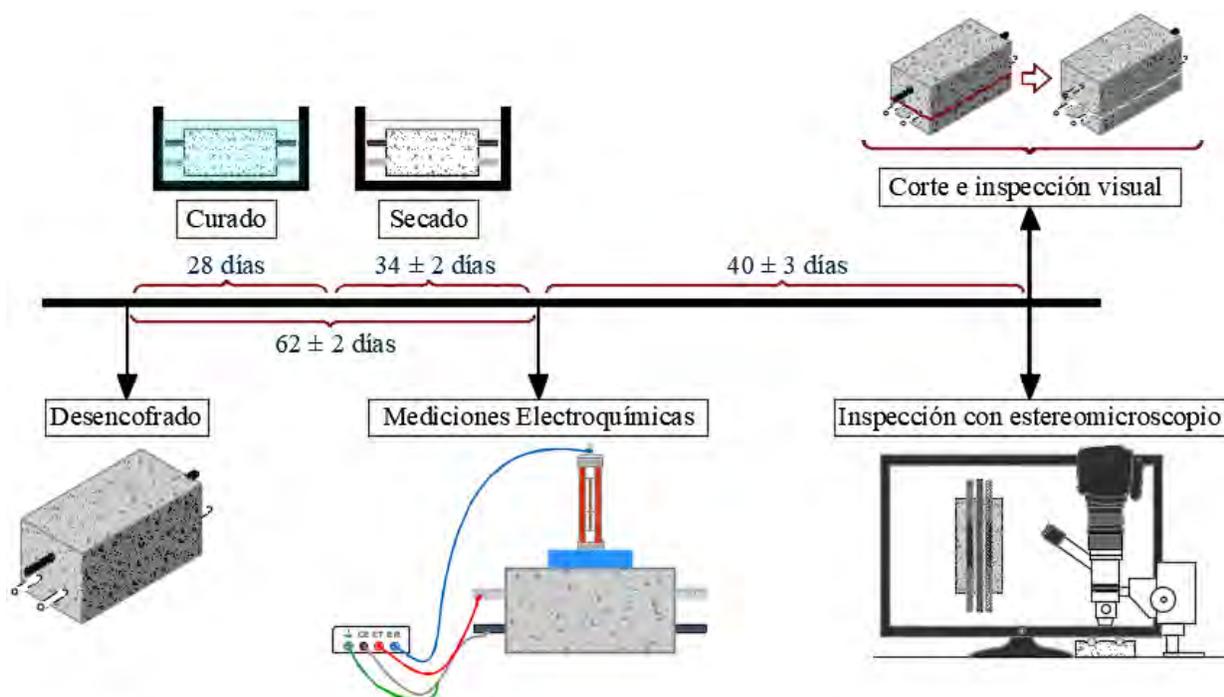


Figura 49. Línea de tiempo de ensayos realizados a las probetas prismáticas de concreto

Corte

Después de 40 días de realizar las mediciones electroquímicas, se procedió a romper las probetas prismáticas de concreto (superficie de corte paralela a la cara superior de la probeta) (ver Figura 50) con el equipo de ensayo de tracción diametral marca FORNEY (ver Figura 51), de forma que las barras de acero corrugado queden expuestas y se pueda calificar cualitativamente el proceso corrosivo del acero de refuerzo frente a su exposición a cloruros y al grado de protección de los inhibidores de corrosión en el concreto (ver Figura 52).

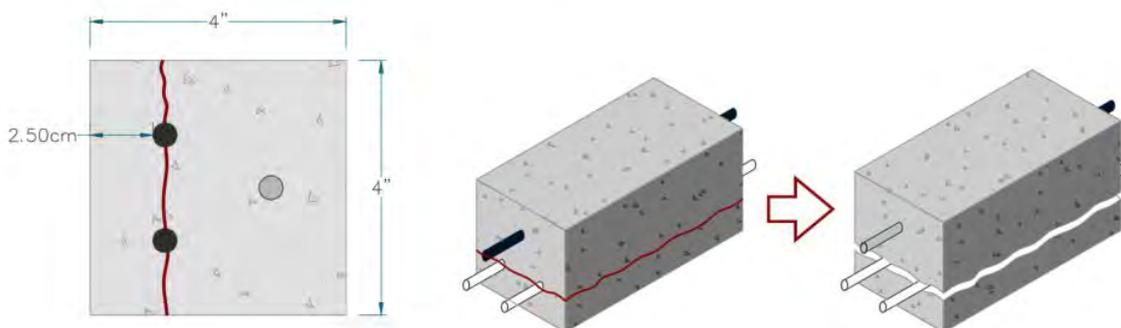


Figura 50. Esquema de corte de probetas prismáticas de concreto



Figura 51. Equipo de ensayo de tracción diametral marca FORNEY

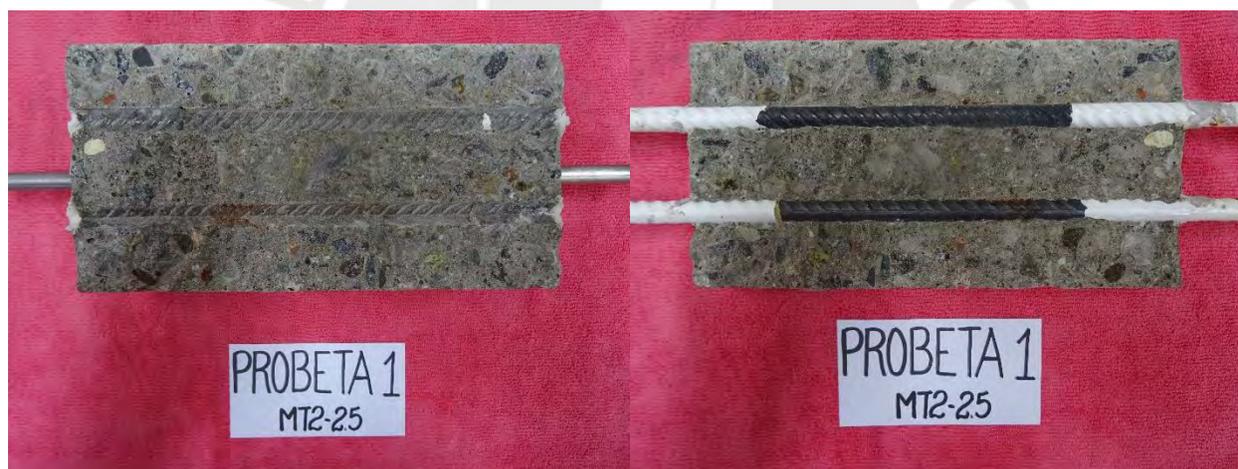


Figura 52. Corte de una probeta prismática de la mezcla MB-2.5 por la mitad

Profundidad de carbonatación

Se realizó el ensayo de carbonatación en las probetas prismáticas de concreto por el método de vía húmeda con solución de indicador ácido – base (fenolftaleína), con la finalidad de evidenciar que no se haya producido la reducción de la alcalinidad normal (pH entre 12-14) del concreto por efecto del CO_2 que se difunde desde el ambiente que lo rodea (ver Figura 53).

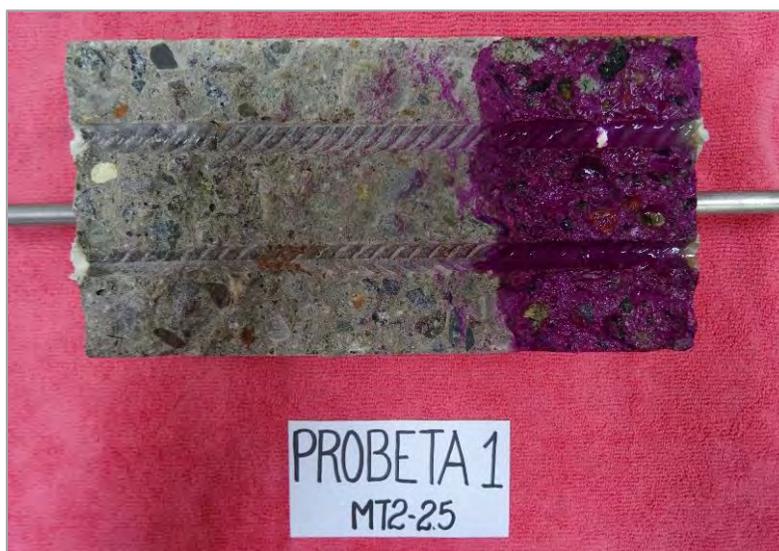


Figura 53. Profundidad de carbonatación en una probeta prismática de la mezcla MB-2.5

Inspección de barras de acero de refuerzo

Se procedió a realizar la inspección del estado de las barras de acero de refuerzo visualmente y con un equipo denominado estereomicroscopio, el cual se conectó a un monitor para mayor amplitud de visualización (ver Figura 54 y Figura 55).

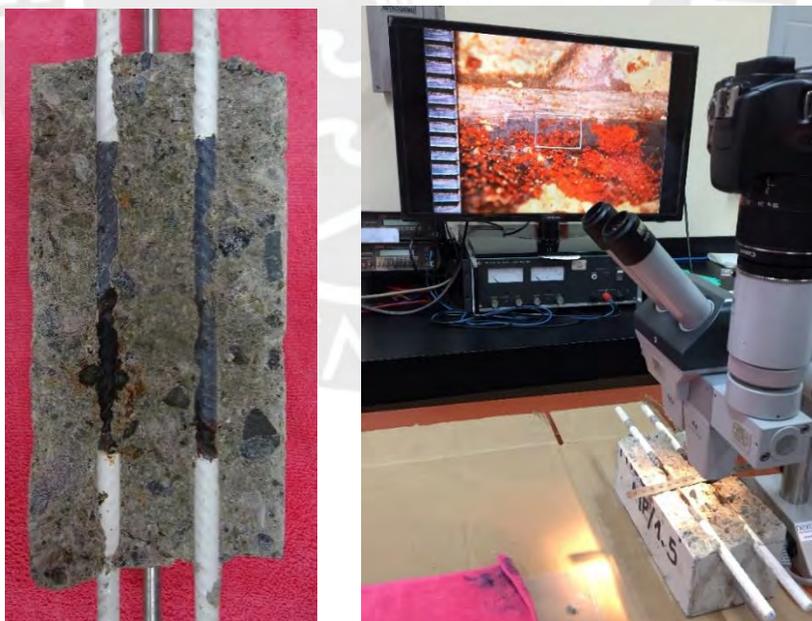


Figura 54. Inspección visual y con estereomicroscopio, daño visible por corrosión.



Figura 55. (Izquierda) Refuerzo sin daño. (Derecha) Refuerzo dañado por corrosión. Toma de micrografías a 1.6X, utilizando un estereomicroscopio marca Zeiss, modelo DRC.

La inspección visual y con estereoscopio se realizó en base a los siguientes 4 criterios:

- **Indicios de corrosión:** Se evaluó la apariencia global de cada barra de acero, calificando los cambios observados en función a los productos de corrosión visibles y a su pérdida de sección.



Figura 56. Grados de evaluación de indicios de corrosión.

- **Morfología de corrosión:** Se registró visualmente si la barra de acero se encontraba en estado pasivo (sin corrosión activa), en estado de corrosión localizada o de corrosión uniforme.
- **Extensión de la superficie dañada por corrosión:** Se realizaron estimaciones aproximadas en porcentaje de la superficie afectada por el proceso de corrosión del total de la sección expuesta de la barra de acero, sin epóxico de recubrimiento.
- **Adherencia aparente:** Se observó si las barras presentaban restos de pasta de cemento adherida (buena adherencia), o si existían zonas con poca o mala adherencia (evidencia de daño).



Figura 57. Grados de evaluación de adherencia aparente acero/concreto.

Capítulo VI. Resultados

6.1 Ensayos de control de calidad del concreto en estado fresco

Tabla 34

Resultados de ensayos de control de calidad del concreto en estado fresco

Mezcla	Fecha producción	Temperatura [°C]	Asentamiento [cm]	Contenido de Aire [%]	P.U. Real [kg/m ³]
MO	08/08/2018	20.0	9.1	2.1	2418.24
MP-0.5	09/05/2018	27.8	15.8	2.1	2400.03
MP-1.5	10/05/2018	24.1	15.5	2.4	2394.91
MP-2.5	25/05/2018	21.1	16.0	2.5	2388.07
MA-0.5	28/05/2018	21.2	15.9	1.9	2385.80
MA-1.5	29/05/2018	21.0	15.3	1.4	2349.10
MA-2.5	31/05/2018	20.2	16.0	2.5	2354.50
MB-0.5	04/06/2018	22.2	10.0	2.1	2407.00
MB-1.5	05/06/2018	21.2	14.2	2.9	2250.60
MB-2.5	07/06/2018	20.3	12.9	3.8	2324.32
MC-0.5	12/06/2018	19.7	11.5	2.6	2358.76
MC-1.5	14/06/2018	19.5	16.8	2.7	2363.60
MC-2.5	15/06/2018	19.2	12.0	3.0	2337.41

6.2 Ensayos de control de calidad del concreto en estado endurecido

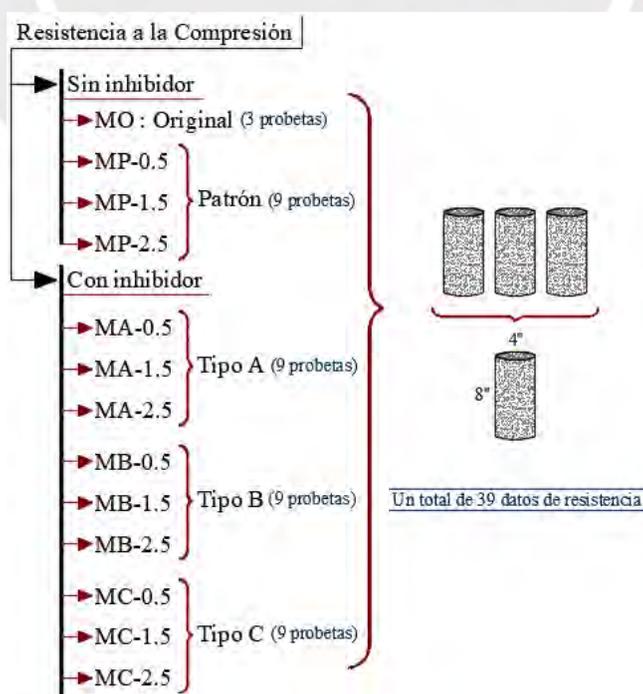


Figura 58. Esquema de 03 probetas cilíndricas elaboradas por cada mezcla de concreto

Tabla 35
 Resultados del ensayo de resistencia a compresión de las probetas cilíndricas

Mezcla	Probeta N°	Edad [días]	Diámetro promedio [cm]	Carga máxima [kN]	Resistencia a compresión [kg/cm ²]	Resistencia promedio [kg/cm ²]
MO	1	28	10.26	321.3	396	388
	2		10.31	306.2	374	
	3		10.21	317.0	395	
Tipo Patrón						
MP-0.5	1	28	10.17	280.8	353	344
	2		10.21	277.4	345	
	3		10.14	264.2	334	
MP-1.5	1	28	10.20	250.3	313	311
	2		10.19	248.0	310	
	3		10.17	248.3	312	
MP-2.5	1	28	10.29	213.5	262	270
	2		10.28	217.3	267	
	3		10.18	223.8	280	
Tipo A						
MA-0.5	1	28	10.16	269.2	339	342
	2		10.17	266.7	335	
	3		10.22	282.5	351	
MA-1.5	1	28	10.14	210.1	265	272
	2		10.20	223.7	279	
	3		10.19	217.5	272	
MA-2.5	1	28	10.19	213.1	267	273
	2		10.16	220.6	278	
	3		10.23	221.1	274	
Tipo B						
MB-0.5	1	28	10.22	241.6	301	313
	2		10.22	249.9	311	
	3		10.17	259.7	326	
MB-1.5	1	28	10.23	217.8	270	287
	2		10.23	233.9	290	
	3		10.22	242.3	301	
MB-2.5	1	28	10.22	206.6	257	267
	2		10.19	201.7	252	
	3		10.22	233.5	291	
Tipo C						
MC-0.5	1	28	10.29	276.1	339	335
	2		10.29	267.4	328	
	3		10.20	271.9	340	
MC-1.5	1	28	10.20	228.8	286	290
	2		10.19	231.0	289	
	3		10.20	235.5	294	
MC-2.5	1	28	10.21	204.9	255	269
	2		10.25	228.6	282	
	3		10.25	216.9	268	

6.3 Mediciones electroquímicas

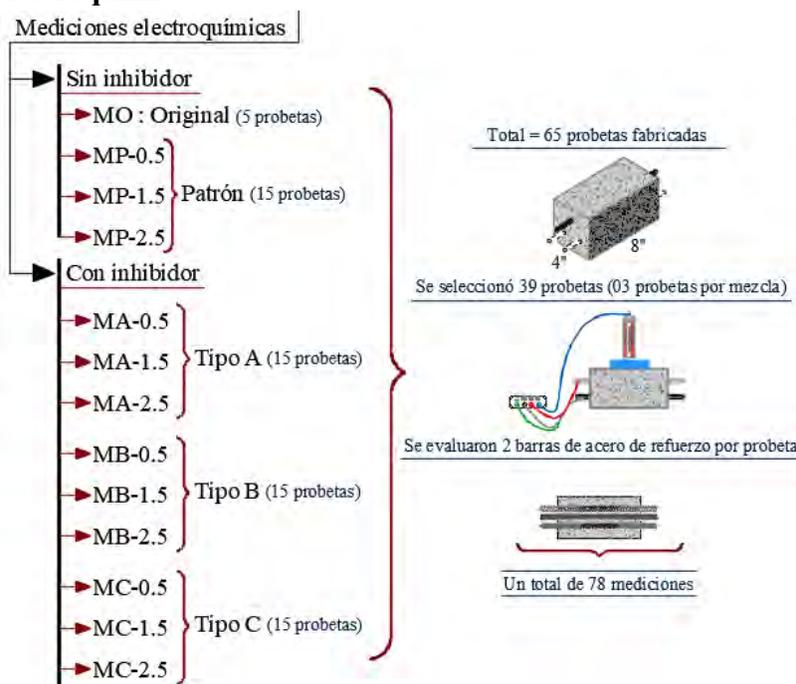


Figura 59. Esquema de probetas prismáticas ensayadas por cada mezcla de concreto

Tabla 36

Resultados de las mediciones electroquímicas de las mezclas MO y MP

Mezcla	Probeta N°	Acero	E _{corr} (V)	R _p (Ω)	i _{corr} (mA/m ²)	v _{corr} (μm/año)
MO	1	Barra N° 1	-0.193	16836	0.41	0.48
		Barra N° 2	-0.182	9798	0.70	0.82
	2	Barra N° 1	-0.288	16677	0.41	0.48
		Barra N° 2	-0.166	30764	0.22	0.26
	3	Barra N° 1	-0.260	15128	0.45	0.53
		Barra N° 2	-0.229	23410	0.29	0.34
MP-0.50	1	Barra N° 1	-0.150	2688	2.55	2.98
		Barra N° 2	-0.096	4591	1.49	1.74
	4	Barra N° 1	-0.141	8832	0.78	0.91
		Barra N° 2	-0.126	7343	0.93	1.09
	5	Barra N° 1	-0.169	6045	1.13	1.33
		Barra N° 2	-0.129	5406	1.27	1.48
MP-1.50	1	Barra N° 1	-0.493	220	31.12	36.41
		Barra N° 2	-0.482	151	45.31	53.01
	3	Barra N° 1	-0.465	534	12.82	15.00
		Barra N° 2	-0.469	255	26.80	31.36
	4	Barra N° 1	-0.482	129	53.02	62.03
		Barra N° 2	-0.495	177	38.77	45.36
MP-2.50	3	Barra N° 1	-0.646	197	34.69	40.58
		Barra N° 2	-0.698	115	59.51	69.63
	4	Barra N° 1	-0.549	153	44.76	52.37
		Barra N° 2	-0.562	147	46.49	54.39

5	Barra N° 1	-0.558	88	77.83	91.06
	Barra N° 2	-0.565	84	81.55	95.41

Tabla 37

Resultados de las mediciones electroquímicas de las mezclas MA

Mezcla	Probeta N°	Acero	Ecorr (V)	Rp (Ω)	i_{corr} (mA/m ²)	v_{corr} (μ m/año)
MA-0.5	1	Barra N° 1	-0.186	5646	1.21	1.42
		Barra N° 2	-0.148	4646	1.47	1.72
	2	Barra N° 1	-0.166	8376	0.82	0.96
		Barra N° 2	-0.155	16677	0.41	0.48
	3	Barra N° 1	-0.166	6158	1.11	1.30
		Barra N° 2	-0.170	8514	0.80	0.94
MA-1.5	1	Barra N° 1	-0.445	425	16.10	18.84
		Barra N° 2	-0.467	402	17.03	19.92
	2	Barra N° 1	-0.489	326	20.98	24.54
		Barra N° 2	-0.482	349	19.61	22.94
	3	Barra N° 1	-0.475	276	24.78	28.99
		Barra N° 2	-0.461	360	19.01	22.24
MA-2.5	1	Barra N° 1	-0.515	226	30.36	35.52
		Barra N° 2	-0.514	164	41.77	48.87
	2	Barra N° 1	-0.523	235	29.18	34.14
		Barra N° 2	-0.521	224	30.50	35.69
	3	Barra N° 1	-0.538	296	23.13	27.07
		Barra N° 2	-0.545	159	43.14	50.47

Tabla 38

Resultados de las mediciones electroquímicas de las mezclas MB

Mezcla	Probeta N°	Acero	Ecorr (V)	Rp (Ω)	i_{corr} (mA/m ²)	v_{corr} (μ m/año)
MB-0.5	1	Barra N° 1	-0.193	2797	2.45	2.86
		Barra N° 2	-0.243	2709	2.53	2.96
	2	Barra N° 1	-0.212	2670	2.56	3.00
		Barra N° 2	-0.184	16677	0.41	0.48
	3	Barra N° 1	-0.173	3343	2.05	2.40
		Barra N° 2	-0.176	2831	2.42	2.83
MB-1.5	1	Barra N° 1	-0.456	242	28.33	33.15
		Barra N° 2	-0.441	406	16.87	19.73
	2	Barra N° 1	-0.467	295	23.23	27.18
		Barra N° 2	-0.443	583	11.75	13.75
	3	Barra N° 1	-0.427	666	10.28	12.03
		Barra N° 2	-0.444	300	22.85	26.74
MB-2.5	1	Barra N° 1	-0.546	277	24.73	28.93
		Barra N° 2	-0.533	225	30.43	35.61
	2	Barra N° 1	-0.563	219	31.21	36.52
		Barra N° 2	-0.554	393	17.42	20.39

3	Barra N° 1	-0.580	127	53.80	62.94
	Barra N° 2	-0.573	282	24.27	28.39

Tabla 39

Resultados de las mediciones electroquímicas de las mezclas MC

Mezcla	Probeta N°	Acero	Ecorr (V)	Rp (Ω)	i_{corr} (mA/m ²)	v_{corr} (μ m/año)
MC-0.5	1	Barra N° 1	-0.239	14304	0.48	0.56
		Barra N° 2	-0.236	4913	1.39	1.63
	2	Barra N° 1	-0.223	13915	0.49	0.58
		Barra N° 2	-0.198	16677	0.41	0.48
	3	Barra N° 1	-0.229	12221	0.56	0.66
		Barra N° 2	-0.266	10917	0.63	0.73
MC-1.5	1	Barra N° 1	-0.442	319	21.47	25.13
		Barra N° 2	-0.447	479	14.29	16.71
	2	Barra N° 1	-0.447	572	11.96	14.00
		Barra N° 2	-0.465	481	14.25	16.67
	3	Barra N° 1	-0.471	519	13.19	15.43
		Barra N° 2	-0.442	594	11.53	13.49
MC-2.5	1	Barra N° 1	-0.605	115	59.29	69.37
		Barra N° 2	-0.558	118	58.25	68.15
	2	Barra N° 1	-0.596	433	15.81	18.50
		Barra N° 2	-0.578	339	20.18	23.61
	3	Barra N° 1	-0.643	142	48.12	56.30
		Barra N° 2	-0.679	145	47.16	55.18

6.4 Inspección visual

Tabla 40

Inspección visual de las mezclas MO y MP-0.5

Mezcla	Probeta N°	Acero	Indicios de Corrosión	Morfología	Extensión	Adherencia
MO	1	Barra N° 1	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Regular
		Barra N° 2	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Buena
	2	Barra N° 1	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Regular
		Barra N° 2	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Buena
	3	Barra N° 1	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Buena
		Barra N° 2	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Regular
MP-0.5	1	Barra N° 1	Corrosión leve	Localizada	8%	Poca
		Barra N° 2	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	1%	Regular
	4	Barra N° 1	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Buena
		Barra N° 2	Corrosión leve	Localizada	4%	Poca
	5	Barra N° 1	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Poca
		Barra N° 2	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Regular

Tabla 41
Inspección visual de las mezclas MP-1.5 y MP-2.5

Mezcla	Probeta N°	Acero	Indicios de Corrosión	Morfología	Extensión	Adherencia
MP-1.50	1	Barra N° 1	Corrosión severa	Uniforme	56%	Regular
		Barra N° 2	Corrosión moderada	Localizada	28%	Regular
	3	Barra N° 1	Corrosión leve	Localizada	13%	Regular
		Barra N° 2	Corrosión severa	Uniforme	62%	Regular
	4	Barra N° 1	Corrosión severa	Uniforme	33%	Regular
		Barra N° 2	Corrosión severa	Uniforme	37%	Buena
MP-2.50	3	Barra N° 1	Corrosión moderada	Localizada	24%	Regular
		Barra N° 2	Corrosión severa	Uniforme	57%	Regular
	4	Barra N° 1	Corrosión severa	Uniforme	42%	Poca
		Barra N° 2	Corrosión severa	Uniforme	43%	Poca
	5	Barra N° 1	Corrosión severa	Uniforme	46%	Buena
		Barra N° 2	Corrosión moderada	Localizada	25%	Buena

Tabla 42
Inspección visual de las mezclas MA

Mezcla	Probeta N°	Acero	Indicios de Corrosión	Morfología	Extensión	Adherencia
MA-0.5	1	Barra N° 1	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Poca
		Barra N° 2	Corrosión leve	Localizada	10%	Regular
	2	Barra N° 1	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	1%	Poca
		Barra N° 2	Corrosión leve	Localizada	2%	Regular
	3	Barra N° 1	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	1%	Buena
		Barra N° 2	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Buena
MA-1.5	1	Barra N° 1	Corrosión moderada	Localizada	29%	Regular
		Barra N° 2	Corrosión severa	Uniforme	43%	Buena
	2	Barra N° 1	Corrosión severa	Uniforme	50%	Regular
		Barra N° 2	Corrosión moderada	Localizada	26%	Poca
	3	Barra N° 1	Corrosión moderada	Localizada	16%	Buena
		Barra N° 2	Corrosión leve	Localizada	2%	Muy buena
MA-2.5	1	Barra N° 1	Corrosión moderada	Localizada	16%	Buena
		Barra N° 2	Corrosión severa	Uniforme	40%	Regular
	2	Barra N° 1	Corrosión severa	Uniforme	44%	Regular
		Barra N° 2	Corrosión moderada	Localizada	28%	Buena
	3	Barra N° 1	Corrosión moderada	Localizada	22%	Buena
		Barra N° 2	Corrosión severa	Uniforme	57%	Buena

Tabla 43
Inspección visual de las mezclas MB

Mezcla	Probeta N°	Acero	Indicios de Corrosión	Morfología	Extensión	Adherencia
MB-0.5	1	Barra N° 1	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Regular
		Barra N° 2	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Buena
	2	Barra N° 1	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Regular
		Barra N° 2	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Regular
	3	Barra N° 1	Corrosión leve	Localizada	11%	Poca
		Barra N° 2	Corrosión leve	Localizada	14%	Regular
MB-1.5	1	Barra N° 1	Corrosión moderada	Localizada	23%	Buena
		Barra N° 2	Corrosión moderada	Localizada	27%	Buena
	2	Barra N° 1	Corrosión moderada	Localizada	16%	Poca
		Barra N° 2	Corrosión moderada	Localizada	27%	Regular
	3	Barra N° 1	Corrosión moderada	Localizada	30%	Regular
		Barra N° 2	Corrosión severa	Uniforme	35%	Poca
MB-2.5	1	Barra N° 1	Corrosión severa	Uniforme	63%	Poca
		Barra N° 2	Corrosión leve	Localizada	15%	Poca
	2	Barra N° 1	Corrosión moderada	Localizada	25%	Buena
		Barra N° 2	Corrosión severa	Uniforme	46%	Buena
	3	Barra N° 1	Corrosión moderada	Localizada	25%	Regular
		Barra N° 2	Corrosión severa	Uniforme	53%	Regular

Tabla 44
Inspección visual de las mezclas MC

Mezcla	Probeta N°	Acero	Indicios de Corrosión	Morfología	Extensión	Adherencia
MC-0.5	1	Barra N° 1	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Poca
		Barra N° 2	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Regular
	2	Barra N° 1	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Regular
		Barra N° 2	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Regular
	3	Barra N° 1	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Regular
		Barra N° 2	Ausencia de corrosión	Sin corrosión	0%	Regular
MC-1.5	1	Barra N° 1	Corrosión leve	Localizada	10%	Buena
		Barra N° 2	Corrosión leve	Localizada	7%	Regular
	2	Barra N° 1	Corrosión moderada	Localizada	15%	Regular
		Barra N° 2	Corrosión severa	Uniforme	38%	Regular
	3	Barra N° 1	Corrosión leve	Localizada	8%	Buena
		Barra N° 2	Corrosión leve	Localizada	14%	Regular
MC-2.5	1	Barra N° 1	Corrosión severa	Uniforme	41%	Regular
		Barra N° 2	Corrosión muy severa	Uniforme	71%	Poca
	2	Barra N° 1	Corrosión severa	Uniforme	44%	Buena
		Barra N° 2	Corrosión moderada	Localizada	24%	Regular
	3	Barra N° 1	Corrosión severa	Uniforme	53%	Regular
		Barra N° 2	Corrosión severa	Uniforme	21%	Buena

A continuación, se muestran los resultados de la inspección visual de 4 probetas como ejemplo de las evaluaciones realizadas:

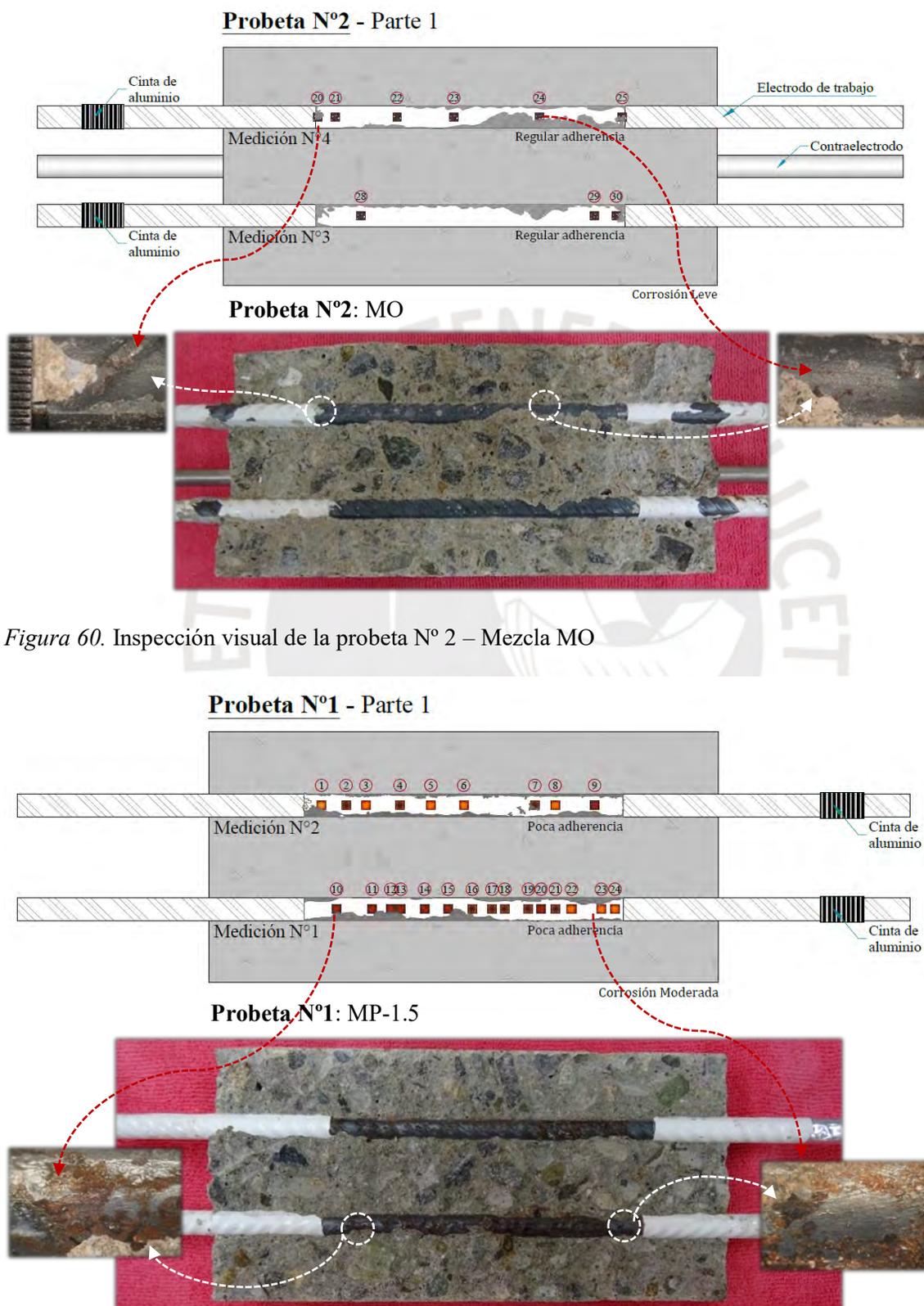


Figura 60. Inspección visual de la probeta N° 2 – Mezcla MO

Figura 61. Inspección visual de la probeta N° 1 – Mezcla MP-1.5

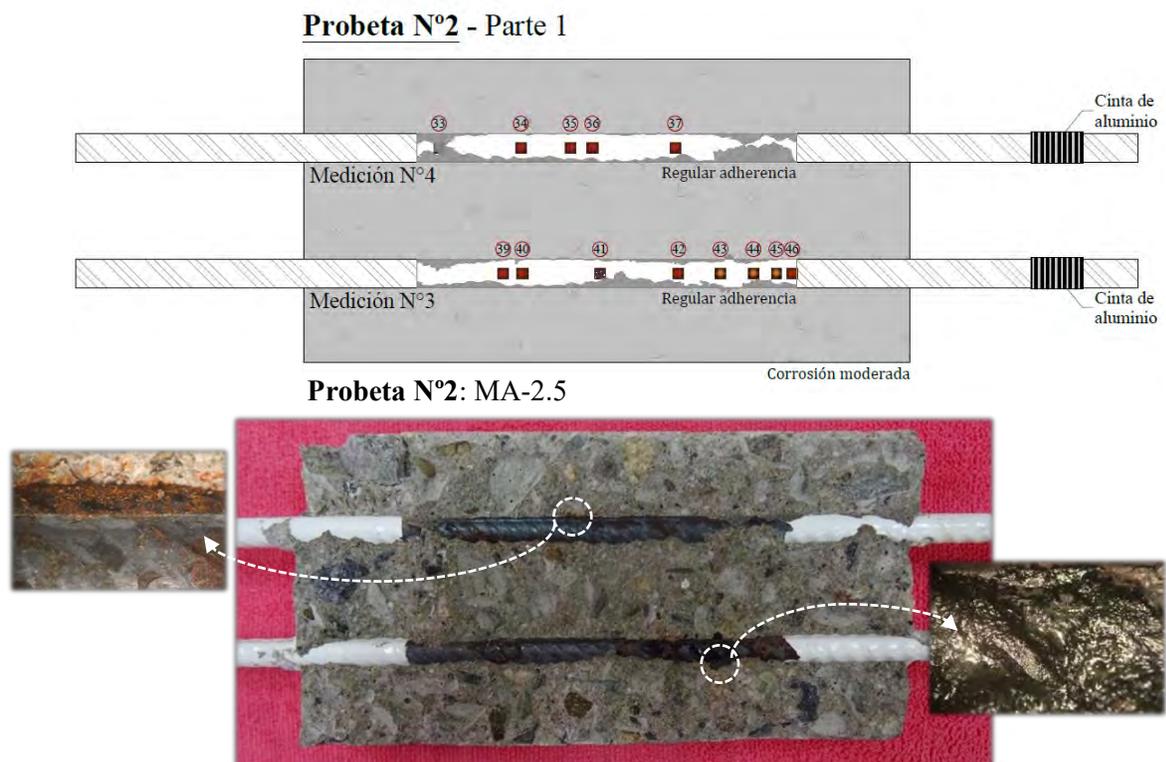


Figura 62. Inspección visual de la probeta N° 2 – Mezcla MA-2.5

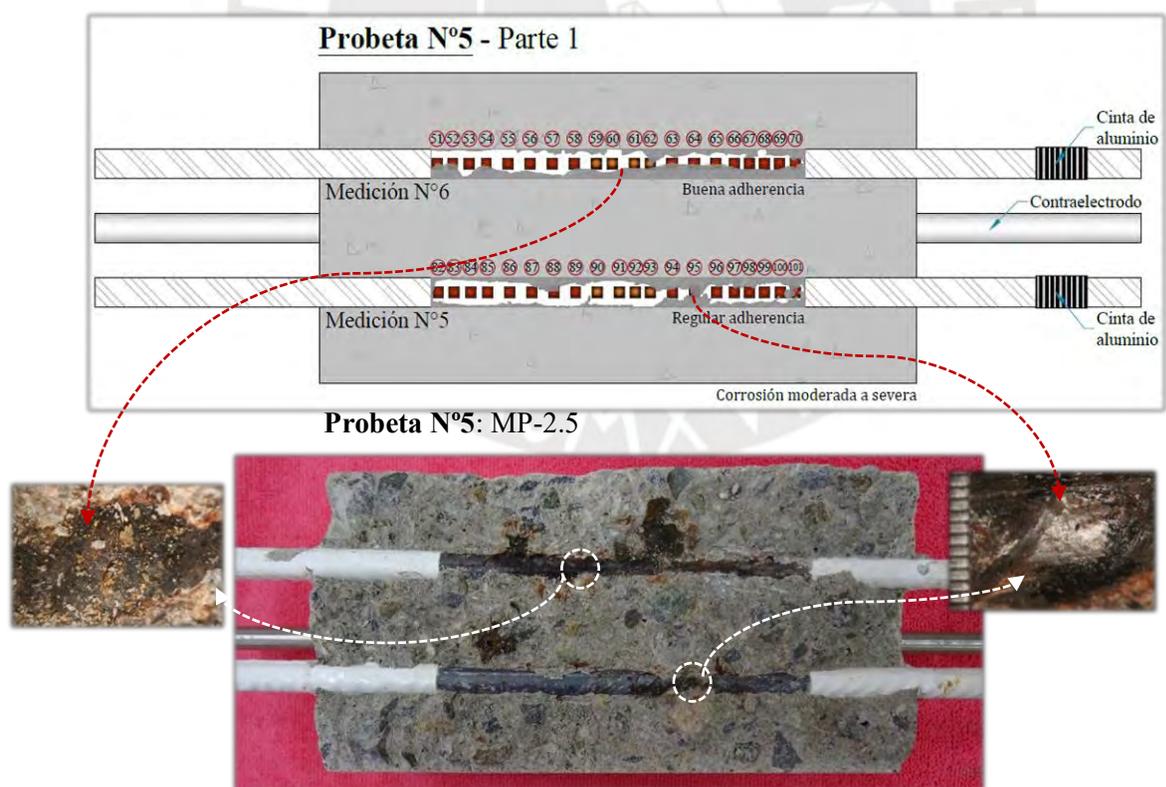


Figura 63. Inspección visual de la probeta N° 5 – Mezcla MP-2.5

Capítulo VII. Discusión de Resultados

7.1 Ensayos de control de calidad del concreto en estado fresco

En la Tabla 45, se muestran los parámetros definidos para verificar y cuantificar el cumplimiento de estos criterios técnicos y evaluar en qué medida fueron satisfechos los requerimientos esperados. Si bien el control de calidad no garantiza de por sí la calidad de las mezclas de concreto, es una herramienta para medir los resultados de la planificación y ejecución de la metodología propuesta, y se sustenta en el uso que se le da a la información que aporta.

Tabla 45

Parámetros de control de calidad del concreto en estado fresco

Ensayo	Parámetro	
Temperatura	13°C – 30°C	E.060 Concreto Armado [36]
Asentamiento	10 cm – 15 cm, falla normal	Especificaciones de diseño
P.U. Real	2200 kg/m ³ – 2400 kg/m ³	PCA [32]
Contenido de aire	1% - 3%	ASTM C138/C138-17a [13]

Temperatura

Los valores de temperatura de las 13 mezclas de concreto resultaron dentro del rango normalizado (ver Figura 64), lo que evidencia que todas las mezclas de concreto desarrollaron su proceso de endurecimiento inicial a una velocidad adecuada y similar. Las variaciones entre los valores registrados se debieron a las distintas condiciones ambientales en los días de vaciado.

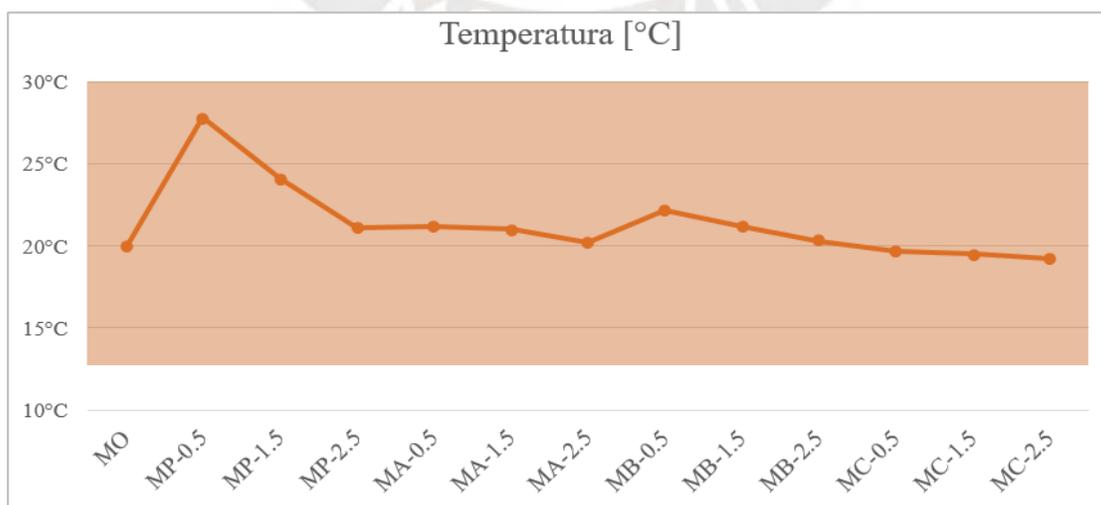


Figura 64. Resultados obtenidos de temperatura de las 13 mezclas de concreto

Asentamiento

Si bien los valores de slump de 8 mezclas de concreto (ver Figura 65) resultaron fuera del rango de diseño (10 – 15 cm), la diferencia máxima que se obtuvo fue inferior a 1”, la cual no es un valor considerable, solo en caso se demuestre que el concreto tiene la plasticidad y cohesión necesarias para su correcta colocación y compactación en los moldes cilíndricos y prismáticos. Por ello, se analizó el tipo de falla de su asentamiento y se registraron fallas normales, lo que garantizó la obtención de probetas representativas de estas 8 mezclas de concreto (ver Figura 66).

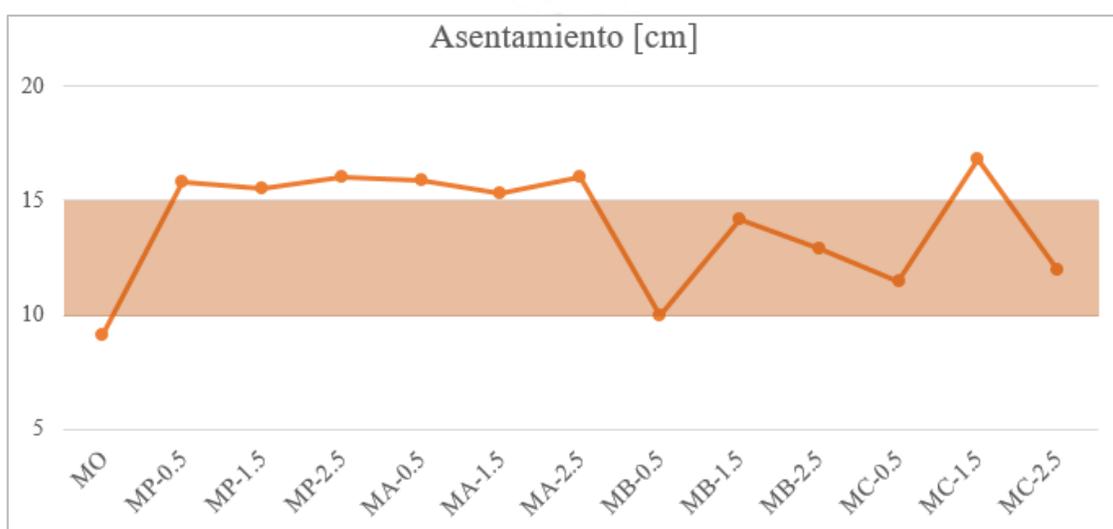


Figura 65. Resultados obtenidos de asentamiento de las 13 mezclas de concreto



Figura 66. Evaluación del tipo de falla de las mezclas con slump fuera del límite especificado

Peso unitario

Los valores resultaron dentro del rango normalizado (ver Figura 67), a excepción de la mezcla MO, cuyo peso unitario excedió en 18 kg/m^3 el límite máximo. Esta ligera diferencia en la masa volumétrica se originó por la condición de humedad de los agregados en el día de vaciado.

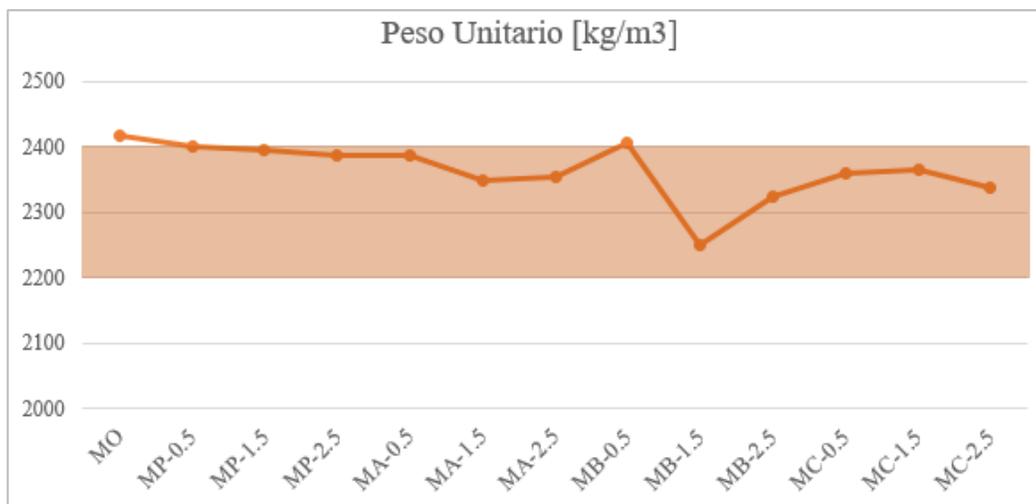


Figura 67. Resultados obtenidos de peso unitario de las 13 mezclas de concreto

Contenido de aire

Los valores resultaron dentro del rango normalizado, a excepción de la mezcla MB-2.5, cuyo contenido de aire excedió en 0.8% el límite máximo (ver Figura 68). En base a este resultado, se aplicó una doble y uniforme capa de desmoldante en los moldes para prevenir la formación de burbujas de aire en el acabado de las probetas de concreto que afecte su durabilidad.

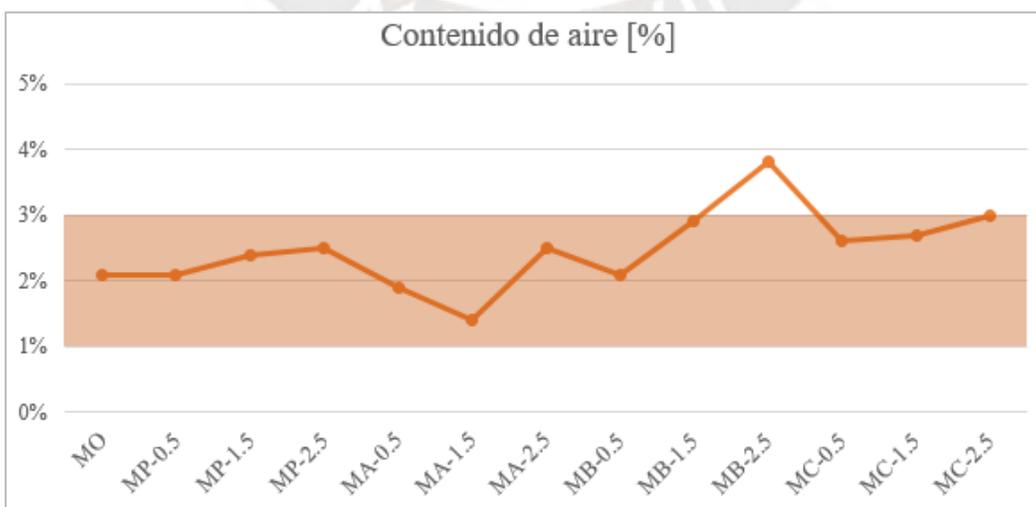


Figura 68. Resultados obtenidos de contenido de aire de las 13 mezclas de concreto

7.2 Ensayos de control de calidad del concreto en estado endurecido

En la presente investigación, se diseñaron mezclas de concreto con relación agua/cemento igual a 0.60, con el objetivo de reproducir un concreto estructural (ver Tabla 46). En la Figura 69 se observa que las 13 mezclas de concreto alcanzaron un $f'c$ mayor a 210 kg/cm².

Tabla 46

Dependencia entre la relación w/c y la resistencia a compresión del concreto

Resistencia a compresión a los 28 días, kg/cm ²	Relación agua-cemento, sin aire incorporado
450	0.38
400	0.42
350	0.47
300	0.54
257	0.60
250	0.61
200	0.69
150	0.79

Nota. Adaptado del ACI 211.1

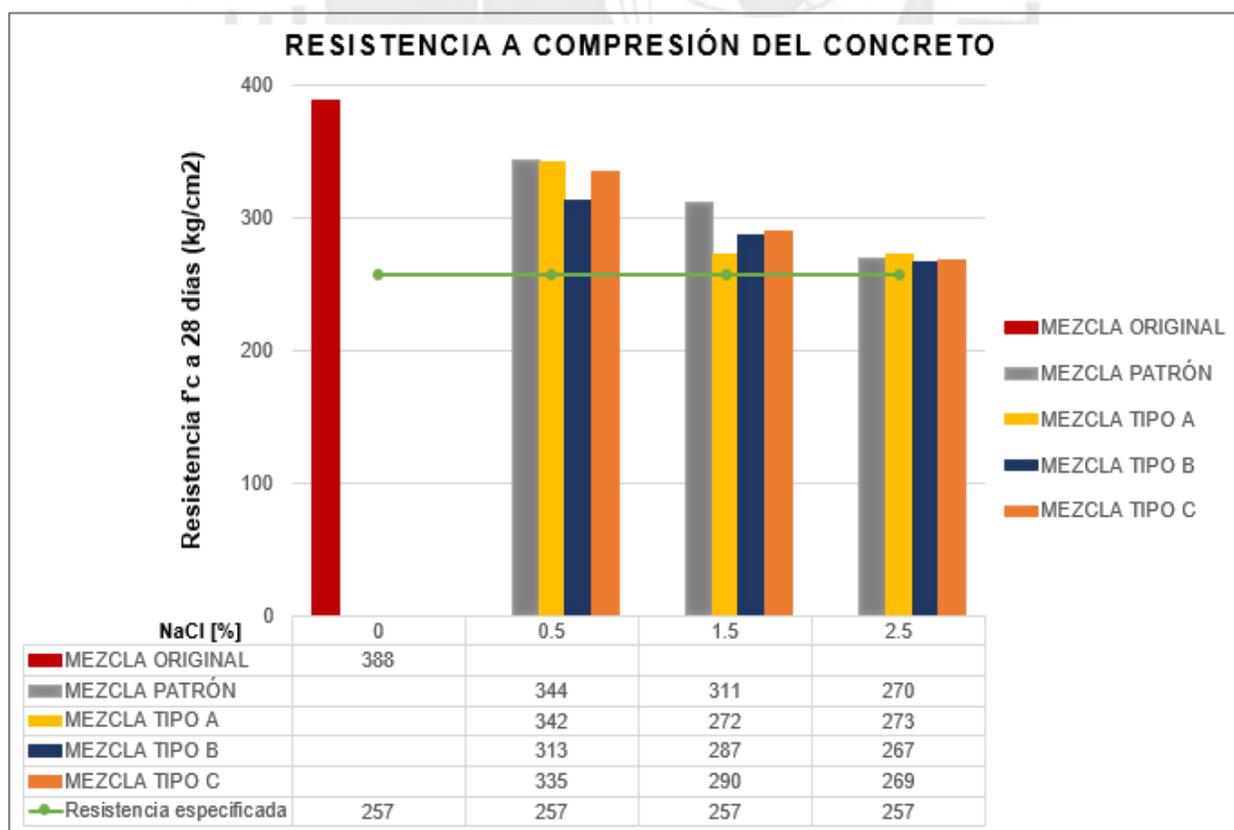


Figura 69. Resultados de resistencia a compresión de las 13 mezclas de concreto diseñadas

La resistencia a compresión es el parámetro de calidad más importante que proporciona información acerca de las características resistentes del concreto, pues si bien la calidad del concreto abarca un concepto más amplio e integral, este parámetro es de suma importancia, pues en base a él se realizan los diseños estructurales.

Según los resultados obtenidos, se verifica que las 13 mezclas de concreto son muestras representativas de un concreto estructural, garantizando de esta forma la calidad de la muestra estadística, constituida por observaciones que representan el comportamiento del concreto colocado actualmente.

Adicionalmente, en la Figura 69 se puede evidenciar una caída de los valores de resistencia a compresión de las mezclas de concreto en función al aumento de la concentración de Cl^- presente en ellas. Esto debido a que el cloruro constituye un componente importante en formulaciones de aditivos aceleradores de fraguado y, como regla general, el empleo de aditivos aceleradores de fraguado, cuyo mecanismo de acción está relacionado con la modificación de la hidratación de los aluminatos, origina reducciones en la resistencia a largo plazo, siendo mayor el impacto sobre las resistencias finales cuanto mayor sea la aceleración del fraguado y, por tanto, cuanto mayor sea la concentración de Cl^- en el concreto.

7.3 Mediciones electroquímicas

Evaluación estadística de atipicidad

Se aplicaron 2 técnicas estadísticas para la evaluación de valores atípicos (ver Tabla 47), con la finalidad de identificarlos y excluirlos del análisis estadístico de las mediciones electroquímicas para evitar que los resultados se vean alterados.

Tabla 47
Técnicas estadísticas para evaluación de atipicidad de mediciones electroquímicas

	Prueba de Cochran	Prueba de Grubbs
Valores estadísticos	Varianza máxima: $S^2_{Lmáx}$ Suma de varianzas: $\sum_{i=1}^p S^2_{L,i}$	Valor evaluado: X_i Promedio: \bar{x} Desviación estándar: S
Valor experimental	$C_{exp} = \frac{S^2_{Lmáx}}{\sum_{i=1}^p S^2_{L,i}}$	$G_{exp} = \frac{\max x_i - \bar{x} }{s}$
Condiciones	P=3, número de probetas prismáticas evaluadas por cada tipo de mezcla de concreto n=2, número de mediciones por probeta (2 barras de acero de refuerzo por probeta)	P=3, número de probetas prismáticas evaluadas por cada tipo de mezcla de concreto
Valores críticos	v.c. 5% = 0.967 v.c. 1% = 0.993	v.c. 5% = 1.155 v.c. 1% = 1.155
Criterios	$C_{exp} \leq \text{v.c. 5\%}$: correcto $\text{v.c. 5\%} < C_{exp} \leq \text{v.c. 1\%}$: rezagado o dudoso $\text{v.c. 5\%} < C_{exp}$: atípico	$G_{exp} \leq \text{v.c. 5\%}$: correcto $\text{v.c. 5\%} < G_{exp} \leq \text{v.c. 1\%}$: rezagado o dudoso $\text{v.c. 5\%} < G_{exp}$: atípico

A. Medición de potencial del sistema (acero de refuerzo embebido en concreto)

De la evaluación estadística de atipicidad por Cochran y Grubbs (ver Apéndice C), se verificó que ninguna medición de potencial obtenida era un valor atípico que podía distorsionar los resultados de este análisis. En base a ello, se promediaron el total de los 6 valores de potencial de corrosión obtenidos por cada mezcla de concreto -2 barras de refuerzo por probeta y 3 probetas por mezcla- (ver Tabla 48). Este valor promedio se analizó de acuerdo a 2 criterios de evaluación.

Tabla 48

Resumen de mediciones de potencial después de evaluación estadística de atipicidad

MEDICIÓN DE POTENCIALES - Ecorr (V)												
	MEZCLA MO			MEZCLA MP-0.5			MEZCLA MP-1.5			MEZCLA MP-2.5		
	P1	P2	P3	P1	P4	P5	P1	P3	P4	P3	P4	P5
Barra N° 1	-0.1932	-0.2881	-0.2599	-0.1501	-0.1413	-0.1690	-0.4934	-0.4648	-0.4819	-0.6464	-0.5487	-0.5579
Barra N° 2	-0.1819	-0.1658	-0.2292	-0.0956	-0.1262	-0.1294	-0.4821	-0.4693	-0.4948	-0.6976	-0.5624	-0.5646
PROMEDIO		-0.22			-0.14			-0.48			-0.60	
	MEZCLA MA-0.5			MEZCLA MA-1.5			MEZCLA MA-2.5					
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3			
Barra N° 1	-0.1857	-0.1665	-0.1662	-0.4455	-0.4892	-0.4755	-0.5151	-0.5231	-0.5383			
Barra N° 2	-0.1475	-0.1553	-0.1702	-0.4667	-0.4823	-0.4609	-0.5142	-0.5209	-0.5453			
PROMEDIO		-0.17			-0.47			-0.53				
	MEZCLA MB-0.5			MEZCLA MB-1.5			MEZCLA MB-2.5					
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3			
Barra N° 1	-0.1930	-0.2119	-0.1729	-0.4564	-0.4673	-0.4271	-0.5457	-0.5630	-0.5795			
Barra N° 2	-0.2433	-0.1837	-0.1758	-0.4408	-0.4433	-0.4440	-0.5334	-0.5539	-0.5734			
PROMEDIO		-0.20			-0.45			-0.56				
	MEZCLA MC-0.5			MEZCLA MC-1.5			MEZCLA MC-2.5					
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3			
Barra N° 1	-0.2391	-0.2227	-0.2293	-0.4424	-0.4474	-0.4714	-0.6049	-0.5960	-0.6427			
Barra N° 2	-0.2357	-0.1984	-0.2660	-0.4472	-0.4649	-0.4417	-0.5585	-0.5777	-0.6787			
PROMEDIO		-0.23			-0.45			-0.61				

Criterios de evaluación

La medición de potencial proporciona información cualitativa sobre la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo en una estructura de concreto, pues es un valor mixto resultado de la actividad en zonas catódicas y anódicas. En la Tabla 49 se muestra una guía referencial de las condiciones y riesgos de daño asociados al valor de potencial.

Tabla 49

Criterio de valoración de potenciales

Condición	Potencial (V) vs. CSE	Observaciones	Riesgo de daño
Estado pasivo	+0.20 a -0.20	Ausencia de Cl ⁻ pH > 12.5 H ₂ O (HR↑)	Despreciable
Corrosión localizada	-0.20 a -0.60	Cl ⁻ , O ₂ , H ₂ O (HR↑)	Alto
	-0.15 a -0.60	Carbonatado O ₂ , H ₂ O, (HR↑)	Moderado Alto
Corrosión uniforme	+0.20 a -0.15	Carbonatado O ₂ , Seco, (HR↓)	Bajo
	-0.40 a -0.60	Cl ⁻ elevado, H ₂ O o Carbonatado H ₂ O, (HR↑)	Alto
Corrosión uniforme	< -0.60	↑Cl ⁻ , ↑H ₂ O (sin O ₂)	Despreciable

Nota. Adaptado de “Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado,” por CYTED, 1997 [48].

Según las observaciones, se descartaron algunos criterios (ver Tabla 50), pues al evaluar la carbonatación en las probetas, se verificó que ninguna había sido dañada por efecto del CO₂ reduciendo su alcalinidad. Asimismo, ninguna probeta fue expuesta a un ambiente sin O₂.

Tabla 50

Criterio de valoración de potenciales para evaluación de probetas prismáticas

Condición	Potencial (V) vs. CSE	Observaciones	Riesgo de daño
Estado pasivo	+0.20 a -0.20	Ausencia de Cl ⁻ pH > 12.5 H ₂ O (HR↑)	Despreciable
Corrosión localizada	-0.20 a -0.60	Cl ⁻ , O ₂ , H ₂ O (HR↑)	Alto
Corrosión uniforme	-0.40 a -0.60	Cl ⁻ elevado, H ₂ O o Carbonatado H ₂ O, (HR↑)	Alto

La ASTM C876-15 establece otro criterio de evaluación de los potenciales obtenidos en referencia al electrodo CSE y la probabilidad que implican de que se esté produciendo corrosión del acero de refuerzo en el área de medición. En la Tabla 51 se especifica esta interpretación:

Tabla 51
Criterio de interpretación de potenciales

Potencial de corrosión, E_{corr} (V vs CSE)	Riesgo de daño	Interpretación
$E > -0.20$	< 10%	Probabilidad inferior al 10% de que se está produciendo corrosión en el área de medición.
$-0.20 > E > -0.35$	50%	La actividad de corrosión del acero de refuerzo en el área de medición es incierta.
$E < -0.35$	> 90%	Probabilidad superior al 90% de que se está produciendo corrosión en el área de medición.

Nota. Tomado de ASTM C876-15 “Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete” [19].

En base a estos 2 criterios de interpretación de potenciales de corrosión (ver Tabla 50 y Tabla 51) y a la inspección visual realizada en cada muestra, se evaluó el comportamiento de las mezclas, en función al aumento del contenido de cloruro de sodio añadido al concreto.

- En la Figura 70 se observa que la mezcla patrón mantiene protegido al acero de refuerzo cuando la concentración de NaCl añadido al concreto asciende a 0.5%, es decir, todavía propicia el estado de pasivación de la barra con un riesgo de daño despreciable. Sin embargo, para una concentración de NaCl añadido igual a 1.5% y 2.5%, se observa que el concreto se ve impedido de formar la capa protectora sobre la superficie del acero, registrándose un estado activo de corrosión uniforme con alta probabilidad de daño (ver Figura 71). De acuerdo a lo anterior, la película pasiva, formada debido al pH alcalino del concreto y compuesta por iones hidroxilo OH^- , actúa como una barrera entre el concreto y el acero hasta un nivel de concentración de NaCl añadido a la mezcla igual a 0.5%, pero para una concentración mayor no se puede garantizar que estos iones OH^- modifiquen la reacción anódica y formen productos de corrosión no solubles que

protejan la superficie del acero $-\text{Fe}(\text{OH})_2-$, debido a la concentración suficiente de iones cloruro añadidos al concreto que se adsorben sobre la barra y compiten con la adsorción de los iones OH^- sobre la superficie del metal a proteger, impidiéndolo a alcanzar su estado pasivo.

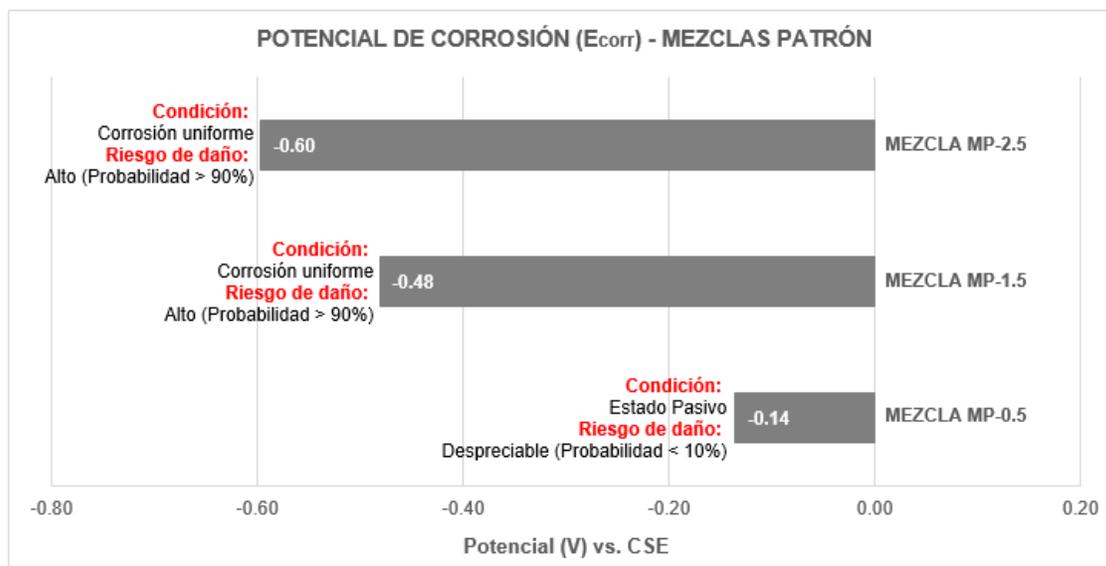


Figura 70. Interpretación de valores de potencial de corrosión promedio de las mezclas MP

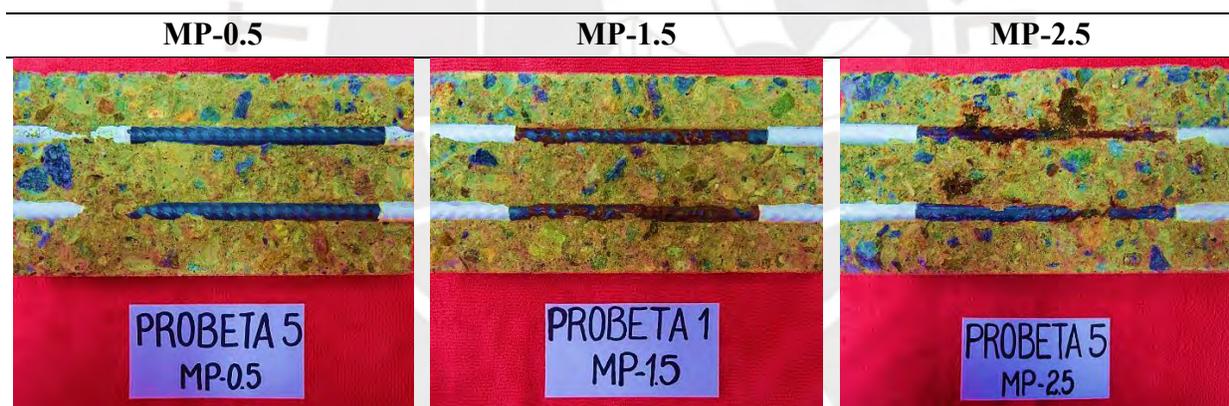


Figura 71. Comparación visual entre las mezclas MP en función al aumento de $[\text{NaCl}]$

- En la Figura 72 se observa que la mezcla con el inhibidor de corrosión A mantiene protegido al acero de refuerzo cuando la concentración de NaCl añadido al concreto asciende a 0.5%, es decir, propicia el estado de pasivación de la barra con un riesgo de daño despreciable. Sin embargo, para una concentración de NaCl añadido igual a 1.5% y 2.5%, se observa que el concreto se ve impedido de formar la capa protectora sobre la superficie del acero, registrándose un estado activo de corrosión localizada o uniforme, en función de la concentración de NaCl , con alta

probabilidad de daño (ver Figura 73). De acuerdo a lo anterior, el inhibidor de corrosión inorgánico A actúa como pasivador y estabiliza la película pasiva por su capacidad de oxidar los iones ferrosos (Fe^{2+}) a iones férricos (Fe^{3+}) –productos menos solubles– hasta un nivel de concentración de NaCl añadido a la mezcla igual a 0.5%, pero para una concentración mayor en el concreto no se puede garantizar su efectividad, ya sea a causa de su mecanismo de acción o de su insuficiente dosificación técnica para que resulte eficaz, debido a la alta concentración de iones cloruro añadidos al concreto que se adsorben sobre la barra y obstruyen el mecanismo de acción del compuesto inorgánico sobre la reacción anódica, impidiendo al acero de refuerzo alcanzar su estado pasivo.

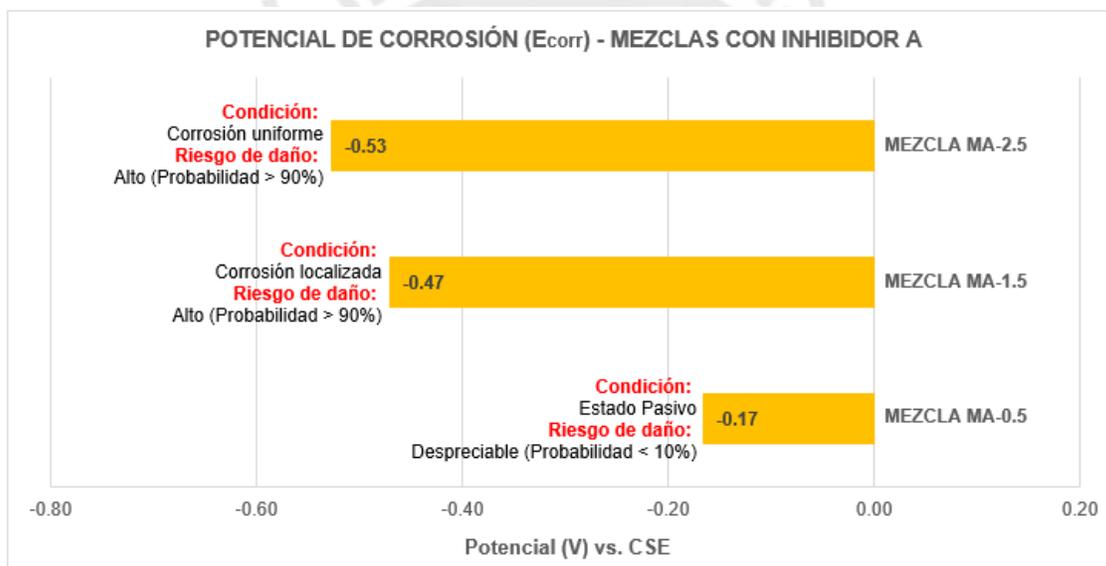


Figura 72. Interpretación de valores de potencial de corrosión promedio de las mezclas MA

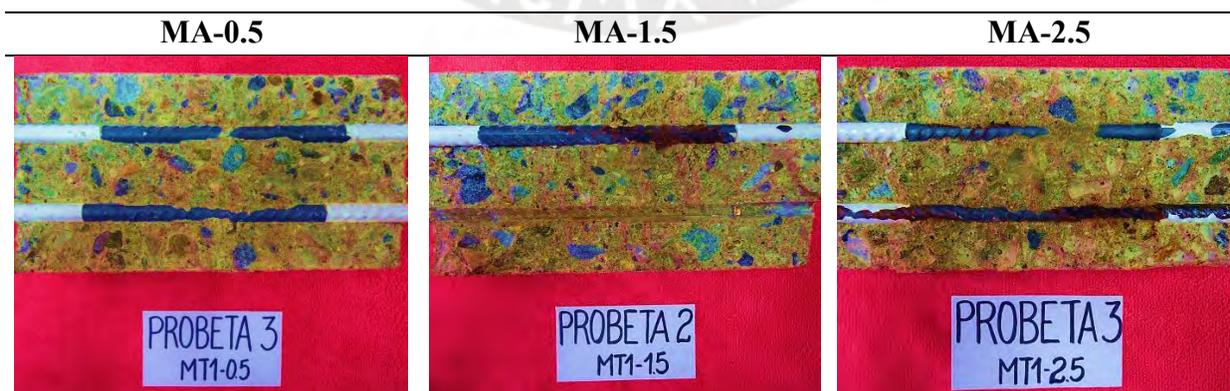


Figura 73. Comparación visual entre las mezclas MA en función al aumento de $[\text{NaCl}]$

En la Figura 74 se observa que la mezcla con el inhibidor de corrosión B mantiene protegido al acero de refuerzo cuando la concentración de NaCl añadido al concreto asciende a 0.5%, es decir, propicia el estado de pasivación de la barra con un riesgo de daño despreciable. Sin embargo, para una concentración de NaCl añadido igual a 1.5% y 2.5%, se observa que el concreto se ve impedido de formar la capa protectora sobre la superficie del acero, registrándose un estado activo de corrosión localizada con alta probabilidad de daño (ver Figura 75). De acuerdo a lo anterior, el inhibidor de corrosión orgánico B se adsorbe sobre la superficie del acero de refuerzo protegiéndolo del proceso de corrosión, hasta un nivel de concentración de NaCl añadido a la mezcla igual a 0.5%, pero para una concentración mayor en el concreto no se puede garantizar su efectividad, ya sea a causa de su mecanismo de acción o de su insuficiente dosificación técnica para que resulte eficaz, debido a la alta concentración de iones cloruro añadidos al concreto que se adsorben sobre la barra y obstruyen la adsorción del compuesto orgánico polar sobre la superficie del metal a proteger, impidiéndolo a alcanzar su estado pasivo.

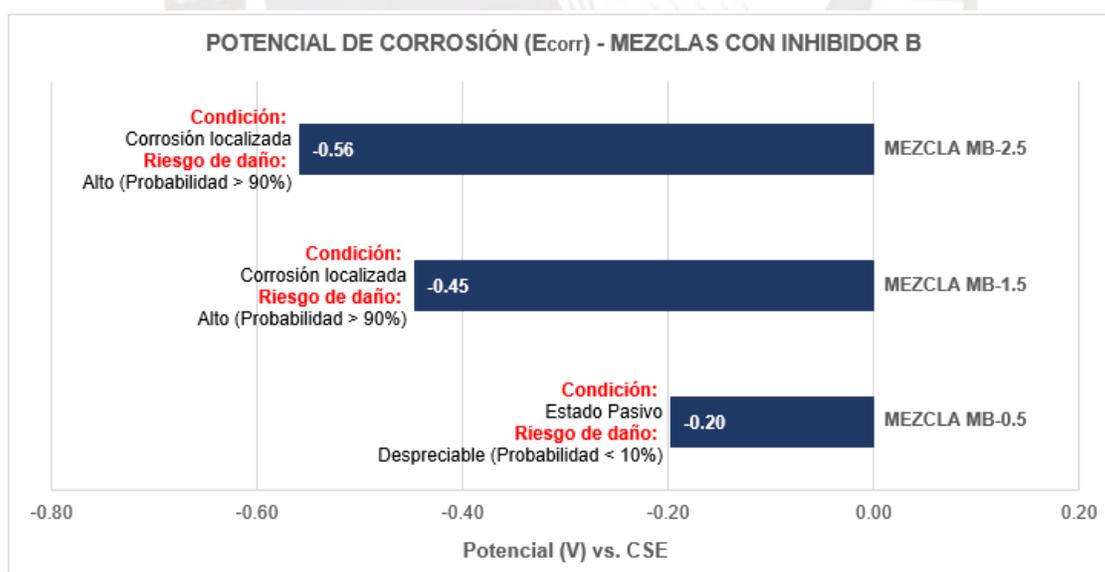


Figura 74. Interpretación de valores de potencial de corrosión promedio de las mezclas MB

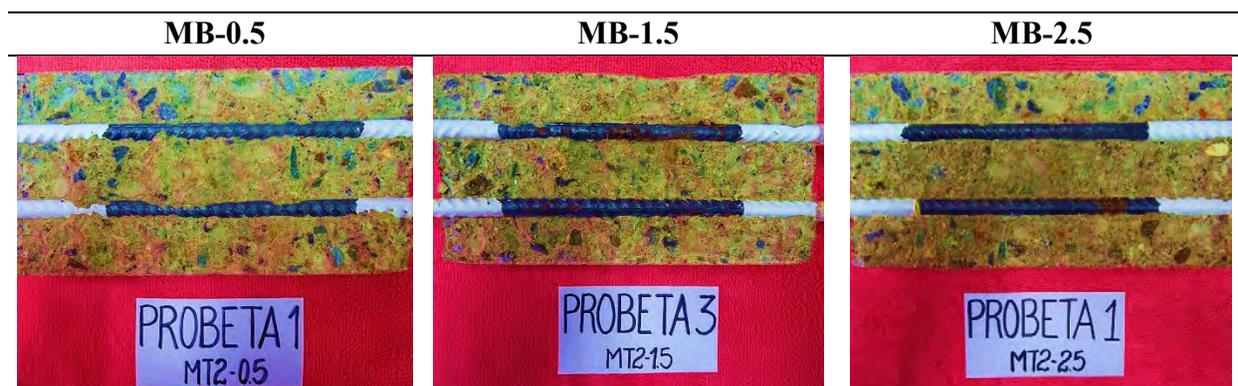


Figura 75. Comparación visual entre las mezclas MB en función al aumento de [NaCl]

▪ En la Figura 76 se observa que la mezcla con el inhibidor de corrosión C mantiene protegido al acero de refuerzo cuando la concentración de NaCl añadido al concreto asciende a 0.5%, es decir, propicia el estado de pasivación de la barra, pero con un riesgo de daño alto e incierto. Sin embargo, para una concentración de NaCl añadido igual a 1.5% y 2.5%, se observa que el concreto se ve impedido de formar la capa protectora sobre la superficie del acero, registrándose un estado activo de corrosión localizada o uniforme, según la concentración de NaCl, con alta probabilidad de daño (ver Figura 77). De acuerdo a lo anterior, el inhibidor de corrosión orgánico C se adsorbe sobre la superficie del acero de refuerzo protegiéndolo del proceso de corrosión, hasta un nivel de concentración de NaCl añadido a la mezcla igual a 0.5%, pero para una concentración mayor en el concreto no se puede garantizar su efectividad, ya sea a causa de su mecanismo de acción o de su insuficiente dosificación técnica para que resulte eficaz, debido a la alta concentración de iones cloruro añadidos al concreto que se adsorben sobre la barra y obstruyen la adsorción del compuesto orgánico polar sobre la superficie del metal a proteger, impidiéndolo a alcanzar su estado pasivo.

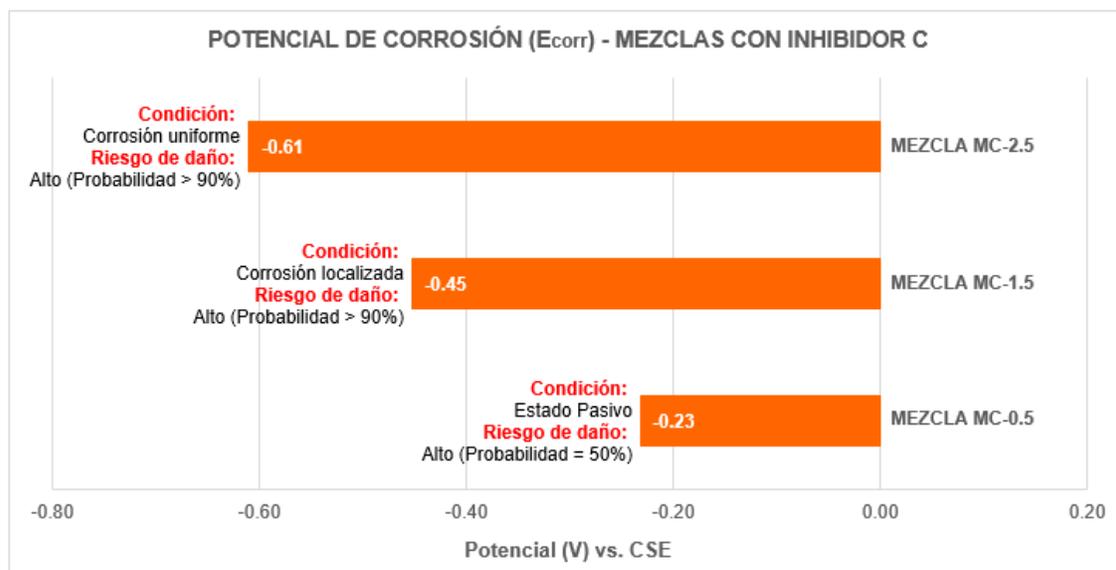


Figura 76. Interpretación de valores de potencial de corrosión promedio de las mezclas MC



Figura 77. Comparación visual entre las mezclas MC en función al aumento de $[NaCl]$

A continuación, se compara el potencial de corrosión promedio de las mezclas diseñadas con una misma concentración de $NaCl$ añadido en el concreto para determinar qué aditivo inhibidor es más eficaz para la protección de estructuras de concreto armado:

- En la Figura 78 se observa que para una concentración de $NaCl$ añadido al concreto igual a 0.5%, la mezcla que protegió en mayor grado a los refuerzos fue la mezcla patrón, pues propició la pasivación de la barra a un nivel más alto que las demás mezclas, debido a la naturaleza alcalina del concreto que permite la formación de una película protectora sobre la superficie de la barra. Sin embargo, se observa que las mezclas con inhibidores de corrosión también propiciaron

la formación de una capa pasiva sobre el refuerzo, pero a un nivel inferior con una magnitud de riesgo de daño despreciable –inhibidor A y B- o alto e incierto –inhibidor C- (ver Figura 79).

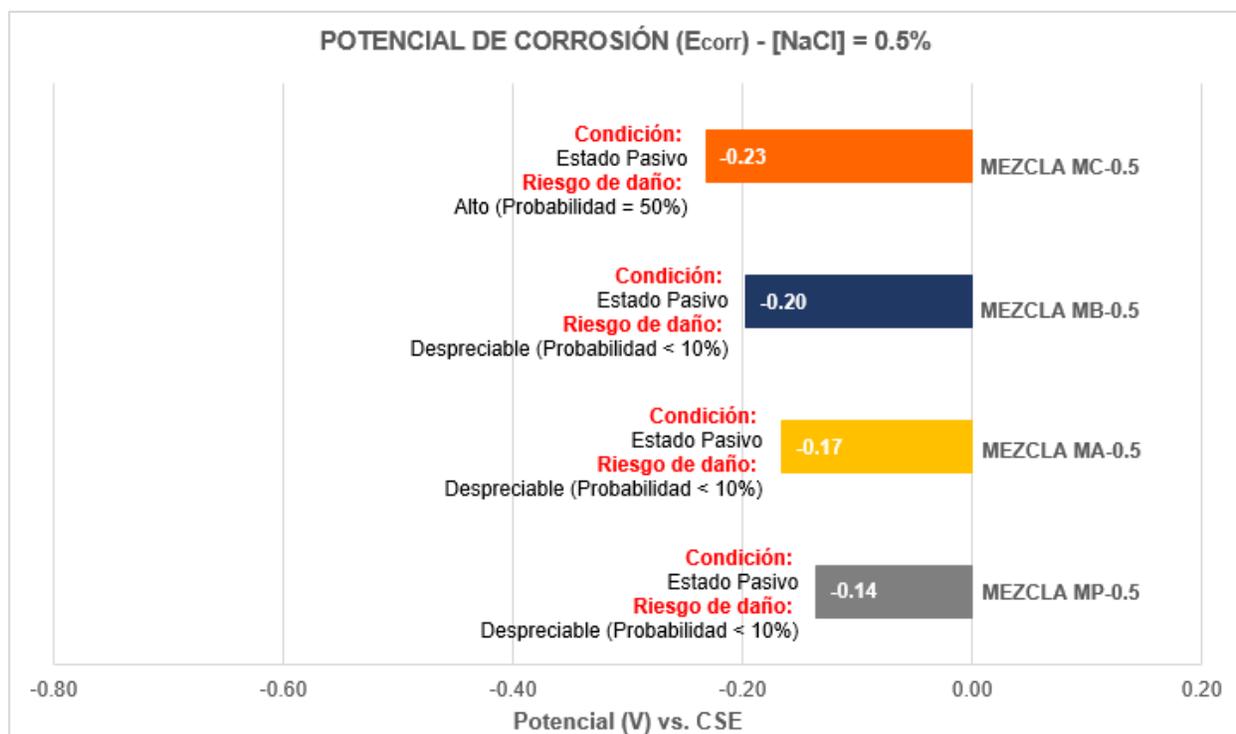


Figura 78. Comparación de valores de potencial de corrosión de las mezclas con [NaCl] = 0.5%

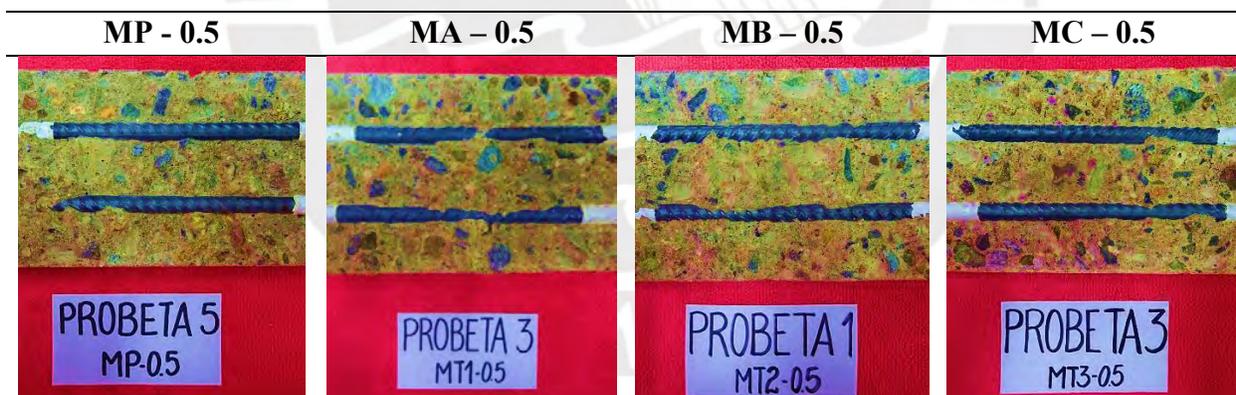


Figura 79. Comparación visual entre las mezclas de concreto con [NaCl] = 0.5%

- En la Figura 80 se observa que para una concentración de NaCl añadido al concreto igual a 1.5%, ninguna mezcla –sin inhibidor o con inhibidor- permitió la formación de una película pasivante sobre el acero de refuerzo, registrándose en todos los casos un estado activo de corrosión. Sin embargo, se observa que, a diferencia del daño de corrosión de tipo localizado en las barras embebidas en las mezclas A, B y C, en la mezcla patrón se visualizó un nivel más alto

de corrosión de tipología uniforme a lo largo de toda la superficie del acero de refuerzo sin recubrimiento epóxico (ver Figura 81).

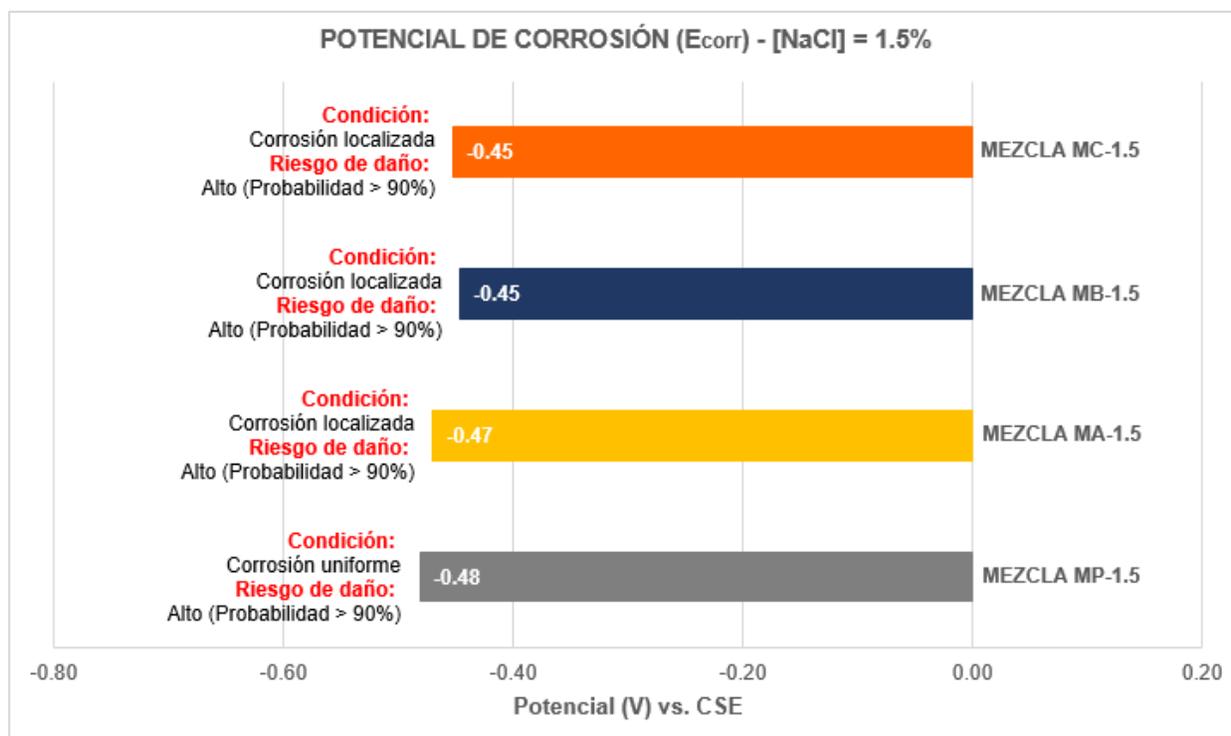


Figura 80. Comparación de valores de potencial de corrosión de las mezclas con $[NaCl] = 1.5\%$

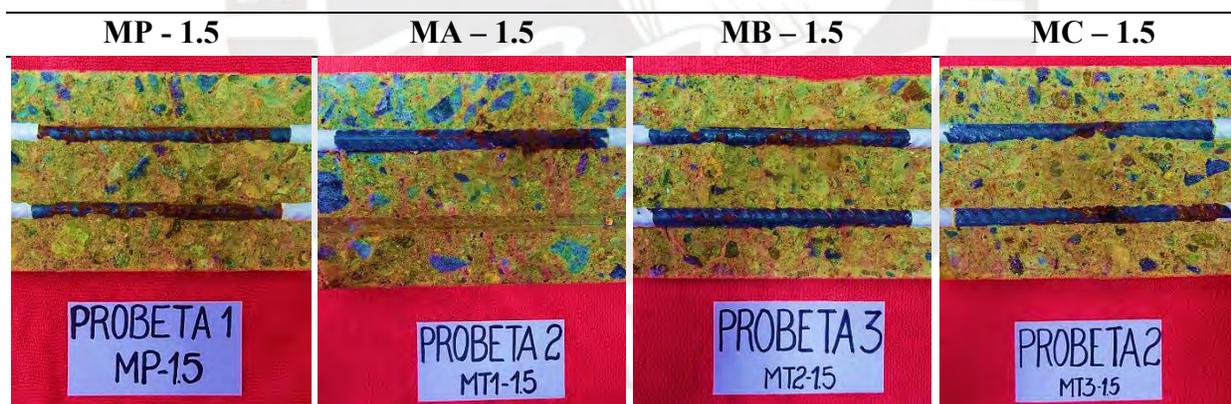


Figura 81. Comparación visual entre las mezclas de concreto con $[NaCl] = 1.5\%$

▪ En la Figura 82 se observa que para una concentración de NaCl añadido al concreto igual a 2.5%, ninguna mezcla -sin inhibidor o con inhibidor- posibilitó la formación de una película pasivante sobre el acero de refuerzo, registrándose en todos los casos un estado activo de corrosión. En todas las mezclas se visualizó daño corrosivo de tipo uniforme, extendido a lo largo de toda la superficie expuesta de las barras de acero de refuerzo, sin embargo, en la mezcla con el inhibidor

de corrosión B se mantuvo un estado corrosivo de tipo localizado, observándose un grado menor de deterioro, pero con un alto riesgo de daño (ver Figura 83).

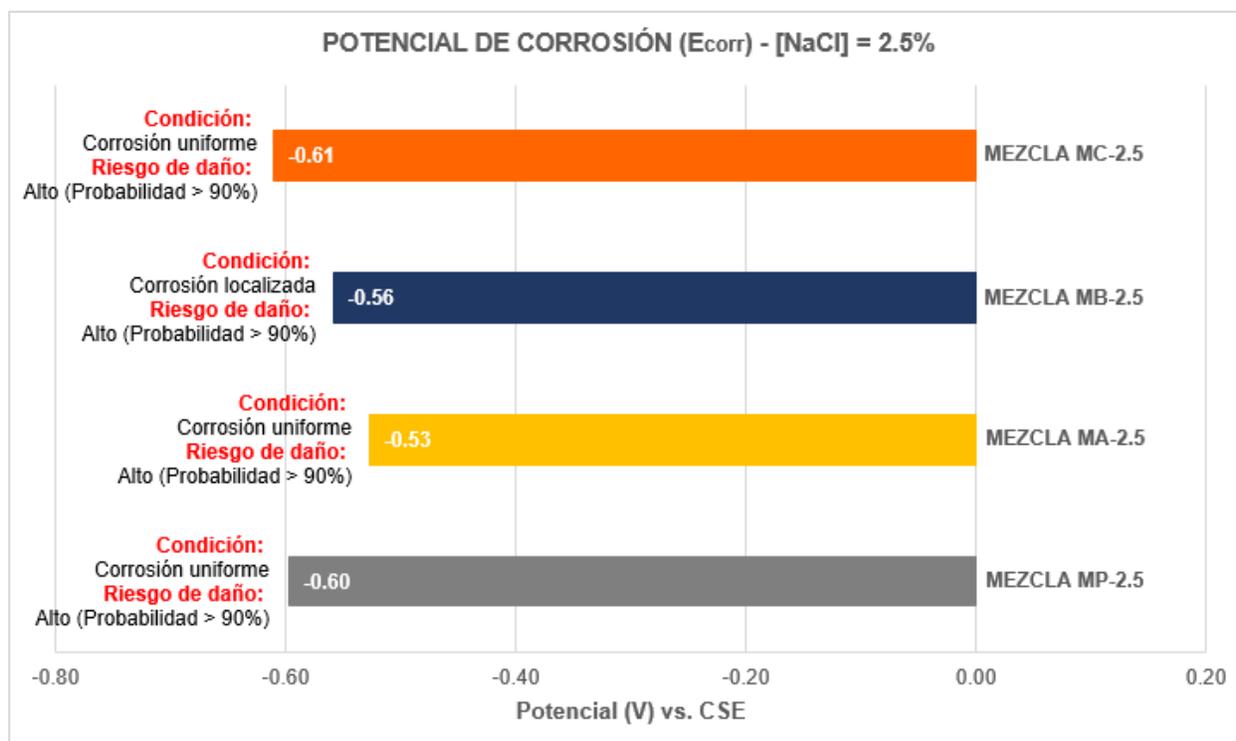


Figura 82. Comparación de valores de potencial de corrosión de las mezclas con [NaCl] = 2.5%

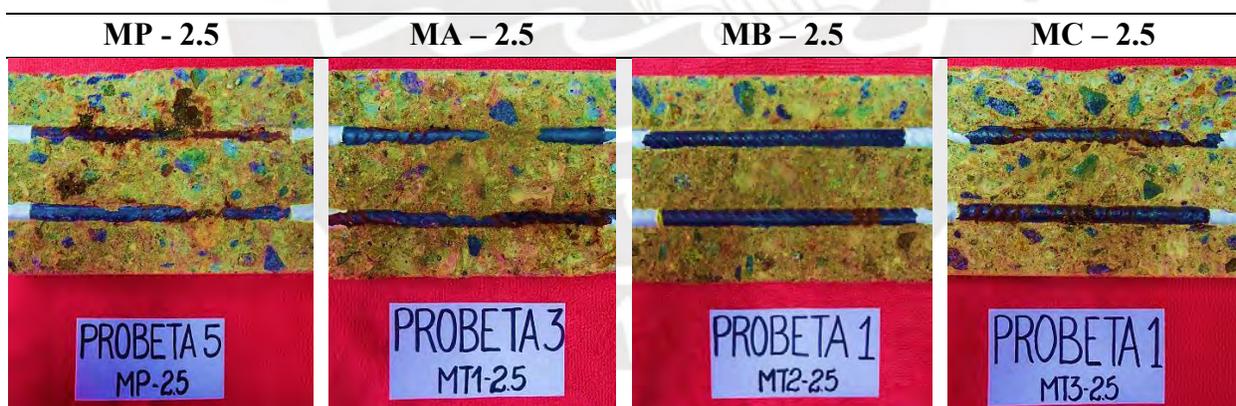


Figura 83. Comparación visual entre las mezclas de concreto con [NaCl] = 2.5%

B. Estimación de la velocidad de corrosión

De la evaluación estadística de atipicidad por Cochran y Grubbs (ver Apéndice D), se observaron resultados dudosos de densidad de corriente de corrosión provenientes de 3 probetas de concreto, los cuales fueron eliminados para evitar distorsionar la evaluación de resultados de este análisis. En base a ello, para 10 mezclas de concreto, se promediaron el total de los 6 valores

de densidad de corriente de corrosión obtenidos por cada mezcla de concreto y, para 3 mezclas de concreto -MP-2.5, MB-0.5 y MC-0.5-, se promediaron únicamente 4 valores de densidad de corriente de corrosión, excluyendo la probeta con el valor dudoso (ver Tabla 52). Estos valores promedio se analizaron de acuerdo a 1 solo criterio de evaluación.

Criterio de evaluación

La técnica utilizada para estimar la tasa de corrosión fue el método de resistencia a la polarización, técnica de extrapolación aplicable en procesos corrosivos donde el deterioro es uniforme sobre toda la superficie de la barra de acero. Sin embargo, en procesos corrosivos donde el daño es localizado, la aplicación de esta técnica se ve limitada, pues se obtienen resultados erráticos, debido a la variable aparición de puntos de picadura en la barra con el tiempo (Bertolini et al., 2004) [25].

Si bien esta técnica permite determinar la velocidad a la cual el acero pierde sección cuando la corrosión es de tipología uniforme, hoy en día en la práctica, se aplica esta técnica para evaluar también procesos corrosivos localizados con un margen de error aceptable. La interpretación de los resultados obtenidos se muestra en la Tabla 53, que proporciona los criterios de evaluación propuestos por el comité RILEM TC 154-EMC para estimar la velocidad de corrosión.

Tabla 53

Criterios para estimar el nivel de corrosión según RILEM TC 154-EMC

Intensidad de corrosión i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Velocidad de corrosión V_{corr} (mm/año)	Nivel de corrosión
≤ 0.1	≤ 0.001	Despreciable
0.1 – 0.5	0.001 – 0.005	Bajo
0.5 – 1.0	0.005 – 0.010	Moderado
> 1.0	> 0.010	Alto

Nota. Tomado de “Recommendation on polarization resistance measurements”, *Materials and Structures*, in press. The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM TC 154-ECR) [47].

Tabla 52
Resultados de evaluación de atipicidad de valores estimados de tasa de corrosión

ESTIMACIÓN DE TASA DE CORROSIÓN - icorr (mA/m ²)												
	MEZCLA MO			MEZCLA MP-0.5			MEZCLA MP-1.5			MEZCLA MP-2.5		
	P1	P2	P3	P1	P4	P5	P1	P3	P4	P3	P4	P5
Barra N° 1	0.41	0.41	0.45	2.55	0.78	1.13	31.12	12.82	53.02	-	44.76	77.83
Barra N° 2	0.70	0.22	0.29	1.49	0.93	1.27	45.31	26.80	38.77	-	46.49	81.55
PROMEDIO		0.41			1.36			34.64			62.66	
Vel. Corr. (µm/año)		0.48			1.59			40.53			73.31	
	MEZCLA MA-0.5			MEZCLA MA-1.5			MEZCLA MA-2.5					
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3			
Barra N° 1	1.21	0.82	1.11	16.10	20.98	24.78	30.36	29.18	23.13			
Barra N° 2	1.47	0.41	0.80	17.03	19.61	19.01	41.77	30.50	43.14			
PROMEDIO		0.97			19.58			33.01				
Vel. Corr. (µm/año)		1.14			22.91			38.63				
	MEZCLA MB-0.5			MEZCLA MB-1.5			MEZCLA MB-2.5					
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3			
Barra N° 1	2.45	-	2.05	28.33	23.23	10.28	24.73	31.21	53.80			
Barra N° 2	2.53	-	2.42	16.87	11.75	22.85	30.43	17.42	24.27			
PROMEDIO		2.36			18.89			30.31				
Vel. Corr. (µm/año)		2.76			22.10			35.46				
	MEZCLA MC-0.5			MEZCLA MC-1.5			MEZCLA MC-2.5					
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3			
Barra N° 1	-	0.49	0.56	21.47	11.96	13.19	59.29	15.81	48.12			
Barra N° 2	-	0.41	0.63	14.29	14.25	11.53	58.25	20.18	47.16			
PROMEDIO		0.52			14.45			41.47				
Vel. Corr. (µm/año)		0.61			16.90			48.52				

A continuación, se compara la tasa de corrosión promedio de las mezclas diseñadas con una misma concentración de NaCl -añadido al concreto- para determinar qué aditivo inhibidor es más eficaz para la protección de estructuras de concreto armado:

- En la Figura 84 se observa que para una concentración de NaCl añadido al concreto igual a 0.5%, la tasa de corrosión de las barras de acero resultó despreciable o baja en todas las mezclas. Sin embargo, la tasa de corrosión en la mezcla con inhibidor B excedió a la tasa de corrosión de la mezcla patrón, lo cual indica que para un concreto con una concentración de NaCl incorporado igual a 0.5%, este aditivo orgánico no excedió la proporción crítica de inhibidor/cloruro para retrasar la velocidad de corrosión en comparación con la mezcla sin inhibidor, pues según la recomendación en su ficha técnica, se dosificó a razón de 5 L/m³ concreto, dosis mucho menor en comparación con la de los otros dos inhibidores. La tasa de corrosión en las mezclas con inhibidor A (dosis igual a 7 kg/m³ concreto) e inhibidor C (dosis igual a 9 L/m³ concreto) resultó significativamente menor, con un nivel de corrosión despreciable, en comparación con la tasa de corrosión de la mezcla patrón, lo cual indica que para un concreto con una concentración de NaCl incorporado igual a 0.5%, estos aditivos A y C sí excedieron la proporción crítica de inhibidor/cloruro para prevenir y retrasar la aparición de corrosión. Todos estos valores se basan considerando corrosión uniforme de las barras de acero; sin embargo, al asumir que todas deberían presentar al menos cierto grado de pasivación, estos resultados por sí solos son cuestionables, y el análisis de efectividad de los inhibidores de corrosión debe ser realizado considerando también otros aspectos. Los resultados de mediciones de potencial de corrosión permiten estimar el estado (pasivo o activo) de las barras de acero, y la inspección visual permite verificar el estado de las barras de acero.

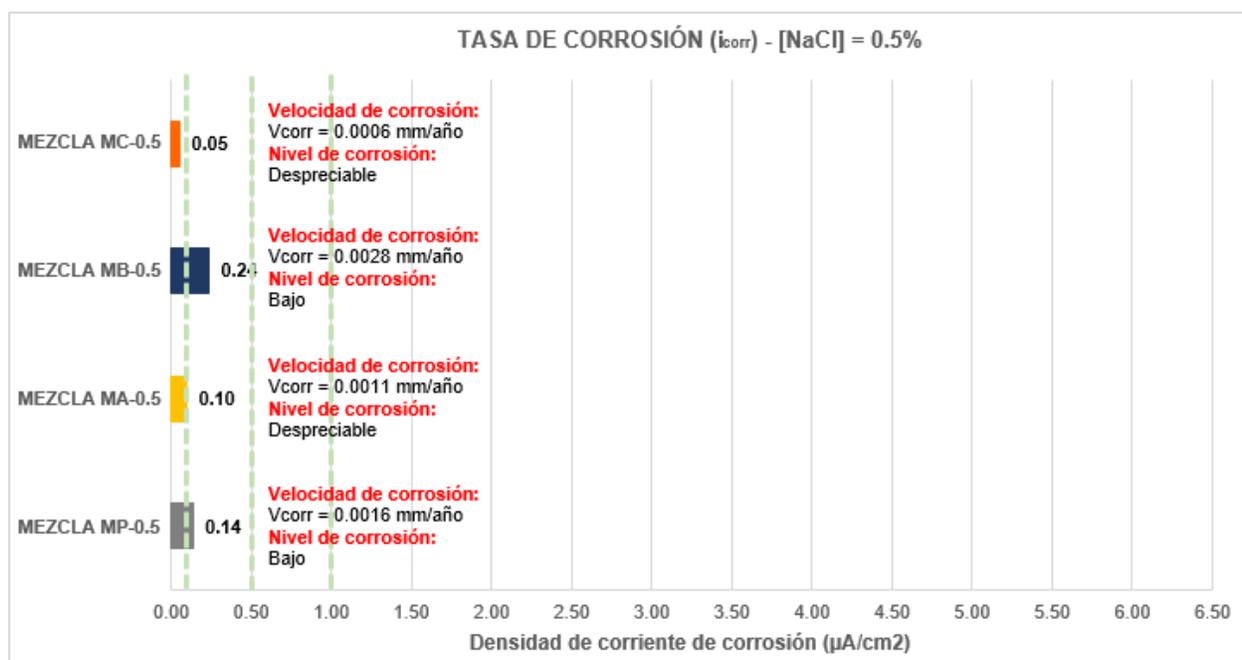


Figura 84. Comparación de valores de tasa de corrosión de las mezclas con [NaCl] = 0.5%

- En la Figura 85 se observa que para una concentración de NaCl añadido al concreto igual a 1.5%, la tasa de corrosión de las barras de acero resultó alta en todas las mezclas. Sin embargo, la tasa de corrosión en las mezclas con inhibidor resultó significativamente menor que la tasa de corrosión de la mezcla patrón, lo cual demuestra que los 3 inhibidores de corrosión proporcionan una cierta ventaja con respecto al tiempo que llevará a las barras a alcanzar su estado mínimamente aceptable. Asimismo, entre las mezclas con inhibidor, se observa que la tasa de corrosión en la mezcla con inhibidor A resultó mayor, lo que indica que este aditivo no está presente en una dosis suficiente en comparación con los inhibidores B y C, para que sea más efectivo en concretos con una concentración de NaCl igual a 1.5%, pues al ser un inhibidor oxidante, tiene que estar presente en una proporción inhibidor/cloruro mayor a la crítica para eliminar el riesgo de un mayor ataque por corrosión localizada. Estos valores de tasa de corrosión se basan considerando corrosión uniforme o generalizada de las barras de acero, sin embargo, al estar en condición de corrosión localizada en las mezclas MA, MB y MC según la medición de

potenciales, estos resultados de velocidad de corrosión son referenciales, pues son de naturaleza variable, debido a la aparición de otros puntos de picadura con el tiempo.

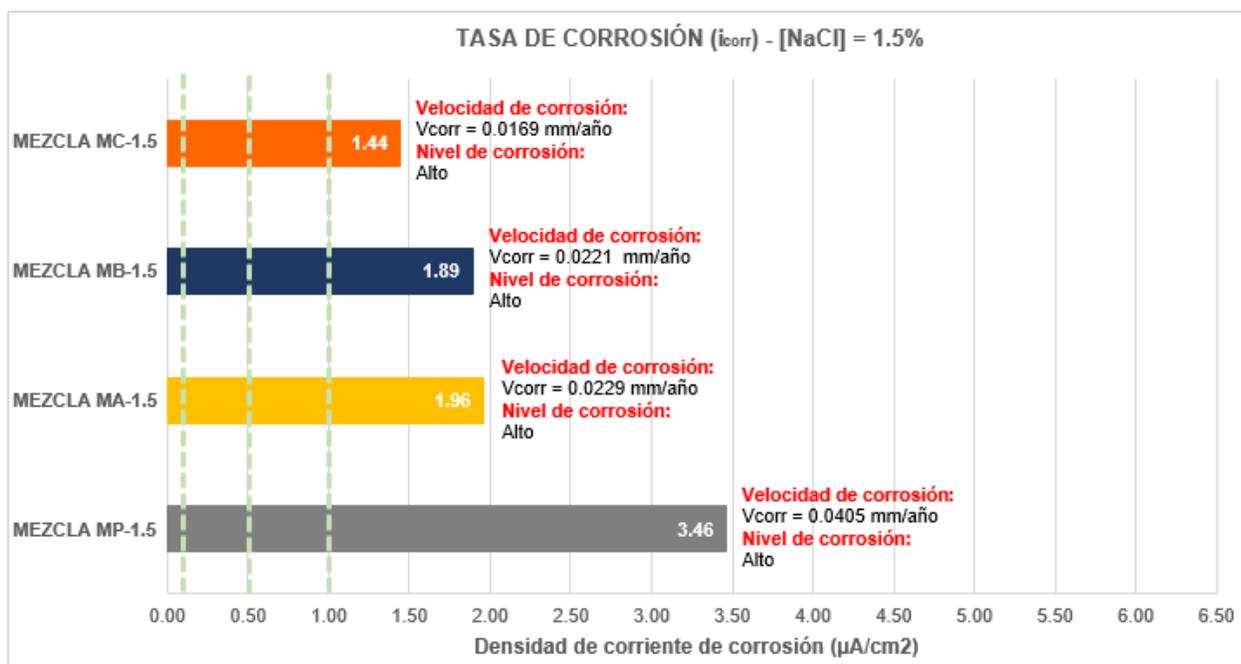


Figura 85. Comparación de valores de tasa de corrosión de las mezclas con [NaCl] = 1.5%

En la Figura 86 se observa que el inhibidor C ante una $[NaCl]_{m\acute{a}x} = 1.5\%$ permitiría extender la vida útil de las estructuras de manera más efectiva, sin embargo, en condiciones reales, ello puede no ocurrir debido a diversos factores que influyen en este modelo de análisis.

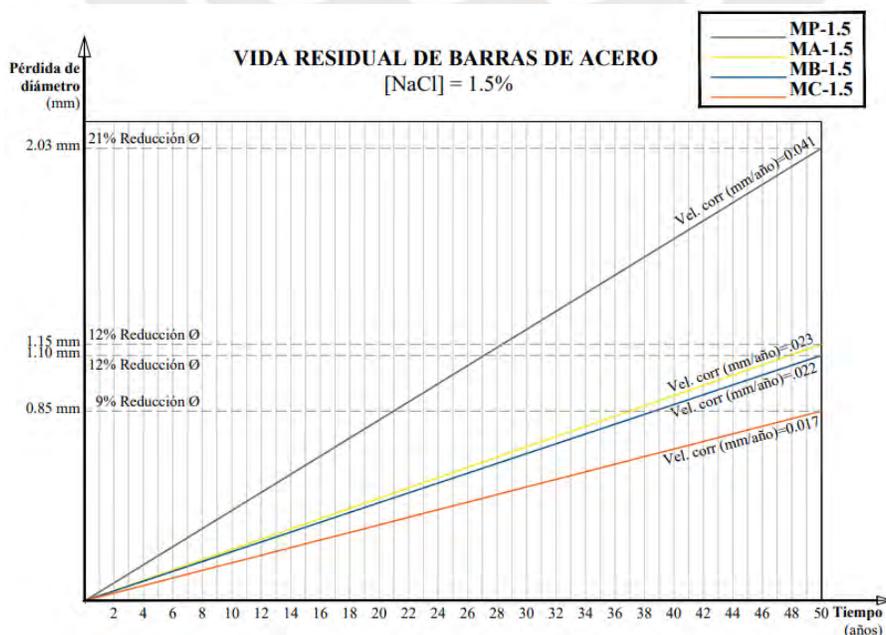


Figura 86. Comparación de pérdida de diámetro de los refuerzos en 50 años, [NaCl] = 1.5%

▪ En la Figura 87 se observa que para una concentración de NaCl añadido al concreto igual a 2.5%, la tasa de corrosión de las barras de acero resultó alta en todas las mezclas. Sin embargo, la tasa de corrosión en las mezclas con inhibidor resultó significativamente menor que la tasa de corrosión de la mezcla patrón, lo cual demuestra que los 3 inhibidores de corrosión proporcionan una gran ventaja con respecto al tiempo que llevará a las barras a alcanzar su estado mínimamente aceptable. Asimismo, entre las mezclas con inhibidor, se observa que la tasa de corrosión en la mezcla con inhibidor C resultó mayor, siendo menos efectivo en comparación con los inhibidores A y B, ya sea a causa de que no excedió la proporción crítica de inhibidor/cloruro en concretos con una concentración de NaCl igual a 2,5%, o a raíz de su mecanismo de acción frente a una alta cantidad de cloruros añadidos al concreto. Estos valores de tasa de corrosión se basan considerando corrosión uniforme o generalizada de las barras de acero, sin embargo, la tasa de corrosión de las barras de acero embebidas en la mezcla MB, al estar en condición de corrosión localizada, es referencial, pues es un valor que puede variar, debido a la aparición de más puntos de picadura en el tiempo.

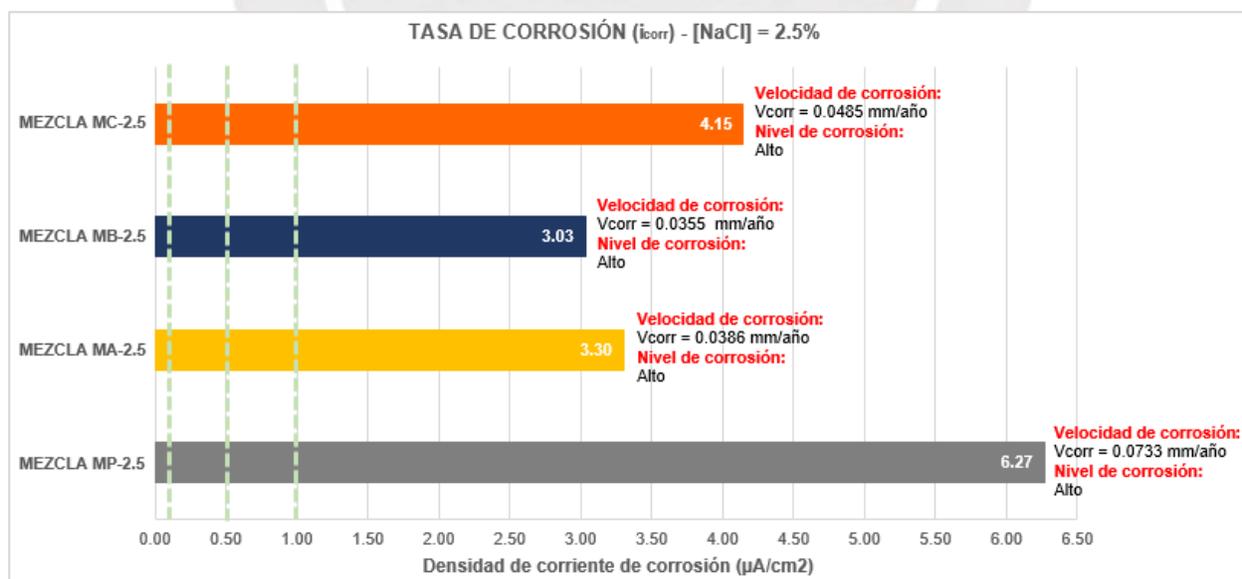


Figura 87. Comparación de valores de tasa de corrosión de las mezclas con [NaCl] = 2.5%

En la Figura 88 se muestra que el inhibidor de corrosión B es el que, en un concreto con una concentración de NaCl máxima igual a 2.5% (condición más desfavorable en el tiempo), permitiría extender la vida útil de las estructuras de manera más efectiva, sin embargo, en condiciones reales, ello puede no ocurrir debido a diversos factores que influyen en este modelo de análisis.

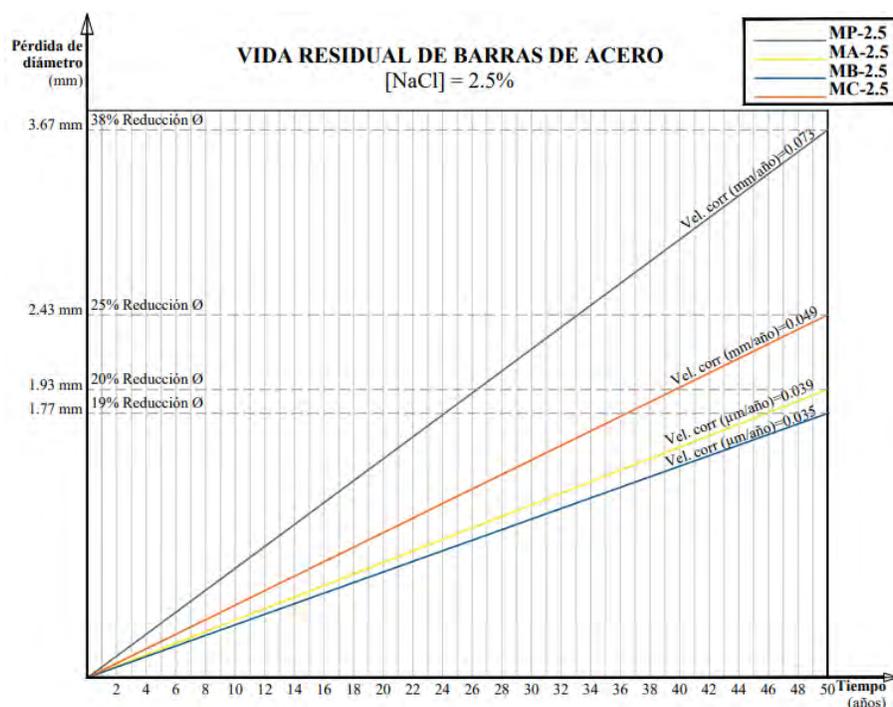


Figura 88. Comparación de pérdida de diámetro de los refuerzos en 50 años, [NaCl] = 2.5%

Capítulo VIII. Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

- 8.1.1 La adición de inhibidores de corrosión a mezclas de concreto para contribuir a proteger el acero de refuerzo es una medida de protección conocida, pero requiere que se cumplan diversas condiciones para resultar efectiva. Los estudios a escala de laboratorio permiten evaluar y comprender los efectos de algunas variables. En el presente estudio se evaluó el efecto de la concentración del más frecuente agente despasivante (iones cloruro) y del tipo de inhibidor.
- 8.1.2 La utilización de mezclas de concreto en las cuales se incorporó hasta tres distintas concentraciones de cloruro de sodio fue para acelerar el proceso corrosivo (limitar la duración del estudio). Se ha podido evidenciar que si existen concentraciones de cloruros mayores que 0,5% en la mezcla de concreto (por contaminación involuntaria, o por el uso de agregados contaminados) el uso de un inhibidor de corrosión no podrá proteger el acero. Si los iones cloruros ingresan desde el exterior, paulatinamente, algunos inhibidores podrían tolerar concentraciones de iones cloruro superiores, pero deberán tomarse en cuenta otros factores simultáneamente (humedad, alcalinidad del concreto, calidad del concreto, etc.).
- 8.1.3 Los métodos electroquímicos utilizados en la presente investigación son útiles para evaluar la efectividad de inhibidores de corrosión, siempre y cuando los resultados de ambos métodos (medición de potenciales acero/concreto y estimación de la velocidad de corrosión) se interpreten de forma complementaria (además de otras pruebas independientes que se pueda realizar). La medición de potenciales resulta un punto de partida para determinar cualitativamente si hay pasivación o no, y solo en caso la condición

sea de corrosión activa, la estimación de la velocidad de corrosión resulta útil para determinar el tiempo que llevará alcanzar el estado mínimamente aceptable de la estructura.

- 8.1.4 Se demostró que, si bien los diferentes rangos de potenciales acero/concreto establecidos como criterio de evaluación de dicho método electroquímico brindan una rápida y sencilla primera evaluación de la condición corrosiva del acero de refuerzo, no constituyen un criterio absoluto para indicar la posibilidad y riesgo de corrosión en una estructura. Ello se demostró al analizar en conjunto los valores de potencial y las observaciones registradas en la inspección visual y con estereomicroscopio, pues no coincidieron en su totalidad, interpretándose en base a lo observado.
- 8.1.5 A partir de los resultados de mediciones de potencial de corrosión de las mezclas de concreto con [NaCl] igual a 0.5%, sería posible concluir que un concreto sin aditivo inhibidor garantiza un mayor grado de pasivación del acero de refuerzo en comparación con un concreto con inhibidor de corrosión, pero además de que no se puede extraer conclusiones de un solo tipo de ensayo, las diferencias entre los potenciales no son suficientemente grandes. Sería necesario realizar estudios de mayor duración y variando la forma de penetración de los iones cloruro.
- 8.1.6 A partir de los resultados de las mediciones de potencial de corrosión acero/concreto de las mezclas de concreto con [NaCl] igual a 1.5% y 2.5%, es posible concluir que ninguno de los tres inhibidores de corrosión es efectivo para garantizar el estado de pasivación del acero de refuerzo en concretos con [NaCl] mayor a 1.5%, siendo el deterioro por corrosión inminente y dependiente de la presencia de humedad y oxígeno en la superficie del metal. Debido a esta condición de despasivación en los tres casos, el análisis y comparación entre los inhibidores de corrosión se realizó en función a la velocidad a la cual la barra de acero pierde sección con el tiempo.

- 8.1.7 A partir de los resultados de velocidad de corrosión de las barras de acero en mezclas de concreto con [NaCl] igual a 1.5% y 2.5%, es posible concluir que el inhibidor de corrosión B propicia una menor velocidad de corrosión en la situación más desfavorable en el tiempo, en comparación con los inhibidores A y C. Esto proporciona una base para recomendar que las estructuras que se encontrarán expuestas a un ambiente marino, sean diseñadas con un concreto de relación w/c máxima igual a 0.60 y con el aditivo inhibidor B en su composición, pues su uso puede lograr disminuir hasta en 50% la pérdida de diámetro del acero de refuerzo en un periodo de 50 años que resultaría en caso no se adicione un aditivo inhibidor en el concreto. Sin embargo, esta recomendación requiere verificación en la realización de nuevos estudios, tomando en cuenta otras variables.
- 8.1.8 Los ensayos demostraron que, para concretos con [NaCl] hasta 0.5%, el tipo de inhibidor más efectivo es el inorgánico -a base de nitrito de calcio-, garantizando el estado de pasivación del acero de refuerzo en un nivel superior que los dos inhibidores de corrosión orgánicos. Sin embargo, para concretos con [NaCl] desde 1.5%, ninguno de estos 2 tipos de inhibidores de corrosión es efectivo, lo cual se justifica con su escasa dosificación en el concreto para exceder la proporción crítica inhibidor/cloruro y prevenir la condición de corrosión activa de las barras de acero de refuerzo.
- 8.1.9 En la presente investigación se evaluaron mezclas de concreto con iones cloruro en su composición, sin embargo, se concluye y recomienda la importancia del uso de inhibidores de corrosión mezclados solo en combinación con concretos de alta calidad (adecuada selección de insumos sin una alta concentración de iones cloruro, óptimo diseño de la mezcla de concreto y procedimientos constructivos correctos -transporte, colocación, vibrado y curado-), para evitar la adición de inhibidores de corrosión en concentraciones excesivamente altas. Ningún aditivo de cualquier tipo o en cualquier cantidad puede ser

considerado como sustituto de las buenas prácticas con concreto, pues su naturaleza es brindar la suficiente protección química y física a las barras de acero de refuerzo.

8.2 Recomendaciones

- 8.2.1 Con respecto al tiempo esperado para la evaluación de las probetas prismáticas mediante técnicas electroquímicas, desde el término de su curado, se recomienda incrementarlo en una próxima investigación, a fin de obtener mediciones más reales y estables a largo plazo.
- 8.2.2 Para obtener mayor información en cuanto a la efectividad de los inhibidores de corrosión, se recomienda realizar otro tipo de evaluación como el monitoreo de tiempo de aparición de la primera picadura, profundidad de la picadura, etc.
- 8.2.3 Se recomienda realizar una investigación similar considerando la exposición de las probetas prismáticas al ingreso de iones cloruro en una cámara de niebla salina, a fin de reproducir condiciones agresivas de un entorno salino o medio marino y evaluar la efectividad de los aditivos inhibidores analizando procesos de transporte en la red de poros capilares del concreto.

Referencias

- [1] ACI Committee 211.1-91, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, American Concrete Institute, 2002.
- [2] Almusallam, A. A. (2001). Effect of degree of corrosion on the properties of reinforcing steel bars. *Construction and building materials*, 15(8), 361-368.
- [3] Asociación Española de Ingeniería Estructural. (2010). *Manual de tecnología de aditivos para hormigón*.
- [4] ASTM A36/A36M-19, Standard Specification for Carbon Structural Steel, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [5] ASTM A240/A240M-20, Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020.
- [6] ASTM C29/C29M-17a, Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- [7] ASTM C31/C31M-19a, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [8] ASTM C33/C33M-18, Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.
- [9] ASTM C117-17, Standard Test Method for Materials Finer than 75- μm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- [10] ASTM C127-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
- [11] ASTM C128-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.

- [12] ASTM C136/C136-19, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [13] ASTM C138/C138-17a, Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- [14] ASTM C150/C150M-20, Standard Specification for Portland Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020.
- [15] ASTM C192/C192M-19, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [16] ASTM C494/C494M-19, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [17] ASTM C511-19, Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [18] ASTM C566-19, Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [19] ASTM C876-15, Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
- [20] ASTM C881/C881M-20a, Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020.
- [21] ASTM C1602/C1602M-18, Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.
- [22] ASTM D632-12(2020), Standard Specification for Sodium Chloride, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020.

- [23] ASTM G109-07(2013), Standard Test Method for Determining Effects of Chemical Admixtures on Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- [24] Banco Central de Reserva del Perú. (2019). *Producto bruto interno y demanda interna* [Archivo de datos y libro en código]. Recuperado de <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/pbi-por-sectores>
- [25] Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., & Polder, R. (2004). *Corrosion of steel in concrete*. Weinheim, Alemania: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [26] Consejo Superior de Investigaciones Metalúrgicas. (1989). *Manual de Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras*.
- [27] Garzón, W. (2013). *Estudio de la durabilidad al ataque de sulfatos del concreto con agregado reciclado* (Tesis de maestría), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- [28] Gonnerman, H. F., & Shuman, E. C. (1928). Flexure and tension tests of plain concrete. *Report of the Director of Research*, 149-163.
- [29] Guevara-Fallas, G., Hidalgo-Madriral, C., Pizarro-García, M., Rodríguez-Valenciano, I., Rojas-Vega, L. D., & Segura-Guzmán, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Revista Tecnología en Marcha*, 25(2).
- [30] Hernández, O., & Mendoza C. J. (2005). Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*. 7(1), 57-70. doi: <http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2006.07n1.005>
- [31] Kitowski, C. J., & Wheat, H. G. (1997). Effect of chlorides on reinforcing steel exposed to simulated concrete solutions. *Corrosion*, 53(3), 216-226.
- [32] Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, Portland Cement Association, Illinois. EE. UU.

- [33] Maruya, T., Hsu, K., Takeda, H., & Tangtermsirikul, S. (2003). Numerical modeling of steel corrosion in concrete structures due to chloride ion, oxygen and water movement. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(2), 147-160.
- [34] Melchers, R. E., & Li, C. Q. (2006). Phenomenological modeling of reinforcement corrosion in marine environments. *ACI Materials Journal*, 103(1), 25.
- [35] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2008). *Instrucción de Hormigón Estructural* (EHE-08). Gobierno de España.
- [36] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado* (NTE E.060).
http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/E060_CONCRETO_ARMADO.pdf
- [37] Moreno, E. (2005). *Comportamiento Electroquímico del Acero Embebido del Concreto* (Tesis de maestría), ESQIE – IPN, México D.F., México.
- [38] Muñoz, F., & Mendoza, C. J. (2012). La durabilidad en las estructuras de concreto reforzado desde la perspectiva de la Norma Española para Estructuras de Concreto. *Concreto y Cemento: Investigación y Desarrollo*, 4(1), 63-86.
- [39] Organización Internacional de Normalización. (2020). Corrosión de metales y aleaciones (ISO 8044).
- [40] Páez, D. F., Leal, V. E., & Restrepo, M. (2009). Influence of freeze-thaw cycles in the resistance concrete (Tunja case). *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 95-110.
- [41] Pasquel, E., (1998). *Tópicos de tecnología del concreto*, Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Nacional.

- [42] Peña, D. Y., Estupiñán, H., Vásquez, C., & Mejía, Ch. E. (2011). Determinación de la despasivación en varillas de acero de refuerzo en solución poro de agua de mar por medio de técnicas electroquímicas. *PROSPECTIVA*, 9(1), 13-20.
- [43] Pradhan, B., & Bhattacharjee, B. (2009). Performance evaluation of rebar in chloride contaminated concrete by corrosion rate. *Construction and building materials*, 23(6), 2346-2356.
- [44] Scannone, R., & Beauperthuy, J. (2005). Corrosión: El Cáncer de las Estructuras. *Seminario Internacional Vulnerabilidad de Obras Civiles*, Caracas, Venezuela: Ediciones Sidetur.
- [45] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte. (2001). *El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado* (Publicación Técnica No. 182).
- [46] Taylor, P. C. (2002). Designing Concrete for Durability-A Case Study. *Concrete international*, 24(5), 39-43.
- [47] The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures. "Recommendation on polarization resistance measurements", *Materials and Structures*, in press (RILEM TC 154-ECR).
- [48] Trocónis, O., Romero, A., Andrade, C., Helene, P., & Díaz, I. (1997). Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. *CYTED, Red Temática XV. B. Durabilidad de la armadura, Río de Janeiro, Brasil*.
- [49] Verbeck, G. (1958). Carbonation of hydrated Portland cement. *In Cement and Concrete*. ASTM International.
- [50] Vidaud, E., & Vidaud, I. N. (2014). Obtenido de Polímeros Fibro-reforzados. Una alternativa sustentable frente al ataque de la corrosión en el concreto armado.: [//www.revistacyt.com.mx/pdf/diciembre2014/tecnologia.pdf](http://www.revistacyt.com.mx/pdf/diciembre2014/tecnologia.pdf)

APÉNDICE A1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO - MUESTRA 1

“ESTUDIO DE LA EFECTIVIDAD DE TRES TIPOS DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN PARA LA PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO”

GRUPO DE INVESTIGACIÓN:

ASESORES: Lic. María Isabel Díaz Tang
 Ing. Julio César Carhuamaca Huanri
TESISTAS: Ancori Torobeo, Liz Stefany
 Tenorio Palomino, Main Graciela

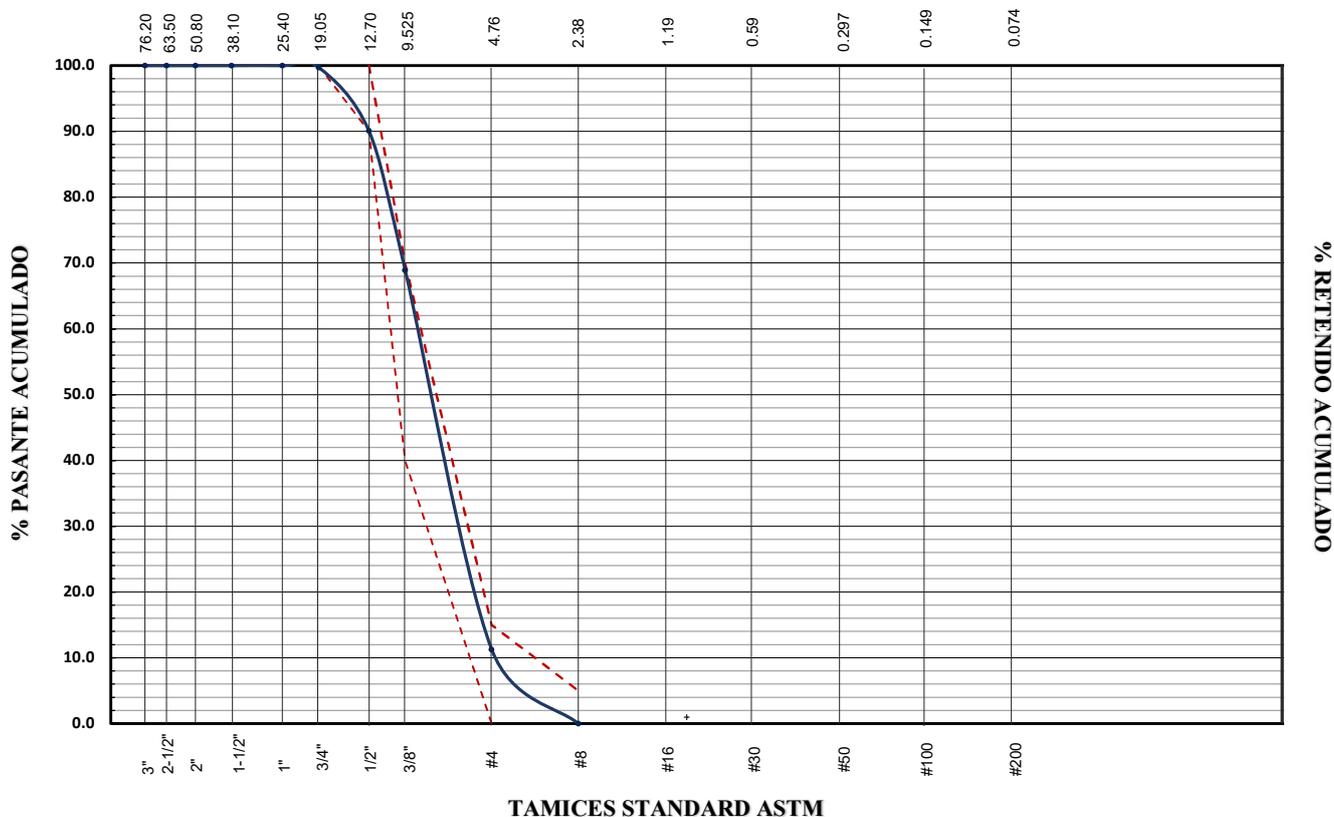
PRIMERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN:

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos
ENSAYO: Granulometría del agregado grueso
NORMA: ASTM C136 y NTP 400.012

AGREGADO GRUESO						HUSO 7	
TAMIZ		MATERIAL RETENIDO		RETENIDO (AC.)	PASA (AC.)	Lím 1	Lím 2
ASTM	mm	gr	%	%	%		
3"	76.10	0.000	0.0	0.0	100.0		
2 1/2"	64.00	0.000	0.0	0.0	100.0		
2"	50.80	0.000	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.10	0.000	0.0	0.0	100.0		
1"	25.40	0.000	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.00	0.021	0.3	0.3	99.7	100.0	
1/2"	12.70	0.700	9.6	9.9	90.1	90.0	100.0
3/8"	9.51	1.547	21.2	31.1	68.9	40.0	70.0
#4	4.76	4.203	57.6	88.8	11.2	0.0	15.0
Bandeja<#4	2.38	0.820	11.2	100.0	0.0		5.0
TOTAL		7.291	100.0				

Peso inicial:	7.287	kg
Peso final:	7.291	kg
Error:	-0.05%	≤ 0.3%
Condición:	Aprobado	
D.M.:	3/4"	
T.M.:	1/2"	
M.F.:	6.20	
Aprox:	1 gr	

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: Según los resultados obtenidos, las características granulométricas del agregado grueso se ajustan al huso 7.

APÉNDICE A2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO - MUESTRA 2

“ESTUDIO DE LA EFECTIVIDAD DE TRES TIPOS DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN PARA LA PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO”

GRUPO DE INVESTIGACIÓN:

ASESORES: Lic. María Isabel Díaz Tang
 Ing. Julio César Carhuamaca Huanri
TESISTAS: Ancori Torobeo, Liz Stefany
 Tenorio Palomino, Main Graciela

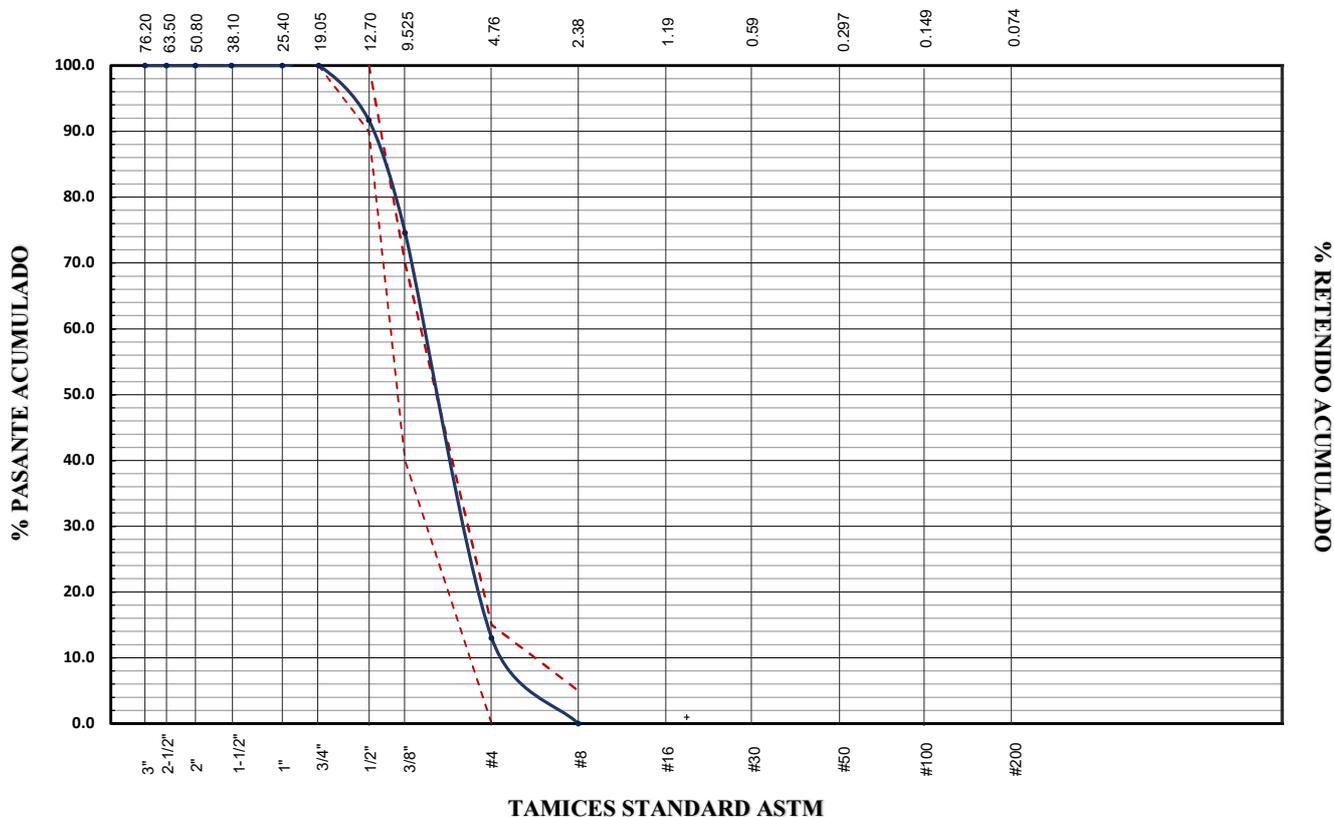
PRIMERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN:

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos
ENSAYO: Granulometría del agregado grueso
NORMA: ASTM C136 y NTP 400.012

AGREGADO GRUESO						HUSO 7	
TAMIZ		MATERIAL RETENIDO		RETENIDO (AC.)	PASA (AC.)	Lím 1	Lím 2
ASTM	mm	gr	%	%	%		
3"	76.10	0.000	0.0	0.0	100.0		
2 1/2"	64.00	0.000	0.0	0.0	100.0		
2"	50.80	0.000	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.10	0.000	0.0	0.0	100.0		
1"	25.40	0.000	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.00	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	
1/2"	12.70	0.600	8.3	8.3	91.7	90.0	100.0
3/8"	9.51	1.235	17.1	25.4	74.6	40.0	70.0
#4	4.76	4.443	61.6	87.0	13.0	0.0	15.0
Bandeja<#4	2.38	0.937	13.0	100.0	0.0		5.0
TOTAL		7.215	100.0				

Peso inicial:	7.236	kg
Peso final:	7.215	kg
Error:	0.29%	≤ 0.3%
Condición:	Aprobado	
D.M.:	3/4"	
T.M.:	1/2"	
M.F.:	6.12	
Aprox:	1 gr	

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: Según los resultados obtenidos, las características granulométricas del agregado grueso se ajustan al huso 7, sin embargo, en la malla 3/8" se obtuvo un excedente que supera el rango del mismo.

APÉNDICE A3. ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO

“ESTUDIO DE LA EFECTIVIDAD DE TRES TIPOS DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN PARA LA PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO”

GRUPO DE INVESTIGACIÓN:

ASESORES: Lic. María Isabel Díaz Tang
Ing. Julio César Carhuamaca Huanri

TESISTAS: Ancori Torobeo, Liz Stefany
Tenorio Palomino, Main Graciela

PRIMERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN:

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos

ENSAYO: Peso específico - Humedad de absorción - Peso unitario o volumétrico - Humedad Natural

NORMA: ASTM C127, ASTM C29, ASTM C566, NTP 400.021, NTP 400.017 y NTP 339.185

AGREGADO GRUESO	MUESTRA N°			Condición	
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	1	2	3		
Bandeja N°	16	9	16	Aprox. de balanza 0.01 gr	
Peso bandeja (gr)	130.41	111.52	130.41		
Peso agregado S.S.S. + bandeja (gr)	1500.16	1500.22	1500.06	2 kg mín NTP 400.021	
Peso agregado S.S.S. (gr)	1369.75	1388.70	1369.65		
Cesta N°	Única			Promedio	
Peso agregado S.S.S. + cesta (sumergida)	1634.1	1636.25	1633.15		
Peso cesta sumergida	752.4	752.4	752.4	2.76	
Peso agregado S.S.S. sumergido	881.7	883.85	880.75		
Bandeja para secado N°	7	9	16	1.08	
Peso bandeja	111.99	111.52	130.41		
Peso agregado seco + bandeja	1467.72	1485.40	1484.86	0.2% - 4% PCA	
Peso agregado seco	1355.73	1373.88	1354.45		
Volumen agregado S.S.S.	488.05	504.85	488.90		
Peso específico (gr/cm ³)	2.78	2.72	2.77		
Agua de absorción	14.02	14.82	15.20		
Humedad de absorción (%)	1.03	1.08	1.12		

AGREGADO GRUESO	SUELTO			COMPACTADO		
PESO UNITARIO O VOLUMÉTRICO	1	2	3	1	2	3
Recipiente N°	Única			Única		
Peso del recipiente	7028.00	7028.00	7028.00	7028.00	7028.00	7028.00
Peso agregado + recipiente	21444.00	21291.00	21386.00	22252.00	22118.00	22339.00
Peso agregado	14416.00	14263.00	14358.00	15224.00	15090.00	15311.00
Volumen del recipiente	9470.00	9470.00	9470.00	9470.00	9470.00	9470.00
Peso unitario	1.52	1.51	1.52	1.61	1.59	1.62
Peso unitario promedio (gr/cm ³)	1.51			1.61		
Peso unitario rango PCA (gr/cm ³)	1.5 - 1.7			1.2 - 1.75		

HUMEDAD NATURAL	1	2	3	Condición	
Bandeja N°	2	10	15	3 kg mín NTP 339.185	
Peso bandeja	124.90	134.97	132.96		
Peso agregado en E.N. + bandeja	2625.40	2634.97	2633.76		
Peso agregado en E.N.	2500.50	2500.00	2500.80		
Peso agregado seco + bandeja	2612.95	2622.25	2620.95		
Cantidad de agua en el agregado	12.45	12.72	12.81		
Peso agregado seco	2488.05	2487.28	2487.99		
Humedad natural (%)	0.50	0.51	0.51		
Humedad natural promedio (%)	0.51				

PORCENTAJE QUE PASA MALLA #200	1	2	3	Condición	
Bandeja N°	Napito	F66	F21	300 gr mín NTP 400.018	
Peso bandeja	137.43	137.54	112.99		
Peso agregado seco inicial + bandeja	437.52	437.60	413.06		
Peso agregado seco inicial	300.09	300.06	300.07		
Peso agregado seco final + bandeja	432.54	433.35	408.01		
Peso agregado seco final	295.11	295.81	295.02		
Porcentaje que pasa malla 200 (%)	1.66	1.42	1.68		
Porcentaje que pasa malla 200 promedio (%)	1.59				

OBSERVACIONES:

APÉNDICE A4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO - MUESTRA 1

“ESTUDIO DE LA EFECTIVIDAD DE TRES TIPOS DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN PARA LA PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO”

GRUPO DE INVESTIGACIÓN:

ASESORES: Lic. María Isabel Díaz Tang
 Ing. Julio César Carhuamaca Huanri
TESISTAS: Ancori Torobeo, Liz Stefany Tenorio
 Palomino, Main Graciela

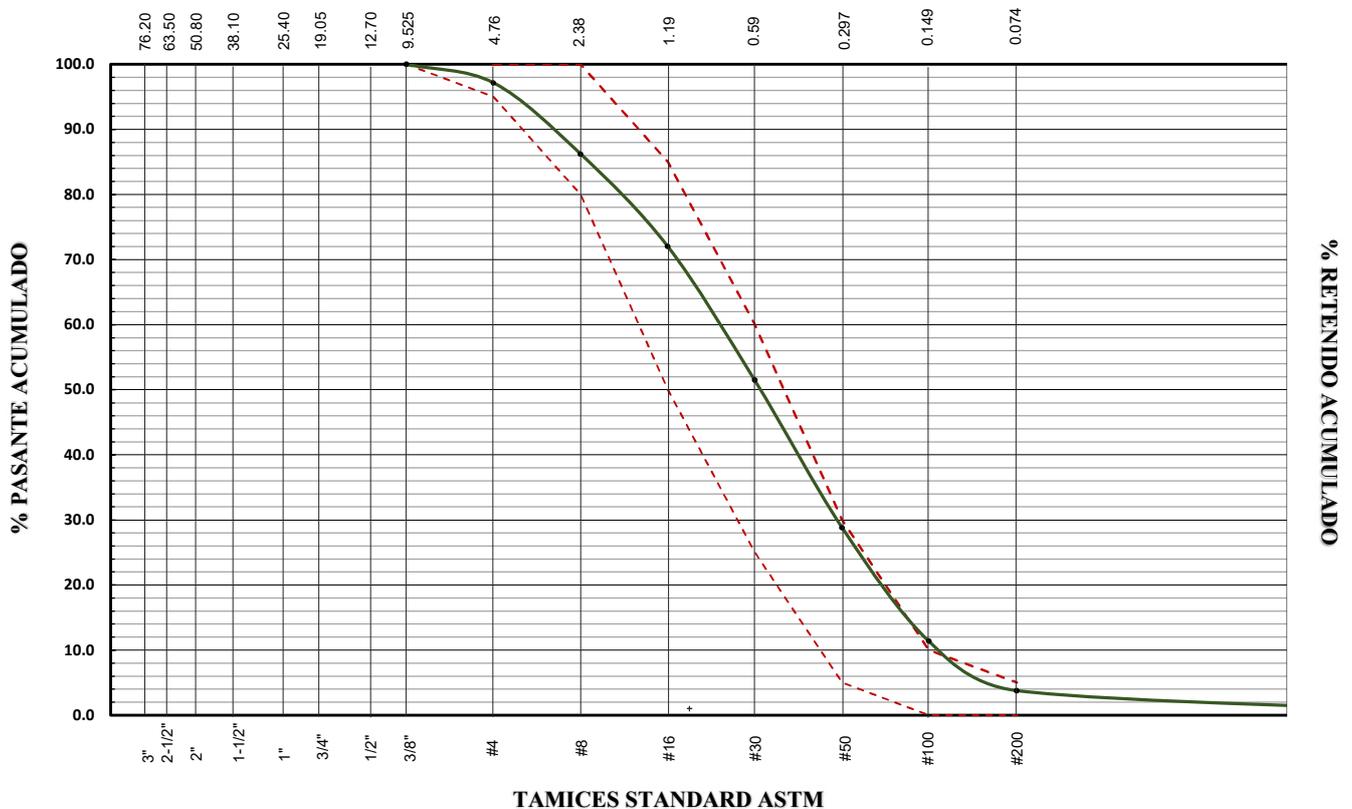
PRIMERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos
ENSAYO: Granulometría del agregado fino
NORMA: ASTM C136 y NTP 400.012

AGREGADO GRUESO						HUSO	
TAMIZ		MATERIAL RETENIDO		RETENIDO (AC.)	PASA (AC.)	Lím 1	Lím 2
ASTM	mm	gr	%	%	%		
3/8"	9.51	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	
#4	4.76	14.27	2.9	2.9	97.1	95.0	100.0
#8	2.38	54.75	10.9	13.8	86.2	80.0	100.0
#16	1.19	71.02	14.2	28.0	72.0	50.0	85.0
#30	0.60	102.90	20.6	48.5	51.5	25.0	60.0
#50	0.30	113.44	22.7	71.2	28.8	5.0	30.0
#100	0.15	87.08	17.4	88.6	11.4	0.0	10.0
#200	0.07	38.13	7.6	96.2	3.8	0.0	5.0
Band	0.00	18.87	3.8	100.0	0.0		
TOTAL		500.46	100.0				

Peso inicial:	500.00	gr
Peso final:	500.46	gr
Error:	-0.09%	≤ 0.3%
Condición:	Aprobado	
T.M.:	#4	
M.F.:	2.53	
Aprox:	0.01 gr	

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: Según los resultados obtenidos, las características granulométricas del agregado fino se ajustan al huso.

APÉNDICE A5. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO - MUESTRA 2

“ESTUDIO DE LA EFECTIVIDAD DE TRES TIPOS DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN PARA LA PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO”

GRUPO DE INVESTIGACIÓN:

ASESORES: Lic. María Isabel Díaz Tang
 Ing. Julio César Carhuamaca Huanri
TESISTAS: Ancori Torobeo, Liz Stefany
 Tenorio Palomino, Main Graciela
PRIMERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN:
LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos
ENSAYO: Granulometría del agregado fino
NORMA: ASTM C136 y NTP 400.012

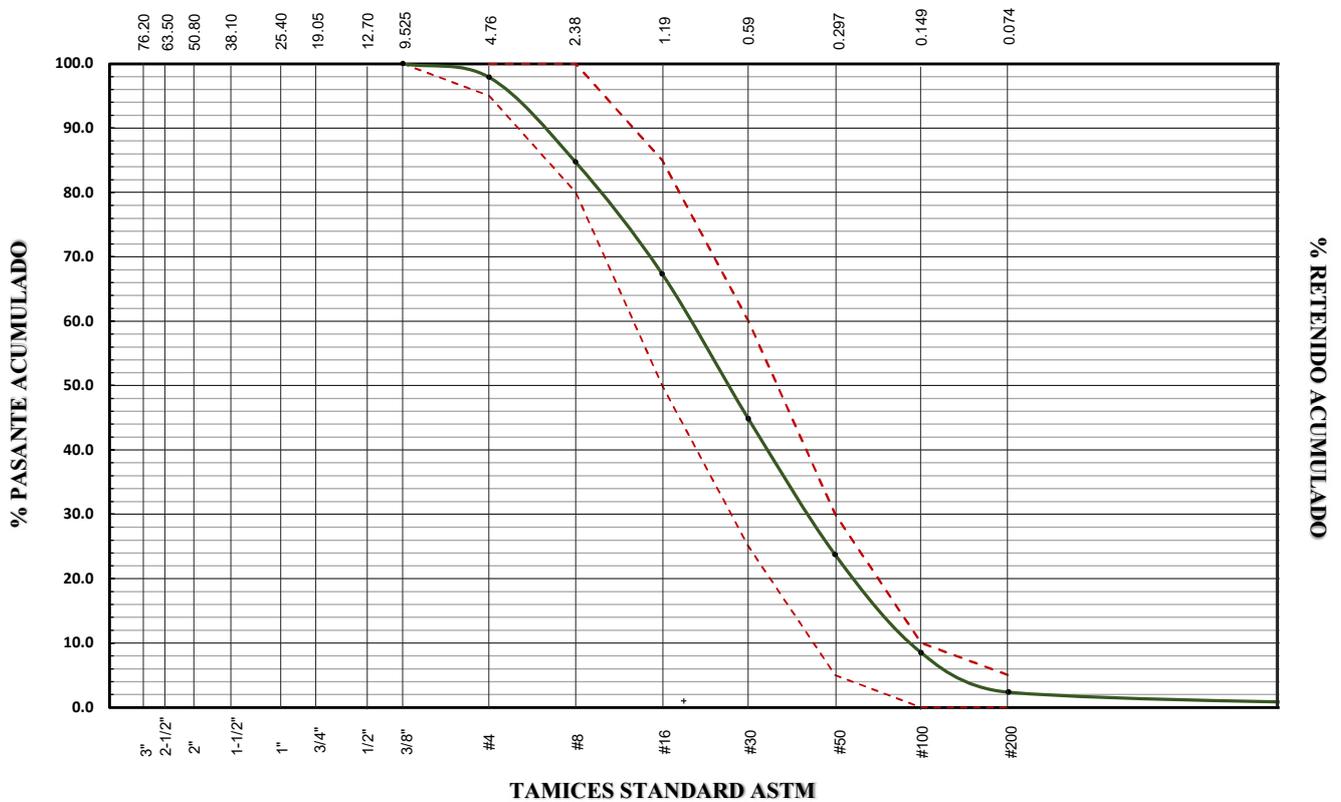
AGREGADO GRUESO

TAMIZ		MATERIAL RETENIDO		RETENIDO (AC.)	PASA (AC.)
ASTM	mm	gr	%	%	%
3/8"	9.51	0.00	0.0	0.0	100.0
#4	4.76	10.60	2.1	2.1	97.9
#8	2.38	65.98	13.2	15.3	84.7
#16	1.19	87.18	17.4	32.7	67.3
#30	0.60	112.76	22.5	55.2	44.8
#50	0.30	105.94	21.1	76.3	23.7
#100	0.15	76.29	15.2	91.5	8.5
#200	0.07	30.75	6.1	97.6	2.4
Band	0.00	11.83	2.4	100.0	0.0
TOTAL		501.33	100.0		

HUSO	
Lím 1	Lím 2
100.0	
95.0	100.0
80.0	100.0
50.0	85.0
25.0	60.0
5.0	30.0
0.0	10.0
0.0	5.0

Peso inicial: **500.19** kg
 Peso final: **501.33** gr
 Error: **-0.23%** ≤ **0.3%**
 Condición: **Aprobado**
 T.M.: **#4**
 M.F.: **2.73**
 Aprox: **0.01 gr**

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: Según los resultados obtenidos, las características granulométricas del agregado fino se ajustan al huso.

APÉNDICE A6. ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO FINO

“ESTUDIO DE LA EFECTIVIDAD DE TRES TIPOS DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN PARA LA PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO”

GRUPO DE INVESTIGACIÓN

ASESORES: Lic. María Isabel Díaz Tang
Ing. Julio César Carhuamaca Huanri

TESISTAS: Ancori Torobeo, Liz Stefany
Tenorio Palomino, Main Graciela

PRIMERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN

LUGAR: Laboratorio de Mecánica de Suelos

ENSAYO: Peso específico - Humedad de absorción - Peso unitario o volumétrico - Humedad Natural

NORMA: ASTM C128, ASTM C29, ASTM C566, ASTM C117, NTP 400.022, NTP 400.017, NTP 400.018 y NTP 339.185

AGREGADO FINO	MUESTRA N°			Condición	
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	1	2	3		
Peso agregado S.S.S. (gr)	500.02	500.14	500.01	500 g ± 10 g NTP 400.022	
Picnómetro N°	1	3	5		
Peso picnómetro + agregado S.S.S. + agua (gr)	977.76	986.36	969.72		
Peso picnómetro + agua	672.81	675.40	663.06		
Bandeja para secado N°	F 50	F 63	F 41		
Peso bandeja	129.55	138.02	118.97		
Peso agregado seco + bandeja	622.52	631.20	612.00		
Peso agregado seco	492.97	493.18	493.03		
Volumen agregado S.S.S.	195.07	189.18	193.35	Promedio	
Peso específico (gr/cm ³)	2.53	2.61	2.55	2.54	
Agua de absorción	7.05	6.96	6.98		
Humedad de absorción (%)	1.43	1.41	1.42	1.41	0.2% - 4% PCA

AGREGADO FINO	SUELTO			COMPACTADO		
PESO UNITARIO O VOLUMÉTRICO	1	2	3	1	2	3
Recipiente N°	Única			Única		
Peso del recipiente (kg)	3.050	3.050	3.050	3.050	3.050	3.050
Peso agregado + recipiente (kg)	7.800	7.916	7.852	8.341	8.390	8.462
Peso agregado (kg)	4.750	4.866	4.802	5.291	5.340	5.412
Volumen del recipiente (dm ³)	31.50	31.50	31.50	31.50	31.50	31.50
Peso unitario	1.51	1.54	1.52	1.68	1.70	1.72
Peso unitario promedio (gr/cm ³)	1.53			1.70		

AGREGADO FINO	1	2	3	Condición	
HUMEDAD NATURAL	1	2	3		
Bandeja N°	F-51	F-46	F-117		
Peso bandeja	146.22	111.10	144.97		
Peso agregado en E.N. + bandeja	646.93	631.60	647.25		
Peso agregado en E.N.	500.71	520.50	502.28	500 gr mín NTP 339.185	
Peso agregado seco + bandeja	643.95	628.34	643.83		
Peso agregado seco	497.73	517.24	498.86		
Cantidad de agua en el agregado	2.98	3.26	3.42		
Humedad natural (%)	0.60	0.63	0.69		
Humedad natural promedio (%)	0.64				

PORCENTAJE QUE PASA MALLA #200	1	2	3	Condición	
Bandeja N°	T 8	T 14	G 2		
Peso bandeja	184.29	217.10	170.59		
Peso agregado seco inicial + bandeja	484.31	517.28	470.85		
Peso agregado seco inicial	300.02	300.18	300.26	300 gr mín NTP 400.018	
Peso agregado seco final + bandeja	466.82	501.50	456.77		
Peso agregado seco final	282.53	284.40	286.18		
Porcentaje que pasa malla 200 (%)	5.83	5.26	4.69		
Porcentaje que pasa malla 200 promedio (%)	5.26				

OBSERVACIONES:

APÉNDICE B1: DOSIFICACIÓN MEZCLA ORIGINAL - MO,[NaCl]=0.0%

	MARCA	TIPO	P.E.	Dosis
Cemento	SOL	I	3.15	----
Reductor	BASF	A	1.18	6.5 ml/kg
Cloruro de sodio	-----	sólido	1.35	----

Slump	10-15 cm
-------	----------

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

	T.M.	M.F.	PU _C (gr/cm ³)	PU _S (gr/cm ³)	Pe _m (gr/cm ³)	ω _a (%)	ω _o (%)
Piedra	1/2"	6.15	1.61	1.51	2.76	1.08	0.63
Arena	#4	2.63	1.70	1.53	2.54	1.41	0.98

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO:

Resistencia media requerida f'cr (kg/cm ²)	250		
Revenimiento (cm)	12.5	Slump	10-15 cm
agua/cemento: W/C (en peso)	0.60		
Aditivo reductor/cemento (6.5 - 16 ml/kg)	6.5		4 minutos antes de vaciar

DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³:

MEZCLA ORIGINAL

REDUCTOR:	10%	Reduce % de agua manteniendo Relación agua/cemento		
INHIBIDOR:	Sin aditivo			
CLORUROS:	0.00%			
arena/Agregado:a/A(en volumen)		0.51		
MATERIAL	OPERACIONES	PESO (kg)	OPERACIONES	VOLUMEN (m ³)
Agua	0.90×222	200	199.8/1000	0.1998
Cemento	199.8/0.60	333	333/3150	0.1057
Aire	Asumo 2%	----		0.0250
Aditivo reductor		2.554	0.0022×1180	0.0022
Cloruro de Sodio	0 % del peso de cemento	0.000	0.000/1350	0.0000
Piedra		902	0.3270×2760	0.3270
Arena		864	0.3403×2540	0.3403
Peso total:		2302	Volumen total:	1.0000

Van...
0.3327

RESUMEN DE DOSIFICACIÓN

	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
a / A		0.51
W / C	0.60	----
Agua (kg)	200	0.1998
Cemento (kg)	333	0.1057
Aire	----	0.0250
Piedra (kg)	902	0.3270
Arena Gruesa (kg)	864	0.3403
Cloruro de Sodio (kg)	0	0.0000
Aditivo reductor (ml)	3	0.0022
Inhibidor (ml)	----	----
	2302	1.0000

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agua (kg)	7.78
Piedra (kg)	5.69
Arena Gruesa (kg)	8.47

DOSIFICACIÓN CORREGIDA

MATERIAL	PESO CORREGIDO (kg)	PESO 40 LITROS (kg)
Agua	207.578	8.303
Cemento	333.000	13.320
Aire	----	----
Aditivo reductor	2.554	0.102
Aditivo inhibidor	----	----
Cloruro de Sodio	0.000	0.000
Piedra	908.171	36.327
Arena	872.919	34.917

DOSIFICACIÓN FINAL

MEZCLA ORIGINAL	
Volumen de mezclar (m3):	0.04
Agua (kg)	8.303
Cemento (kg)	13.320
Piedra (kg)	36.327
Arena Gruesa (kg)	34.917
Cloruro de Sodio (kg)	----
Aditivo reductor (ml)	86.58
Inhibidor (ml)	----

APÉNDICE B2: DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA MP-0.5, [NaCl: 0.5 %]

	MARCA	TIPO	P.E.	Dosis
Cemento	SOL	I	3.15	----
Reductor	BASF	A	1.20	6.5 ml/kg
Cloruro de sodio	-----	sólido	1.35	----

Slump	10-15 cm
-------	----------

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

	T.M.	M.F.	PU _C (gr/cm ³)	PU _S (gr/cm ³)	Pe _m (gr/cm ³)	ω _a (%)	ω _o (%)
Piedra	1/2"	6.15	1.61	1.51	2.76	1.08	0.52
Arena	#4	2.63	1.70	1.53	2.54	1.41	0.66

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO:

Resistencia media requerida f'cr (kg/cm ²)	250	Slump : 10 - 15 cm
Revenimiento (cm)	12.5	
agua/cemento: W/C (en peso)	0.60	
Aditivo reductor/cemento (6.5 - 16 ml/kg)	6.5	

DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³ :

MEZCLA PATRÓN

REDUCTOR:	10%	Reduce % de agua manteniendo Relación agua/cemento
INHIBIDOR:	Sin aditivo	
CLORUROS:	0.50%	

arena/Agregado:a/A(en volumen)	0.51
--------------------------------	------

MATERIAL	OPERACIONES	PESO (kg)	OPERACIONES	VOLUMEN (m ³)
Agua	0.90x222 →	200	199.8/1000	0.1998
Cemento	199.8/0.60 →	333	333/150	0.1057
Aire	Asumo 2.5%	----		0.0250
Aditivo reductor		2.597 ←	0.0022x1200	0.0022
Cloruro de Sodio	0.50% del peso de cemento	1.665 →	1.6650/1350	0.0012
Piedra		901 ←	0.3264x2760	0.3264
Arena		863 ←	0.3397x2540	0.3397
Peso total:		2301	Volumen total:	1.0000

Van...
0.3339

RESUMEN DE DOSIFICACIÓN

	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
a / A	----	0.51
W / C	0.60	----
Agua (kg)	200	0.1998
Cemento (kg)	333	0.1057
Aire	----	0.0250
Piedra (kg)	901	0.3264
Arena Gruesa (kg)	863	0.3397
Cloruro de Sodio (kg)	2	0.0012
Aditivo reductor (kg)	3	0.0022
Inhibidor (kg)	----	----
	2301	1.0000

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agua (kg)	11.52
Piedra (kg)	4.68
Arena Gruesa (kg)	5.69

DOSIFICACIÓN CORREGIDA

MATERIAL	PESO CORREGIDO (kg)	PESO 40 LITROS (kg)
Agua	211.316	8.453
Cemento	333.000	13.320
Aire	----	----
Aditivo reductor	2.597	0.104
Cloruro de Sodio	1.665	0.067
Piedra	905.501	36.220
Arena	868.545	34.742

DOSIFICACIÓN FINAL

MEZCLA PATRÓN 0.50%	
Volumen de mezclar (m ³):	0.04
Agua (kg)	8.453
Cemento (kg)	13.320
Piedra (kg)	36.220
Arena Gruesa (kg)	34.742
Cloruro de Sodio (kg)	0.067
Aditivo reductor (ml)	86.58
Inhibidor (ml)	----

APÉNDICE B3: DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA MP-1.5, [NaCl: 1.5 %]

	MARCA	TIPO	P.E.	Dosis
Cemento	SOL	I	3.15	----
Reductor	BASF	A	1.20	6.5 ml/kg
Cloruro de sodio	----	sólido	1.35	----

Slump	10-15 cm
-------	----------

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

	T.M.	M.F.	PU _C (gr/cm ³)	PU _S (gr/cm ³)	Pe _m (gr/cm ³)	ω _a (%)	ω _o (%)
Piedra	1/2"	6.15	1.61	1.51	2.76	1.08	0.51
Arena	#4	2.63	1.70	1.53	2.54	1.41	0.64

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO:

Resistencia media requerida f'cr (kg/cm ²)	250
Revenimiento (cm)	12.5
agua/cemento: W/C (en peso)	0.60
Aditivo reductor/cemento (6.5 - 16 ml/kg)	6.5

Slump : 10 -15 cm
4 minutos antes de vaciar

DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³ :

MEZCLA PATRÓN

REDUCTOR:	10%	Reduce % de agua manteniendo Relación agua/cemento
ADITIVOS:	Sin aditivo	
CLORUROS:	1.50%	

arena/Agregado:a/A(en volumen)	0.51
--------------------------------	------

MATERIAL	OPERACIONES	PESO (kg)	OPERACIONES	VOLUMEN (m ³)
Agua	0.90x222	200	199.8/1000	0.1998
Cemento	199.8/0.60	333	333/3150	0.1057
Aire	Asumo 2.5%	----		0.0250
Aditivo reductor		2.597	0.0022x1200	0.0022
Cloruro de Sodio	1.50% del peso de cemento	4.995	4.9950/1350	0.0037
Piedra		897	0.3252x2760	0.3252
Arena		860	0.3384x2540	0.3384
Peso total:		2298	Volumen total:	1.0000

Van...
0.3364

RESUMEN DE DOSIFICACIÓN

	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
a / A		0.51
W / C	0.60	----
Agua (kg)	200	0.1998
Cemento (kg)	333	0.1057
Aire	----	0.0250
Piedra (kg)	897	0.3252
Arena Gruesa (kg)	860	0.3384
Cloruro de Sodio (kg)	5	0.0037
Aditivo reductor (kg)	3	0.0022
Inhibidor (kg)	----	----
	2298	1.0000

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agua (kg)	11.73
Piedra (kg)	4.58
Arena Gruesa (kg)	5.50

DOSIFICACIÓN CORREGIDA

MATERIAL	PESO CORREGIDO (kg)	PESO 40 LITROS (kg)
Agua	211.535	8.461
Cemento	333.000	13.320
Aire	----	----
Aditivo reductor	2.597	0.104
Cloruro de Sodio	4.995	0.200
Piedra	902.058	36.082
Arena	865.157	34.606

DOSIFICACIÓN FINAL

MEZCLA PATRÓN - 1.50%	
Volumen de mezclar (m3):	0.04
Agua (kg)	8.461
Cemento (kg)	13.320
Piedra (kg)	36.082
Arena Gruesa (kg)	34.606
Cloruro de Sodio (kg)	0.200
Aditivo reductor (ml)	86.58
Inhibidor (ml)	----

APÉNDICE B4: DOSIFICACIÓN MEZCLA MP-2.5, [NaCl: 2.5 %]

	MARCA	TIPO	P.E.	Dosis
Cemento	SOL	I	3.15	----
Reductor	BASF	A	1.20	8 ml/kg
Cloruro de sodio	-----	sólido	1.35	----

Slump	10-15 cm
-------	----------

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

	T.M.	M.F.	PU _C (gr/cm ³)	PU _S (gr/cm ³)	P _e _m (gr/cm ³)	ω _a (%)	ω _o (%)
Piedra	1/2"	6.15	1.61	1.51	2.76	1.08	0.54
Arena	#4	2.63	1.70	1.53	2.54	1.41	0.65

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO:

Resistencia media requerida f'cr (kg/cm ²)	250	Slump : 10 -15 cm
Revenimiento (cm)	12.5	
agua/cemento: W/C (en peso)	0.60	
Aditivo reductor/cemento (6.5 - 16 ml/kg)	6.5	

DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³:

MEZCLA PATRÓN

REDUCTOR:	10%	Reduce % de agua manteniendo Relación agua/cemento
ADITIVOS:	Sin aditivo	
CLORUROS:	2.50%	

MATERIAL	OPERACIONES	PESO (kg)	OPERACIONES	VOLUMEN (m ³)
Agua	0.90x222 →	200	→ 199.8 /1000	0.1998
Cemento	199.8/0.60 →	333	→ 333/3150	0.1057
Aire	Asumo 2.5%	----		0.0250
Aditivo reductor		2.597 ←	0.0022x1200	0.0022
Cloruro de Sodio	2.50% del peso de cemento	8.325 →	8.325/1350	0.0062
Piedra		894 ←	0.3240x2760	0.3240
Arena		856 ←	0.3372x2540	0.3372
Peso total:		2294	Volumen total:	1.0000

Van...
0.3388

RESUMEN DE DOSIFICACIÓN

	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
a / A	----	0.51
W / C	0.60	----
Agua (kg)	200	0.1998
Cemento (kg)	333	0.1057
Aire	----	0.0250
Piedra (kg)	894	0.3240
Arena Gruesa (kg)	856	0.3372
Cloruro de Sodio (kg)	8	0.0062
Aditivo reductor (kg)	3	0.0022
Inhibidor (kg)	----	----
	2294	1.0000

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agua (kg)	11.34
Piedra (kg)	4.83
Arena Gruesa (kg)	5.57

DOSIFICACIÓN CORREGIDA

MATERIAL	PESO CORREGIDO (kg)	PESO 40 LITROS (kg)
Agua	211.137	8.445
Cemento	333.000	13.320
Aire	----	----
Aditivo reductor	2.597	0.104
Cloruro de Sodio	8.325	0.333
Piedra	898.974	35.959
Arena	862.027	34.481

DOSIFICACIÓN FINAL

MEZCLA PATRÓN - 2.50%	
Volumen de mezclar (m3):	0.04
Agua (kg)	8.445
Cemento (kg)	13.320
Piedra (kg)	35.959
Arena Gruesa (kg)	34.481
Cloruro de Sodio (kg)	0.333
Aditivo reductor (ml)	86.58
Inhibidor (ml)	----

APÉNDICE B5: DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA MA-0.5, [NaCl]=0.5%

	MARCA	TIPO	P.E.	Dosis
Cemento	SOL	I	3.150	----
Reductor	BASF	A	1.200	6.5 ml/kg
Inhibidor A	SIKA	1	1.224	7 kg/m ³
Cloruro de sodio	-----	sólido	1.350	----

Slump	10-15 cm
-------	----------

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

	T.M.	M.F.	PU _C (gr/cm ³)	PU _S (gr/cm ³)	Pe _m (gr/cm ³)	ω _a (%)	ω _o (%)
Piedra	1/2"	6.15	1.61	1.51	2.76	1.08	0.52
Arena	#4	2.63	1.70	1.53	2.54	1.41	0.78

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO:

Resistencia media requerida f'cr (kg/cm ²)	250		
Revenimiento (cm)	12.5	Slump	10-15 cm
agua/cemento: W/C (en peso)	0.60		
Aditivo reductor/cemento (6.5 - 16 ml/kg)	6.5		

DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³:

MEZCLA TIPO 1

REDUCTOR:	10%	Reduce % de agua manteniendo Relación agua/cemento		
INHIBIDOR:	7.0	Aditivo inhibidor en base a nitrito de calcio (kg/m ³ concreto)		
CLORUROS:	0.50%			
arena/Agregado:a/A(en volumen)		0.51		
MATERIAL	OPERACIONES	PESO (kg)	OPERACIONES	VOLUMEN (m ³)
Agua	0.90x222	200	200/1000	0.1998
Cemento	200/0.60	333	333/3150	0.1057
Aire	Asumo 2.5%	----		0.0250
Aditivo reductor		2.597	0.0022x1200	0.0022
Aditivo inhibidor		7.000	7/1224	0.0057
Cloruro de Sodio	0.50% del peso de cemento	1.665	2/1350	0.0012
Piedra		893	0.3236x2760	0.3236
Arena		855	0.3368x2540	0.3368
Peso total:		2293	Volumen total:	1.0000

Van...
0.3396

RESUMEN DE DOSIFICACIÓN

	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
a / A	----	0.51
W / C	0.60	----
Agua (kg)	200	0.1998
Cemento (kg)	333	0.1057
Aire	----	0.0250
Piedra (kg)	893	0.3236
Arena Gruesa (kg)	855	0.3368
Cloruro de Sodio (kg)	2	0.0012
Aditivo reductor (kg)	3	0.0022
Inhibidor (kg)	7	0.0057
	2293	1.0000

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agua (kg)	10.39
Piedra (kg)	4.64
Arena Gruesa (kg)	6.67

DOSIFICACIÓN CORREGIDA

MATERIAL	PESO CORREGIDO (kg)	PESO 40 LITROS (kg)
Agua	210.191	8.408
Cemento	333.000	13.320
Aire	----	----
Aditivo reductor	2.597	0.104
Aditivo inhibidor	7.000	0.280
Cloruro de Sodio	1.665	0.067
Piedra	897.727	35.909
Arena	862.114	34.485

DOSIFICACIÓN FINAL

MEZCLA "A" - 0.50%	
Volumen de mezclar (m3):	0.04
Agua (kg)	8.408
Cemento (kg)	13.320
Piedra (kg)	35.909
Arena Gruesa (kg)	34.485
Cloruro de Sodio (kg)	0.067
Aditivo reductor (ml)	86.58
Inhibidor (ml)	228.76

APÉNDICE B6: DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA MA-1.5, [NaCl]=1.5%

	MARCA	TIPO	P.E.	Dosis
Cemento	SOL	I	3.150	----
Reductor	BASF	A	1.200	6.5 ml/kg
Inhibidor A	SIKA	1	1.224	7 kg/m ³
Cloruro de sodio	-----	sólido	1.350	----

Slump	10-15 cm
-------	----------

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

	T.M.	M.F.	PU _C (gr/cm ³)	PU _S (gr/cm ³)	Pe _m (gr/cm ³)	ω _a (%)	ω _o (%)
Piedra	1/2"	6.15	1.61	1.51	2.76	1.08	0.56
Arena	#4	2.63	1.70	1.53	2.54	1.41	0.77

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO:

Resistencia media requerida f'cr (kg/cm ²)	250
Revenimiento (cm)	12.5
agua/cemento: W/C (en peso)	0.60
Aditivo reductor/cemento (6.5 - 16 ml/kg)	6.5

Slump	10-15 cm
-------	----------

DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³ :

MEZCLA A

REDUCTOR:	10%	Reduce % de agua manteniendo Relación agua/cemento
ADITIVOS:	7	Aditivo inhibidor en base a nitrito de calcio (kg/m ³ concreto)
CLORUROS:	1.50%	

MATERIAL	OPERACIONES	PESO (kg)	OPERACIONES	VOLUMEN (m ³)
Agua	0.90 × 222	200	199.8 / 1000	0.1998
Cemento	199.8 / 0.60	333	333 / 3150	0.1057
Aire	Asumo 2.5%	----		0.0250
Aditivo reductor		2.597	0.0022 × 1200	0.0022
Aditivo inhibidor		7.000	7 / 1224	0.0057
Cloruro de Sodio	1.50% del peso de cemento	4.995	5 / 1350	0.0037
Piedra		890	0.3224 × 2760	0.3224
Arena		852	0.3355 × 2540	0.3355
Peso total:		2289	Volumen total:	1.000

Van...
0.3421

RESUMEN DE DOSIFICACIÓN

	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
a / A		0.51
W / C	0.60	----
Agua (kg)	200	0.1998
Cemento (kg)	333	0.1057
Aire	----	0.0250
Piedra (kg)	890	0.3224
Arena Gruesa (kg)	852	0.3355
Cloruro de Sodio (kg)	5	0.0037
Aditivo reductor (kg)	3	0.0022
Inhibidor (kg)	7	0.0057
	2289	1.0000

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agua (kg)	10.08
Piedra (kg)	4.98
Arena Gruesa (kg)	6.56

DOSIFICACIÓN CORREGIDA

MATERIAL	PESO CORREGIDO (kg)	PESO 40 LITROS (kg)
Agua	209.881	8.395
Cemento	333.000	13.320
Aire	----	----
Aditivo reductor	2.597	0.104
Aditivo inhibidor	7.000	0.280
Cloruro de Sodio	4.995	0.200
Piedra	894.730	35.789
Arena	858.809	34.352

DOSIFICACIÓN FINAL

MEZCLA "A"- 1.50%	
Volumen de mezclar (m ³):	0.04
Agua (kg)	8.395
Cemento (kg)	13.320
Piedra (kg)	35.789
Arena Gruesa (kg)	34.352
Cloruro de Sodio (kg)	0.200
Aditivo reductor (ml)	86.58
Inhibidor (ml)	228.76

APÉNDICE B7: DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA MA-2.5, [NaCl]=2.5%

	MARCA	TIPO	P.E.	Dosis
Cemento	SOL	I	3.150	----
Reductor	BASF	A	1.200	6.5 ml/kg
Inhibidor A	SIKA	1	1.224	7 kg/m ³
Cloruro de sodio	----	sólido	1.350	----

Slump	10-15 cm
-------	----------

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

	T.M.	M.F.	PU _c (gr/cm ³)	PU _s (gr/cm ³)	Pe _m (gr/cm ³)	ω _a (%)	ω _o (%)
Piedra	1/2"	6.15	1.61	1.51	2.76	1.08	0.39
Arena	#4	2.63	1.70	1.53	2.54	1.41	0.79

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO:

Resistencia media requerida f'cr (kg/cm ²)	250		
Revenimiento (cm)	12.5	Slump	10-15 cm
agua/cemento: W/C (en peso)	0.60		
Aditivo reductor/cemento (6.5 - 16 ml/kg)	6.5		

DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³:

MEZCLA A

REDUCTOR:	10%	Reduce % de agua manteniendo Relación agua/cemento
ADITIVOS:	7	Aditivo inhibidor en base a nitrito de calcio
CLORUROS:	2.50%	

MATERIAL	OPERACIONES	PESO (kg)	OPERACIONES	VOLUMEN (m ³)
Agua	0.90x222 →	200	200/1000	0.1998
Cemento	200/0.60 →	333	333/3150	0.1057
Aire	Asumo 2.5%	----		0.0250
Aditivo reductor		2.597 ←	0.0022x1200	0.0022
Aditivo inhibidor		7.000 →	7/1224	0.0057
Cloruro de Sodio	2.50% del peso de cemento	8.325 →	8.3250/1350	0.0062
Piedra		886 ←	0.3212x2760	0.3212
Arena		849 ←	0.3343x2540	0.3343
Peso total:		2286	Volumen total:	1.000

Van...
0.3446

RESUMEN DE DOSIFICACIÓN

	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
a / A		0.51
W / C	0.60	----
Agua (kg)	200	0.1998
Cemento (kg)	333	0.1057
Aire	----	0.0250
Piedra (kg)	849	0.3343
Arena Gruesa (kg)	886	0.3212
Cloruro de Sodio (kg)	8	0.0062
Aditivo reductor (kg)	3	0.0022
Inhibidor (kg)	7	0.0057
	2286	1.0000

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agua (kg)	11.38
Piedra (kg)	3.46
Arena Gruesa (kg)	6.71

DOSIFICACIÓN CORREGIDA

MATERIAL	PESO CORREGIDO (kg)	PESO 40 LITROS (kg)
Agua	211.180	8.447
Cemento	333.000	13.320
Aire	----	----
Aditivo reductor	2.597	0.104
Aditivo inhibidor	7.000	0.280
Cloruro de Sodio	8.325	0.333
Piedra	889.868	35.595
Arena	855.759	34.230

DOSIFICACIÓN FINAL

MEZCLA "A" - 2.50%	
Volumen de mezclar (m3):	0.04
Agua (kg)	8.447
Cemento (kg)	13.320
Piedra (kg)	35.595
Arena Gruesa (kg)	34.230
Cloruro de Sodio (kg)	0.333
Aditivo reductor (ml)	86.580
Inhibidor (ml)	228.758

APÉNDICE B8: DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA MB-0.5, [NaCl]=0.5%

	MARCA	TIPO	P.E.	Dosis
Cemento	SOL	I	3.150	----
Reductor	BASF	A	1.200	6.5 ml/kg
Inhibidor B	BASF	B	0.985	5 l/m³
Cloruro de sodio	-----	sólido	1.350	----

Slump	10-15 cm
-------	----------

Densidad: 0,98 – 0,99 g/cc3,

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

	T.M.	M.F.	PU _C (gr/cm ³)	PU _S (gr/cm ³)	Pe _m (gr/cm ³)	ω _a (%)	ω _o (%)
Piedra	1/2"	6.15	1.61	1.51	2.76	1.08	0.65
Arena	#4	2.63	1.70	1.53	2.54	1.41	1.03

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO:

Resistencia media requerida f'cr (kg/cm ²)	250
Revenimiento (cm)	12.5
agua/cemento: W/C (en peso)	0.60
Aditivo reductor/cemento (6.5 - 16 ml/kg)	6.5

Slump	10-15 cm
-------	----------

DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³:

MEZCLA B

REDUCTOR:	10%	Reduce % de agua manteniendo Relación agua/cemento Aditivo inhibidor en base orgánica (5L/m3 concreto)
INHIBIDOR:	5	
CLORUROS:	0.50%	

arena/Agregado:a/A(en volumen)	0.51
--------------------------------	------

MATERIAL	OPERACIONES	PESO (kg)	OPERACIONES	VOLUMEN (m ³)
Agua	0.90x222 →	200	200/1000	0.1998
Cemento	199.8/0.60 →	333	333/3150	0.1057
Aire	Asumo 2.5%	-----		0.0250
Aditivo reductor		2.597 ←	0.0022x1200	0.0022
Aditivo inhibidor		4.925 ←	0.0050x985	0.0050
Cloruro de Sodio	0.50% del peso de cemento	1.665 →	2/1350	0.0012
Piedra		894 ←	0.3239x2760	0.3239
Arena		856 ←	0.3372x2540	0.3372
Peso total:		2292	Volumen total:	1.0000

Van...
0.3389

RESUMEN DE DOSIFICACIÓN

	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
a / A		0.51
W / C	0.60	----
Agua (kg)	200	0.1998
Cemento (kg)	333	0.1057
Aire	-----	0.0250
Piedra (kg)	894	0.3239
Arena Gruesa (kg)	856	0.3372
Cloruro de Sodio (kg)	2	0.0012
Aditivo reductor (kg)	3	0.0022
Inhibidor (kg)	5	0.0050
	2292	1.0000

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agua (kg)	7.10
Piedra (kg)	5.81
Arena Gruesa (kg)	8.82

DOSIFICACIÓN CORREGIDA

MATERIAL	PESO CORREGIDO (kg)	PESO 40 LITROS (kg)
Agua	206.899	8.276
Cemento	333.000	13.320
Aire	-----	-----
Aditivo reductor	2.597	0.104
Aditivo inhibidor	4.925	0.197
Cloruro de Sodio	1.665	0.067
Piedra	899.867	35.995
Arena	865.194	34.608

DOSIFICACIÓN FINAL

MEZCLA "B"- 0.50%	
Volumen de mezclar (m3):	0.04
Agua (kg)	8.276
Cemento (kg)	13.320
Piedra (kg)	35.995
Arena Gruesa (kg)	34.608
Cloruro de Sodio (kg)	0.067
Aditivo reductor (ml)	86.58
Inhibidor (ml)	200.00

APÉNDICE B9: DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA MB-1.5, [NaCl=1.5%]

	MARCA	TIPO	P.E.	Dosis
Cemento	SOL	I	3.150	----
Reductor	BASF	A	1.200	6.5 ml/kg
Inhibidor B	BASF	B	0.985	5 l/m ³
Cloruro de sodio	-----	sólido	1.350	----

Slump	10-15 cm
-------	----------

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

	T.M.	M.F.	PU _C (gr/cm ³)	PU _S (gr/cm ³)	P _e _m (gr/cm ³)	ω _a (%)	ω _o (%)
Piedra	1/2"	6.15	1.61	1.51	2.76	1.08	0.65
Arena	#4	2.63	1.70	1.53	2.54	1.41	1.03

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO:

Resistencia media requerida f'cr (kg/cm ²)	250		
Revenimiento (cm)	12.5	Slump	10-15 cm
agua/cemento: W/C (en peso)	0.60		
Aditivo reductor/cemento (6.5 - 16 ml/kg)	6.5		

DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³ :

MEZCLA B

REDUCTOR:	10%	Reduce % de agua manteniendo Relación agua/cemento		
ADITIVOS:	5	Aditivo inhibidor en base orgánica (5L/m ³ concreto)		
CLORUROS:	1.50%			
arena/Agregado:a/A(en volumen)		0.51		
MATERIAL	OPERACIONES	PESO (kg)	OPERACIONES	VOLUMEN (m ³)
Agua	0.90x222	200	199.8/1000	0.1998
Cemento	199.8/0.60	333	333/3150	0.1057
Aire	Asumo 2.5%	----		0.0250
Aditivo reductor		2.597	0.0022x1200	0.0022
Aditivo inhibidor		4.925	0.0050x985	0.0050
Cloruro de Sodio	1.50% del peso de cemento	4.995	5/1350	0.0037
Piedra		891	0.3227x2760	0.3227
Arena		853	0.3359x2540	0.3359
Peso total:		2289	Volumen total:	1.000

Van...
0.3414

RESUMEN DE DOSIFICACIÓN

	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
a / A		0.51
W / C	0.60	----
Agua (kg)	200	0.1998
Cemento (kg)	333	0.1057
Aire	----	0.0250
Piedra (kg)	891	0.3227
Arena Gruesa (kg)	853	0.3359
Cloruro de Sodio (kg)	5	0.0037
Aditivo reductor (kg)	3	0.0022
Inhibidor (kg)	5	0.0050
	2289	1.0000

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agua (kg)	7.07
Piedra (kg)	5.79
Arena Gruesa (kg)	8.79

DOSIFICACIÓN CORREGIDA

MATERIAL	PESO CORREGIDO (kg)	PESO 40 LITROS (kg)
Agua	206.872	8.275
Cemento	333.000	13.320
Aire	----	----
Aditivo reductor	2.597	0.104
Aditivo inhibidor	4.925	0.197
Cloruro de Sodio	4.995	0.200
Piedra	896.509	35.860
Arena	861.966	34.479

DOSIFICACIÓN FINAL

MEZCLA "B" - 1.50%	
Volumen de mezclar (m ³):	0.04
Agua (kg)	8.275
Cemento (kg)	13.320
Piedra (kg)	35.860
Arena Gruesa (kg)	34.479
Cloruro de Sodio (kg)	0.200
Aditivo reductor (ml)	86.58
Inhibidor (ml)	200.00

APÉNDICE B10: DOSIFICACIÓN MEZCLA CON INHIBIDOR B [NaCl: 2.5 %]

	MARCA	TIPO	P.E.	Dosis
Cemento	SOL	I	3.150	----
Reductor	BASF	A	1.200	6.5 ml/kg
Inhibidor B	BASF	2	0.985	5 l/m ³
Cloruro de sodio	-----	sólido	1.350	----

Slump	10-15 cm
-------	----------

Densidad: 0,98 – 0,99 g/cc3,

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

	T.M.	M.F.	PU _C (gr/cm ³)	PU _S (gr/cm ³)	Pe _m (gr/cm ³)	ω _a (%)	ω _o (%)
Piedra	1/2"	6.15	1.61	1.51	2.76	1.08	0.60
Arena	#4	2.63	1.70	1.53	2.54	1.41	0.87

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO:

Resistencia media requerida f'cr (kg/cm ²)	250
Revenimiento (cm)	12.5
agua/cemento: W/C (en peso)	0.60
Aditivo reductor/cemento (6.5 - 16 ml/kg)	6.5

Slump	10-15 cm
-------	----------

DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³ : MEZCLA B

REDUCTOR:	10%	Reduce % de agua manteniendo Relación agua/cemento
ADITIVOS:	5	Aditivo inhibidor en base orgánica (5L/m ³ concreto)
CLORUROS:	2.50%	

MATERIAL	OPERACIONES	PESO (kg)	OPERACIONES	VOLUMEN (m ³)
Agua	0.90x222	200	199.8/1000	0.1998
Cemento	199.8/0.60	333	333/3150	0.1057
Aire	Asumo 2.5%	----		0.0250
Aditivo reductor		2.597 ←	0.0022x1200	0.0022
Aditivo inhibidor		4.925 ←	0.0050x985	0.0050
Cloruro de Sodio	2.50% del peso de cemento	8.325 →	8/1350	0.0062
Piedra		887 ←	0.3215x2760	0.3215
Arena		850 ←	0.3346x2540	0.3346
Peso total:		2286	Volumen total: 1.000	

Van...
0.3438

RESUMEN DE DOSIFICACIÓN

	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
a / A	0.60	----
W / C	200	0.1998
Agua (kg)	333	0.1057
Cemento (kg)	----	0.0250
Aire	850	0.3346
Piedra (kg)	887	0.3215
Arena Gruesa (kg)	8	0.0062
Cloruro de Sodio (kg)	3	0.0022
Aditivo reductor (kg)	5	0.0050
Inhibidor (kg)	2286	1.0000

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agua (kg)	8.89
Piedra (kg)	5.32
Arena Gruesa (kg)	7.35

DOSIFICACIÓN CORREGIDA

MATERIAL	PESO CORREGIDO (kg)	PESO 40 LITROS (kg)
Agua	208.692	8.348
Cemento	333.000	13.320
Aire	----	----
Aditivo reductor	2.597	0.104
Aditivo inhibidor	4.925	0.197
Cloruro de Sodio	8.325	0.333
Piedra	892.708	35.708
Arena	857.335	34.293

DOSIFICACIÓN FINAL

MEZCLA "B" - 2.50%	
Volumen de mezclar (m ³):	0.04
Agua (kg)	8.348
Cemento (kg)	13.320
Piedra (kg)	35.708
Arena Gruesa (kg)	34.293
Cloruro de Sodio (kg)	0.333
Aditivo reductor (ml)	86.58
Inhibidor (ml)	200.00

APÉNDICE B11: DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA MC-0.5, [NaCl]=0.5%

	MARCA	TIPO	P.E.	Dosis
Cemento	SOL	I	3.150	----
Reductor	BASF	A	1.200	6.5 ml/kg
Inhibidor C	CHEMA	C	1.050	9 l/m ³
Cloruro de sodio	-----	sólido	1.350	----

Slump	10-15 cm
-------	----------

Densidad:(1.00 – 1.10 g/ml)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

	T.M.	M.F.	PU _C (gr/cm ³)	PU _S (gr/cm ³)	P _e _m (gr/cm ³)	ω _a (%)	ω _o (%)
Piedra	1/2"	6.15	1.61	1.51	2.76	1.08	0.55
Arena	#4	2.63	1.70	1.53	2.54	1.41	0.91

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO:

Resistencia media requerida f'cr (kg/cm ²)	250		
Revenimiento (cm)	12.5	Slump	10-15 cm
agua/cemento: W/C (en peso)	0.60		
Aditivo reductor/cemento (6.5 - 16 ml/kg)	6.5		

DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³:

MEZCLA C

REDUCTOR:	10%	Reduce % de agua manteniendo Relación agua/cemento
INHIBIDOR:	9	Aditivo inhibidor en base orgánica (9L/m ³ concreto)
CLORUROS:	0.50%	

MATERIAL	OPERACIONES	PESO (kg)	OPERACIONES	VOLUMEN (m ³)
Agua	0.90x222	200	200/1000	0.1998
Cemento	199.8/0.60	333	333/3150	0.1057
Aire	Asumo 2.5%	----		0.0250
Aditivo reductor		2.597	0.0022x1200	0.0022
Aditivo inhibidor		9.450	0.0090x1050	0.0090
Cloruro de Sodio	0.50% del peso de cemento	1.665	2/1350	0.0012
Piedra		889	0.3220x2760	0.3220
Arena		851	0.3351x2540	0.3351
Peso total:		2286	Volumen total:	1.0000

Van...
0.3429

RESUMEN DE DOSIFICACIÓN

	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
a / A		0.51
W / C	0.60	-----
Agua (kg)	200	0.1998
Cemento (kg)	333	0.1057
Aire	-----	0.0250
Piedra (kg)	889	0.3220
Arena Gruesa (kg)	851	0.3351
Cloruro de Sodio (kg)	2	0.0012
Aditivo reductor (kg)	3	0.0022
Inhibidor (kg)	9	0.0090
	2286	1.0000

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agua (kg)	8.97
Piedra (kg)	4.89
Arena Gruesa (kg)	7.75

DOSIFICACIÓN CORREGIDA

MATERIAL	PESO CORREGIDO (kg)	PESO 40 LITROS (kg)
Agua	208.766	8.351
Cemento	333.000	13.320
Aire	-----	-----
Aditivo reductor	2.597	0.104
Aditivo inhibidor	9.450	0.378
Cloruro de Sodio	1.665	0.067
Piedra	893.533	35.741
Arena	858.937	34.357

DOSIFICACIÓN FINAL

MEZCLA "C"- 0.50%	
Volumen de mezclar (m ³):	0.04
Agua (kg)	8.351
Cemento (kg)	13.320
Piedra (kg)	35.741
Arena Gruesa (kg)	34.357
Cloruro de Sodio (kg)	0.067
Aditivo reductor (ml)	86.58
Inhibidor (ml)	360.00

APÉNDICE B12: DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA MC-1.5, [NaCl]=1.50%

	MARCA	TIPO	P.E.	Dosis
Cemento	SOL	I	3.150	----
Reductor	BASF	A	1.200	6.5 ml/kg
Inhibidor C	CHEMA	3	1.05	9 l/m ³
Cloruro de sodio	-----	sólido	1.350	----

Slump	10-15 cm
-------	----------

Densidad:(1.00 – 1.10 g/ml)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

	T.M.	M.F.	PU _C (gr/cm ³)	PU _S (gr/cm ³)	Pe _m (gr/cm ³)	ω _a (%)	ω _o (%)
Piedra	1/2"	6.15	1.61	1.51	2.76	1.08	0.59
Arena	#4	2.63	1.70	1.53	2.54	1.41	0.82

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO:

Resistencia media requerida f'cr (kg/cm ²)	250		
Revenimiento (cm)	12.5	Slump	10-15 cm
agua/cemento: W/C (en peso)	0.60		
Aditivo reductor/cemento (6.5 - 16 ml/kg)	6.5		

DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³:

MEZCLA C

REDUCTOR:	10%	Reduce % de agua manteniendo Relación agua/cemento
ADITIVOS:	9	Aditivo inhibidor en base orgánica 95L/m ³ concreto)
CLORUROS:	1.50%	

arena/Agregado:a/A(en volumen) 0.51

MATERIAL	OPERACIONES	PESO (kg)	OPERACIONES	VOLUMEN (m ³)
Agua	0.90*222 →	200	199.8/1000	0.1998
Cemento	199.8/0.60 →	333	333/3150	0.1057
Aire	Asumo 2.5%	----		0.0250
Aditivo reductor		2.597 ←	0.0022*1200	0.0022
Aditivo inhibidor		9.450 ←	0.0090*1050	0.0090
Cloruro de Sodio	1.50% del peso de cemento	4.995 →	5/1350	0.0037
Piedra		885 ←	0.3208*2760	0.3208
Arena		848 ←	0.3339*2540	0.3339
Peso total:		2283	Volumen total:	1.000

Van...
0.3454

RESUMEN DE DOSIFICACIÓN

	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
a / A		0.51
W / C	0.60	----
Agua (kg)	200	0.1998
Cemento (kg)	333	0.1057
Aire	----	0.0250
Piedra (kg)	885	0.3208
Arena Gruesa (kg)	848	0.3339
Cloruro de Sodio (kg)	5	0.0037
Aditivo reductor (kg)	3	0.0022
Inhibidor (kg)	9	0.0090
	2283	1.0000

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agua (kg)	9.34
Piedra (kg)	5.22
Arena Gruesa (kg)	6.95

DOSIFICACIÓN CORREGIDA

MATERIAL	PESO CORREGIDO (kg)	PESO 40 LITROS (kg)
Agua	209.141	8.366
Cemento	333.000	13.320
Aire	----	----
Aditivo reductor	2.597	0.104
Aditivo inhibidor	9.450	0.378
Cloruro de Sodio	4.995	0.200
Piedra	890.533	35.621
Arena	854.950	34.198

DOSIFICACIÓN FINAL

MEZCLA "C"- 1.50%	
Volumen de mezclar (m ³):	0.04
Agua (kg)	8.366
Cemento (kg)	13.320
Piedra (kg)	35.621
Arena Gruesa (kg)	34.198
Cloruro de Sodio (kg)	0.200
Aditivo reductor (ml)	86.58
Inhibidor (ml)	360.00

APÉNDICE B13: DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA MC-2.5, [NaCl]=2.5%

	MARCA	TIPO	P.E.	Dosis
Cemento	SOL	I	3.150	---
Reductor	BASF	A	1.200	6.5 ml/kg
Inhibidor C	CHEMA	C	1.05	9 l/m ³
Cloruro de sodio	----	sólido	1.350	---

Slump	10-15 cm
-------	----------

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GRANULOMÉTRICAS DE LOS AGREGADOS:

	T.M.	M.F.	PU _C (gr/cm ³)	PU _S (gr/cm ³)	Pe _m (gr/cm ³)	ω _a (%)	ω _o (%)
Piedra	1/2"	6.15	1.61	1.51	2.76	1.08	0.51
Arena	#4	2.63	1.70	1.53	2.54	1.41	1.01

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO:

Resistencia media requerida f'cr (kg/cm ²)	250		
Revenimiento (cm)	12.5	Slump	10-15 cm
agua/cemento: W/C (en peso)	0.60		
Aditivo reductor/cemento (6.5 - 16 ml/kg)	6.5		

DOSIFICACIÓN EN PESO PARA 1m³:

MEZCLA C

FECHA:	15/06/2018				
REDUCTOR:	10%	Reduce % de agua manteniendo Relación agua/cemento			
ADITIVOS:	9	Aditivo inhibidor en base orgánica (9L/m ³ concreto)			
CLORUROS:	2.50%				
arena/Agregado:a/A(en volumen)		0.51			
MATERIAL	OPERACIONES	PESO (kg)	OPERACIONES	VOLUMEN (m ³)	
Agua	0.90x222	200	199.8/1000	0.1998	
Cemento	199.8/0.60	333	333/3150	0.1057	
Aire	Asumo 2.5%	----		0.0250	
Aditivo reductor		2.597	0.0022x1200	0.0022	
Aditivo inhibidor		9.450	0.0090x1050	0.0090	Van...
Cloruro de Sodio	2.50% del peso de cemento	8.325	8/1050	0.0079	0.3496
Piedra		880	0.3187x2760	0.3187	
Arena		843	0.3317x2540	0.3317	
Peso total:		2275	Volumen total:	1.000	

RESUMEN DE DOSIFICACIÓN

	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
a / A		0.51
W / C	0.60	----
Agua (kg)	200	0.1998
Cemento (kg)	333	0.1057
Aire	----	0.0250
Piedra (kg)	843	0.3317
Arena Gruesa (kg)	880	0.3187
Cloruro de Sodio (kg)	8	0.0079
Aditivo reductor (kg)	3	0.0022
Inhibidor (kg)	9	0.0090
	2275	1.0000

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Agua (kg)	8.384
Piedra (kg)	4.486
Arena Gruesa (kg)	8.509

DOSIFICACIÓN CORREGIDA

MATERIAL	PESO CORREGIDO (kg)	PESO 40 LITROS (kg)
Agua	208.184	8.327
Cemento	333.000	13.320
Aire	----	----
Aditivo reductor	2.597	0.104
Aditivo inhibidor	9.450	0.378
Cloruro de Sodio	8.325	0.333
Piedra	884.077	35.363
Arena	851.028	34.041

DOSIFICACIÓN FINAL

MEZCLA "C" - 0.50%	
Volumen de mezclar (m ³):	0.04
Agua (kg)	8.327
Cemento (kg)	13.320
Piedra (kg)	35.363
Arena Gruesa (kg)	34.041
Cloruro de Sodio (kg)	0.333
Aditivo reductor (ml)	86.58
Inhibidor (ml)	360.00

APÉNDICE C1. EVALUACIÓN DE ATIPICIDAD POR COCHRAN DE LAS MEDICIONES DE POTENCIAL

Tabla 7.5

Evaluación de atipicidad por COCHRAN de las mediciones de potencial de las mezclas de concreto MO y MP

MEDICIÓN DE POTENCIALES - Ecorr (V)												
PRUEBA	MEZCLA MO			MEZCLA MP-0.5			MEZCLA MP-1.5			MEZCLA MP-2.5		
COCHRAN	P1	P2	P3	P1	P4	P5	P1	P3	P4	P3	P4	P5
Barra N° 1	-0.1932	-0.2881	-0.2599	-0.1501	-0.1413	-0.1690	-0.4934	-0.4648	-0.4819	-0.6464	-0.5487	-0.5579
Barra N° 2	-0.1819	-0.1658	-0.2292	-0.0956	-0.1262	-0.1294	-0.4821	-0.4693	-0.4948	-0.6976	-0.5624	-0.5646
Varianza	6.44E-05	7.48E-03	4.73E-04	1.48E-03	1.15E-04	7.83E-04	6.37E-05	1.05E-05	8.25E-05	1.31E-03	9.43E-05	2.25E-05
Varianza máxima		7.48E-03			1.48E-03			8.25E-05		1.31E-03		
Suma de varianzas		8.02E-03			2.38E-03			1.57E-04		1.43E-03		
Cexp		0.933			0.623			0.526		0.918		
C1%		0.993			0.993			0.993		0.993		
C5%		0.967			0.967			0.967		0.967		
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO		

Tabla 7.6

Evaluación de atipicidad por COCHRAN de las mediciones de potencial de las mezclas de concreto MA

MEDICIÓN DE POTENCIALES - Ecorr (V)									
PRUEBA	MEZCLA MA-0.5			MEZCLA MA-1.5			MEZCLA MA-2.5		
COCHRAN	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Barra N° 1	-0.1857	-0.1665	-0.1662	-0.4455	-0.4892	-0.4755	-0.5151	-0.5231	-0.5383
Barra N° 2	-0.1475	-0.1553	-0.1702	-0.4667	-0.4823	-0.4609	-0.5142	-0.5209	-0.5453
Varianza	7.30E-04	6.27E-05	8.24E-06	2.26E-04	2.40E-05	1.06E-04	4.19E-07	2.28E-06	2.46E-05
Varianza máxima		7.30E-04			2.26E-04			2.46E-05	
Suma de varianzas		8.01E-04			3.56E-04			2.73E-05	
Cexp		0.911			0.634			0.901	
C1%		0.993			0.993			0.993	
C5%		0.967			0.967			0.967	
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO		

Tabla 7.7

Evaluación de atipicidad por COCHRAN de las mediciones de potencial de las mezclas de concreto MB

MEDICIÓN DE POTENCIALES - Ecorr (V)									
PRUEBA	MEZCLA MB-0.5			MEZCLA MB-1.5			MEZCLA MB-2.5		
COCHRAN	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Barra N° 1	-0.1930	-0.2119	-0.1729	-0.4564	-0.4673	-0.4271	-0.5457	-0.5630	-0.5795
Barra N° 2	-0.2433	-0.1837	-0.1758	-0.4408	-0.4433	-0.4440	-0.5334	-0.5539	-0.5734
Varianza	1.27E-03	3.95E-04	4.38E-06	1.21E-04	2.89E-04	1.43E-04	7.45E-05	4.19E-05	1.86E-05
Varianza máxima		1.27E-03			2.89E-04			7.45E-05	
Suma de varianzas		1.67E-03			5.53E-04			1.35E-04	
Cexp		0.760			0.523			0.552	
C1%		0.993			0.993			0.993	
C5%		0.967			0.967			0.967	
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO		

Tabla 7.8

Evaluación de atipicidad por COCHRAN de las mediciones de potencial de las mezclas de concreto MC

MEDICIÓN DE POTENCIALES - Ecorr (V)									
PRUEBA	MEZCLA MC-0.5			MEZCLA MC-1.5			MEZCLA MC-2.5		
COCHRAN	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Barra N° 1	-0.2391	-0.2227	-0.2293	-0.4424	-0.4474	-0.4714	-0.6049	-0.5960	-0.6427
Barra N° 2	-0.2357	-0.1984	-0.2660	-0.4472	-0.4649	-0.4417	-0.5585	-0.5777	-0.6787
Varianza	5.84E-06	2.97E-04	6.72E-04	1.18E-05	1.54E-04	4.41E-04	1.08E-03	1.68E-04	6.48E-04
Varianza máxima		6.72E-04			4.41E-04			1.08E-03	
Suma de varianzas		9.74E-04			6.07E-04			1.89E-03	
Cexp		0.690			0.727			0.569	
C1%		0.993			0.993			0.993	
C5%		0.967			0.967			0.967	
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO		

APÉNDICE C2. EVALUACIÓN DE ATIPICIDAD POR GRUBBS DE LAS MEDICIONES DE POTENCIAL

Tabla 1

Evaluación de atipicidad por GRUBBS de las mediciones de potencial de las mezclas de concreto MO y MP

MEDICIÓN DE POTENCIALES - Ecorr (V)												
PRUEBA GRUBBS	MEZCLA MO			MEZCLA MP-0.5			MEZCLA MP-1.5			MEZCLA MP-2.5		
	P1	P2	P3	P1	P4	P5	P1	P3	P4	P3	P4	P5
Barra N° 1	-0.1932	-0.2881	-0.2599	-0.1501	-0.1413	-0.1690	-0.4934	-0.4648	-0.4819	-0.6464	-0.5487	-0.5579
Barra N° 2	-0.1819	-0.1658	-0.2292	-0.0956	-0.1262	-0.1294	-0.4821	-0.4693	-0.4948	-0.6976	-0.5624	-0.5646
Media	-1.88E-01	-2.27E-01	-2.45E-01	-1.23E-01	-1.34E-01	-1.49E-01	-4.88E-01	-4.67E-01	-4.88E-01	-6.72E-01	-5.56E-01	-5.61E-01
Promedio		-2.20E-01			-1.35E-01			-4.81E-01			-5.96E-01	
Diferencia	3.22E-02	7.30E-03	2.49E-02	1.24E-02	1.53E-03	1.39E-02	6.73E-03	1.40E-02	7.29E-03	7.57E-02	4.07E-02	3.50E-02
Diferencia máxima		3.22E-02			1.39E-02			1.40E-02			7.57E-02	
Desviación Estándar		2.92E-02			1.32E-02			1.21E-02			6.56E-02	
Gexp		1.101			1.053			1.154			1.154	
G1% = G5%		1.155			1.155			1.155			1.155	
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO		

Tabla 2

Evaluación de atipicidad por GRUBBS de las mediciones de potencial de las mezclas de concreto MA

MEDICIÓN DE POTENCIALES - Ecorr (V)									
PRUEBA GRUBBS	MEZCLA MA-0.5			MEZCLA MA-1.5			MEZCLA MA-2.5		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Barra N° 1	-0.1857	-0.1665	-0.1662	-0.4455	-0.4892	-0.4755	-0.5151	-0.5231	-0.5383
Barra N° 2	-0.1475	-0.1553	-0.1702	-0.4667	-0.4823	-0.4609	-0.5142	-0.5209	-0.5453
Media	-1.67E-01	-1.61E-01	-1.68E-01	-4.56E-01	-4.86E-01	-4.68E-01	-5.15E-01	-5.22E-01	-5.42E-01
Promedio		-1.65E-01			-4.70E-01			-5.26E-01	
Diferencia	1.39E-03	4.36E-03	2.97E-03	1.39E-02	1.57E-02	1.81E-03	1.15E-02	4.17E-03	1.57E-02
Diferencia máxima		4.36E-03			1.57E-02			1.57E-02	
Desviación Estándar		3.86E-03			1.49E-02			1.41E-02	
Gexp		1.130			1.055			1.115	
G1% = G5%		1.155			1.155			1.155	
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO		

Tabla 3

Evaluación de atipicidad por GRUBBS de las mediciones de potencial de las mezclas de concreto MB

MEDICIÓN DE POTENCIALES - Ecorr (V)									
PRUEBA GRUBBS	MEZCLA MB-0.5			MEZCLA MB-1.5			MEZCLA MB-2.5		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Barra N° 1	-0.1930	-0.2119	-0.1729	-0.4564	-0.4673	-0.4271	-0.5457	-0.5630	-0.5795
Barra N° 2	-0.2433	-0.1837	-0.1758	-0.4408	-0.4433	-0.4440	-0.5334	-0.5539	-0.5734
Media	-2.18E-01	-1.98E-01	-1.74E-01	-4.49E-01	-4.55E-01	-4.36E-01	-5.40E-01	-5.58E-01	-5.76E-01
Promedio		-1.97E-01			-4.47E-01			-5.58E-01	
Diferencia	2.14E-02	1.05E-03	2.24E-02	2.11E-03	8.82E-03	1.09E-02	1.86E-02	3.05E-04	1.83E-02
Diferencia máxima		2.24E-02			1.09E-02			1.86E-02	
Desviación Estándar		2.19E-02			1.00E-02			1.85E-02	
Gexp		1.023			1.088			1.008	
G1% = G5%		1.155			1.155			1.155	
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO		

Tabla 4

Evaluación de atipicidad por GRUBBS de las mediciones de potencial de las mezclas de concreto MC

MEDICIÓN DE POTENCIALES - Ecorr (V)									
PRUEBA GRUBBS	MEZCLA MC-0.5			MEZCLA MC-1.5			MEZCLA MC-2.5		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Barra N° 1	-0.2391	-0.2227	-0.2293	-0.4424	-0.4474	-0.4714	-0.6049	-0.5960	-0.6427
Barra N° 2	-0.2357	-0.1984	-0.2660	-0.4472	-0.4649	-0.4417	-0.5585	-0.5777	-0.6787
Media	-2.37E-01	-2.11E-01	-2.48E-01	-4.45E-01	-4.56E-01	-4.57E-01	-5.82E-01	-5.87E-01	-6.61E-01
Promedio		-2.32E-01			-4.52E-01			-6.10E-01	
Diferencia	5.54E-03	2.13E-02	1.58E-02	7.69E-03	3.66E-03	4.03E-03	2.81E-02	2.29E-02	5.10E-02
Diferencia máxima		2.13E-02			7.69E-03			5.10E-02	
Desviación Estándar		1.92E-02			6.66E-03			4.42E-02	
Gexp		1.113			1.154			1.153	
G1% = G5%		1.155			1.155			1.155	
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO		

APÉNDICE D1. EVALUACIÓN DE ATIPICIDAD POR COCHRAN DE LOS VALORES DE TASA DE CORROSIÓN

Tabla 1

Evaluación de atipicidad por COCHRAN de los valores estimados de tasa de corrosión de las mezclas de concreto MO y MP

ESTIMACIÓN DE TASA DE CORROSIÓN - icorr (mA/m ²)												
PRUEBA COCHRAN	MEZCLA MO			MEZCLA MP-0.5			MEZCLA MP-1.5			MEZCLA MP-2.5		
	P1	P2	P3	P1	P4	P5	P1	P3	P4	P3	P4	P5
Barra N° 1	0.41	0.41	0.45	2.55	0.78	1.13	31.12	12.82	53.02	34.69	44.76	77.83
Barra N° 2	0.70	0.22	0.29	1.49	0.93	1.27	45.31	26.80	38.77	59.51	46.49	81.55
Varianza	4.27E-02	1.77E-02	1.28E-02	5.58E-01	1.23E-02	8.95E-03	1.01E+02	9.77E+01	1.02E+02	3.08E+02	1.49E+00	6.91E+00
Varianza máxima		4.27E-02			5.58E-01			1.02E+02		3.08E+02		
Suma de varianzas		7.32E-02			5.79E-01			3.00E+02		3.17E+02		
Cexp		0.583			0.963			0.339		0.973		
C1%		0.993			0.993			0.993		0.993		
C5%		0.967			0.967			0.967		0.967		
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO			DUDOSO		

Tabla 2

Evaluación de atipicidad por COCHRAN de los valores estimados de tasa de corrosión de las mezclas de concreto MA

ESTIMACIÓN DE TASA DE CORROSIÓN - icorr (mA/m ²)									
PRUEBA COCHRAN	MEZCLA MA-0.5			MEZCLA MA-1.5			MEZCLA MA-2.5		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Barra N° 1	1.21	0.82	1.11	16.10	20.98	24.78	30.36	29.18	23.13
Barra N° 2	1.47	0.41	0.80	17.03	19.61	19.01	41.77	30.50	43.14
Varianza	3.41E-02	8.28E-02	4.74E-02	4.25E-01	9.39E-01	1.66E+01	6.51E+01	8.75E-01	2.00E+02
Varianza máxima		8.28E-02			1.66E+01			2.00E+02	
Suma de varianzas		1.64E-01			1.80E+01			2.66E+02	
Cexp		0.504			0.924			0.752	
C1%		0.993			0.993			0.993	
C5%		0.967			0.967			0.967	
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO		

Tabla 3

Evaluación de atipicidad por COCHRAN de los valores estimados de tasa de corrosión de las mezclas de concreto MB

ESTIMACIÓN DE TASA DE CORROSIÓN - icorr (mA/m2)									
PRUEBA	MEZCLA MB-0.5			MEZCLA MB-1.5			MEZCLA MB-2.5		
COCHRAN	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Barra N° 1	2.45	2.56	2.05	28.33	23.23	10.28	24.73	31.21	53.80
Barra N° 2	2.53	0.41	2.42	16.87	11.75	22.85	30.43	17.42	24.27
Varianza	3.15E-03	2.32E+00	6.87E-02	6.57E+01	6.58E+01	7.90E+01	1.63E+01	9.50E+01	4.36E+02
Varianza máxima		2.32E+00			7.90E+01			4.36E+02	
Suma de varianzas		2.39E+00			2.11E+02			5.47E+02	
Cexp		0.970			0.375			0.797	
C1%		0.993			0.993			0.993	
C5%		0.967			0.967			0.967	
Resultado	DUDOSO			CORRECTO			CORRECTO		

Tabla 4

Evaluación de atipicidad por COCHRAN de los valores estimados de tasa de corrosión de las mezclas de concreto MC

ESTIMACIÓN DE TASA DE CORROSIÓN - icorr (mA/m2)									
PRUEBA	MEZCLA MC-0.5			MEZCLA MC-1.5			MEZCLA MC-2.5		
COCHRAN	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Barra N° 1	0.48	0.49	0.56	21.47	11.96	13.19	59.29	15.81	48.12
Barra N° 2	1.39	0.41	0.63	14.29	14.25	11.53	58.25	20.18	47.16
Varianza	4.19E-01	3.32E-03	2.24E-03	2.58E+01	2.61E+00	1.37E+00	5.41E-01	9.57E+00	4.55E-01
Varianza máxima		4.19E-01			2.58E+01			9.57E+00	
Suma de varianzas		4.24E-01			2.98E+01			1.06E+01	
Cexp		0.987			0.866			0.906	
C1%		0.993			0.993			0.993	
C5%		0.967			0.967			0.967	
Resultado	DUDOSO			CORRECTO			CORRECTO		

APÉNDICE D2. EVALUACIÓN DE ATIPICIDAD POR GRUBBS DE LOS VALORES DE TASA DE CORROSIÓN

Tabla 1

Evaluación de atipicidad por GRUBBS de los valores estimados de tasa de corrosión de las mezclas de concreto MO y MP

ESTIMACIÓN DE TASA DE CORROSIÓN - icorr (mA/m ²)												
PRUEBA GRUBBS	MEZCLA MO			MEZCLA MP-0.5			MEZCLA MP-1.5			MEZCLA MP-2.5		
	P1	P2	P3	P1	P4	P5	P1	P3	P4	P3	P4	P5
Barra N° 1	0.41	0.41	0.45	2.55	0.78	1.13	31.12	12.82	53.02	34.69	44.76	77.83
Barra N° 2	0.70	0.22	0.29	1.49	0.93	1.27	45.31	26.80	38.77	59.51	46.49	81.55
Media	5.53E-01	3.17E-01	3.73E-01	2.02E+00	8.54E-01	1.20E+00	3.82E+01	1.98E+01	4.59E+01	4.71E+01	4.56E+01	7.97E+01
Promedio		4.14E-01			1.36E+00			3.46E+01			5.75E+01	
Diferencia	1.39E-01	9.74E-02	4.14E-02	6.62E-01	5.04E-01	1.58E-01	3.58E+00	1.48E+01	1.13E+01	1.04E+01	1.18E+01	2.22E+01
Diferencia máxima		1.39E-01			6.62E-01			1.48E+01			2.22E+01	
Desviación Estándar		1.23E-01			5.99E-01			1.34E+01			1.93E+01	
Gexp		1.125			1.106			1.106			1.154	
G1% = G5%		1.155			1.155			1.155			1.155	
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO		

Tabla 2

Evaluación de atipicidad por GRUBBS de los valores estimados de tasa de corrosión de las mezclas de concreto MA

ESTIMACIÓN DE TASA DE CORROSIÓN - icorr (mA/m ²)									
PRUEBA GRUBBS	MEZCLA MA-0.5			MEZCLA MA-1.5			MEZCLA MA-2.5		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Barra N° 1	1.21	0.82	1.11	16.10	20.98	24.78	30.36	29.18	23.13
Barra N° 2	1.47	0.41	0.80	17.03	19.61	19.01	41.77	30.50	43.14
Media	1.34E+00	6.14E-01	9.58E-01	1.66E+01	2.03E+01	2.19E+01	3.61E+01	2.98E+01	3.31E+01
Promedio		9.72E-01			1.96E+01			3.30E+01	
Diferencia	3.71E-01	3.58E-01	1.37E-02	3.02E+00	7.09E-01	2.31E+00	3.05E+00	3.17E+00	1.23E-01
Diferencia máxima		3.71E-01			3.02E+00			3.17E+00	
Desviación Estándar		3.65E-01			2.73E+00			3.11E+00	
Gexp		1.018			1.104			1.019	
G1% = G5%		1.155			1.155			1.155	
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO		

Tabla 3

Evaluación de atipicidad por GRUBBS de los valores estimados de tasa de corrosión de las mezclas de concreto MB

ESTIMACIÓN DE TASA DE CORROSIÓN - icorr (mA/m2)									
PRUEBA GRUBBS	MEZCLA MB-0.5			MEZCLA MB-1.5			MEZCLA MB-2.5		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Barra N° 1	2.45	2.56	2.05	28.33	23.23	10.28	24.73	31.21	53.80
Barra N° 2	2.53	0.41	2.42	16.87	11.75	22.85	30.43	17.42	24.27
Media	2.49E+00	1.49E+00	2.23E+00	2.26E+01	1.75E+01	1.66E+01	2.76E+01	2.43E+01	3.90E+01
Promedio		2.07E+00			1.89E+01			3.03E+01	
Diferencia	4.18E-01	5.82E-01	1.64E-01	3.71E+00	1.39E+00	2.32E+00	2.73E+00	5.99E+00	8.72E+00
Diferencia máxima		5.82E-01			3.71E+00			8.72E+00	
Desviación Estándar		5.20E-01			3.25E+00			7.73E+00	
Gexp		1.120			1.143			1.129	
G1% = G5%		1.155			1.155			1.155	
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO		

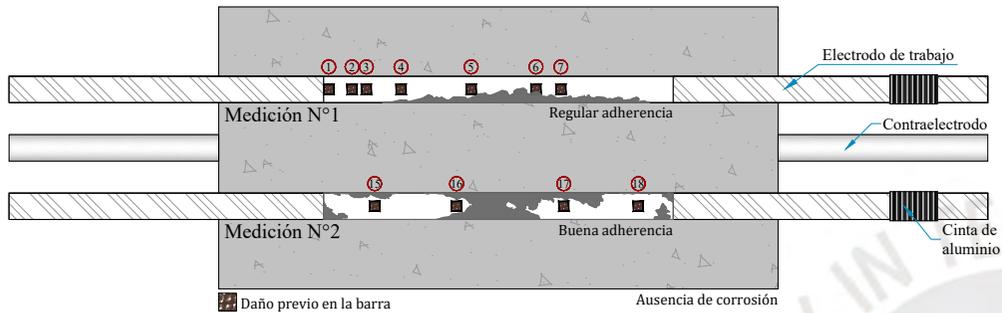
Tabla 4

Evaluación de atipicidad por GRUBBS de los valores estimados de tasa de corrosión de las mezclas de concreto MC

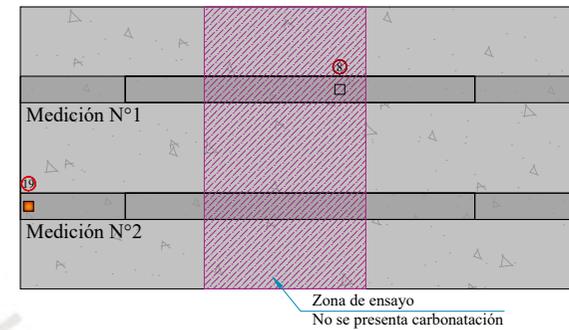
ESTIMACIÓN DE TASA DE CORROSIÓN - icorr (mA/m2)									
PRUEBA GRUBBS	MEZCLA MC-0.5			MEZCLA MC-1.5			MEZCLA MC-2.5		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Barra N° 1	0.48	0.49	0.56	21.47	11.96	13.19	59.29	15.81	48.12
Barra N° 2	1.39	0.41	0.63	14.29	14.25	11.53	58.25	20.18	47.16
Media	9.36E-01	4.51E-01	5.94E-01	1.79E+01	1.31E+01	1.24E+01	5.88E+01	1.80E+01	4.76E+01
Promedio		6.60E-01			1.44E+01			4.15E+01	
Diferencia	2.76E-01	2.09E-01	6.67E-02	3.43E+00	1.34E+00	2.09E+00	1.73E+01	2.35E+01	6.17E+00
Diferencia máxima		2.76E-01			3.43E+00			2.35E+01	
Desviación Estándar		2.49E-01			3.00E+00			2.11E+01	
Gexp		1.107			1.146			1.114	
G1% = G5%		1.155			1.155			1.155	
Resultado	CORRECTO			CORRECTO			CORRECTO		

APÉNDICE E1 - INSPECCIÓN DE BARRAS : Mezcla Original (MO) = Estado pasivo

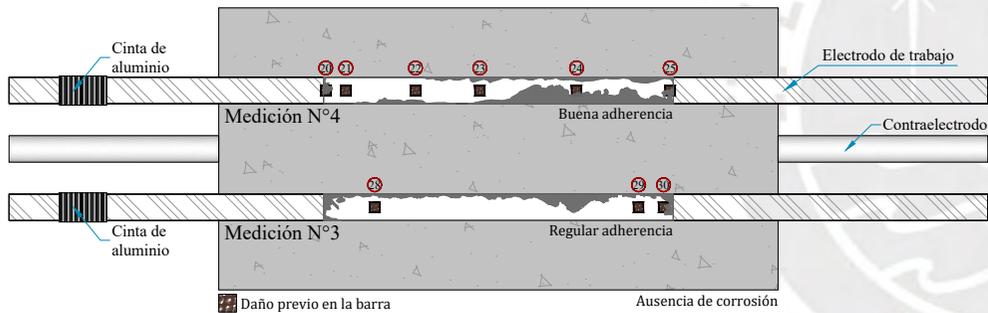
Probeta N°1 - Parte 1



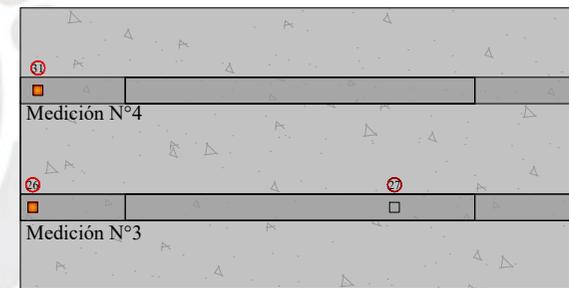
Probeta N°1 - Parte 2



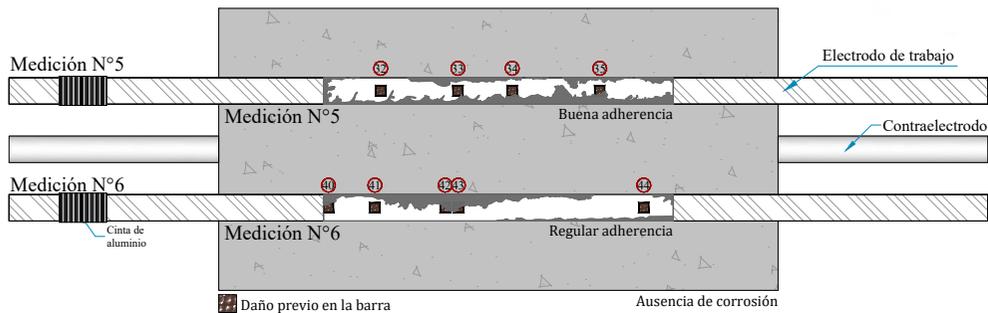
Probeta N°2 - Parte 1



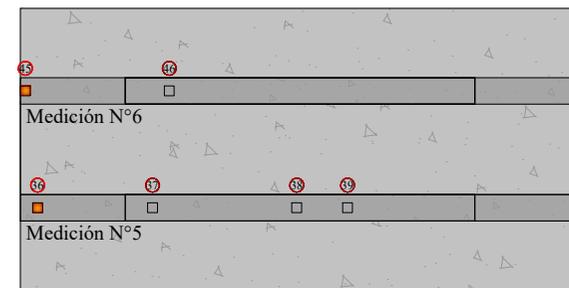
Probeta N°2 - Parte 2



Probeta N°3 - Parte 1



Probeta N°3 - Parte 2



INSPECCIÓN VISUAL MANUAL

APÉNDICE E2: Mezcla Original (MO)

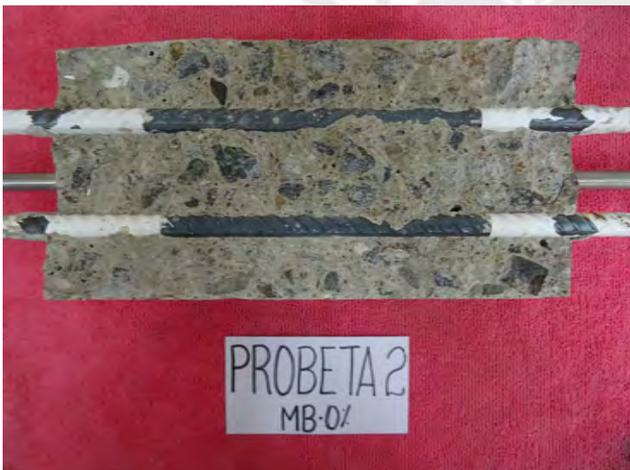
PROBETA 1 - Parte 1



PROBETA 1 - Parte 2



PROBETA 2 - Parte 1



PROBETA 2 - Parte 2



PROBETA 3 - Parte 1



PROBETA 3 - Parte 2



INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E3: Mezcla Original (MO)

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 1



Foto N° 2



Foto N° 3



Foto N° 4



Foto N° 5



Foto N° 6

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 7



Foto N° 8

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N° 9



Foto N° 10



Foto N° 11



Foto N° 12



Foto N° 13

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N° 14



Foto N° 15



Foto N° 16



Foto N° 17



Foto N° 18



Foto N° 19

INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E4: Mezcla Original (MO)

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°26



Foto N°27

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°28



Foto N°29



Foto N°30



Foto N°31

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°32



Foto N°33



Foto N°34



Foto N°35



Foto N°36



Foto N°37

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°38



Foto N°39

INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E5: Mezcla Original (MO)

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°40



Foto N°41



Foto N°42



Foto N°43



Foto N°44



Foto N°45

Probeta N°3 - Medición N°6

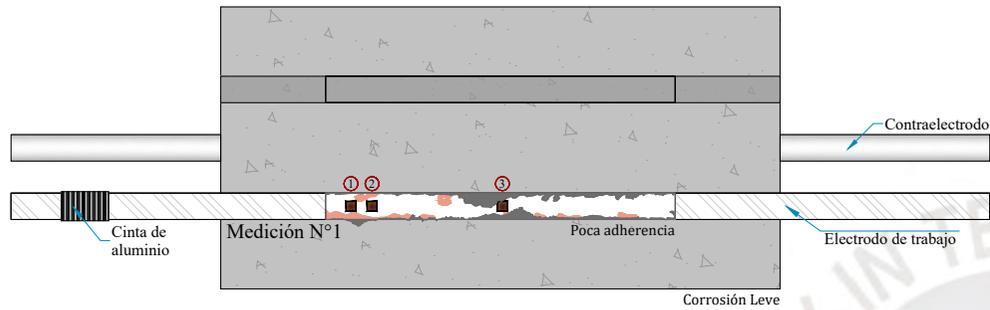


Foto N°46

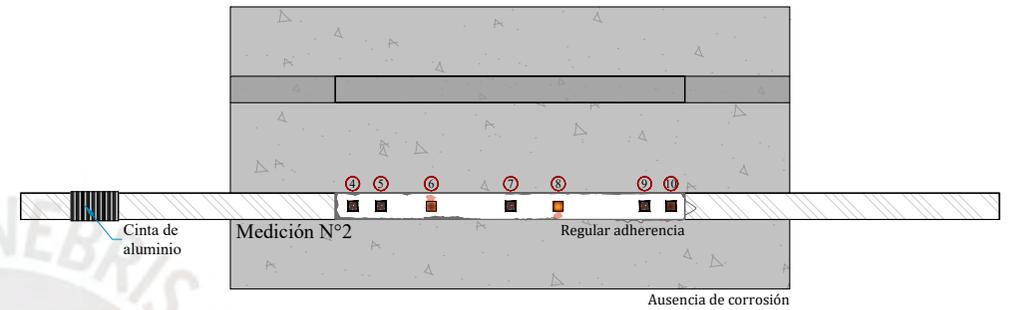


APÉNDICE E6 : INSPECCIÓN DE BARRAS Mezcla Patrón NaCl 0.50% (MP-0.50) = Estado pasivo

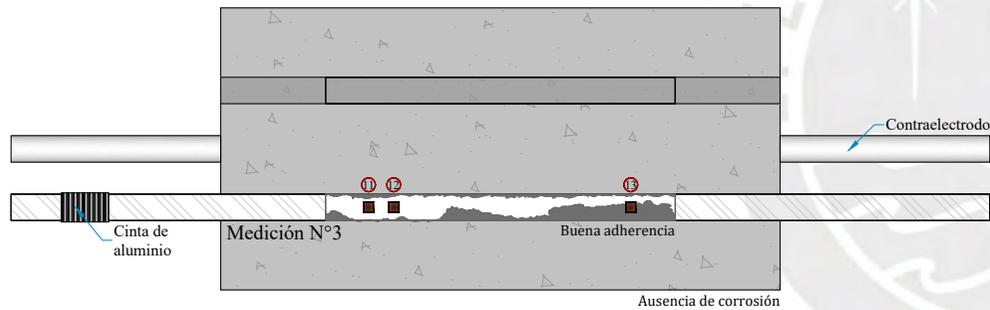
Probeta N°1 - Parte 1



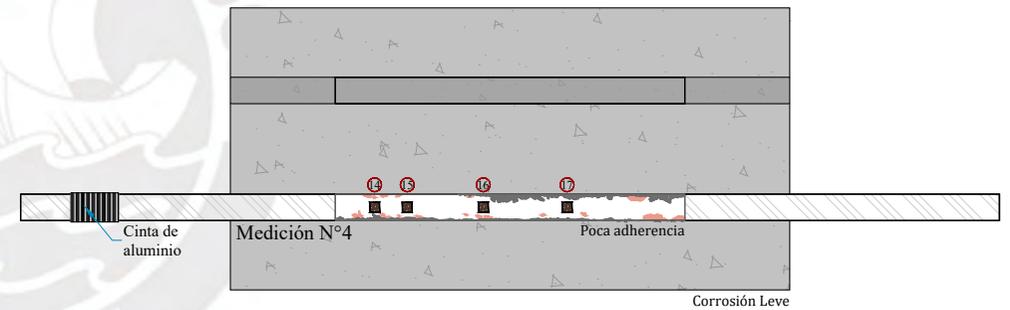
Probeta N°1 - Parte 2



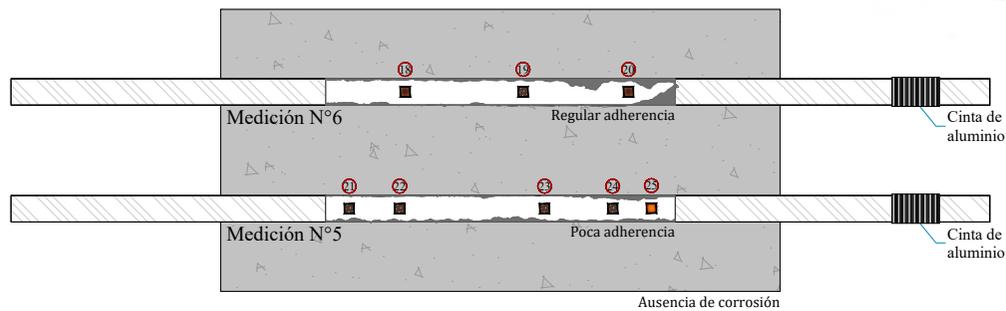
Probeta N°4 - Parte 1



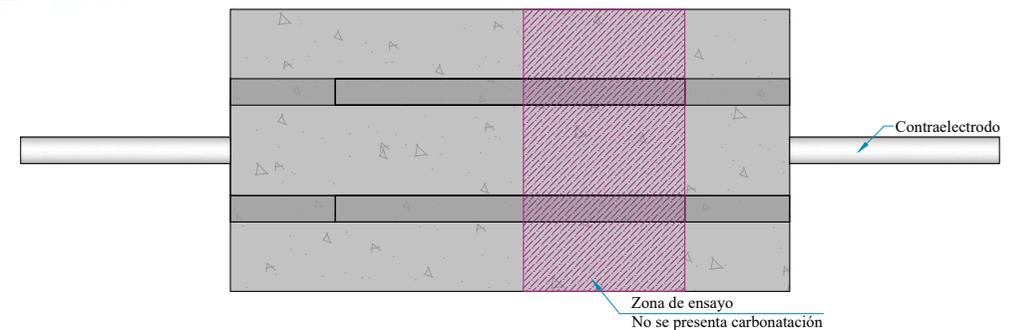
Probeta N°4 - Parte 2



Probeta N°5 - Parte 1



Probeta N°5 - Parte 2



INSPECCIÓN VISUAL MANUAL

APÉNDICE E7: Mezcla Patrón NaCl 0.50% (MP-0.50)

PROBETA 1 - Parte 1



PROBETA 1 - Parte 2



PROBETA 4 - Parte 1



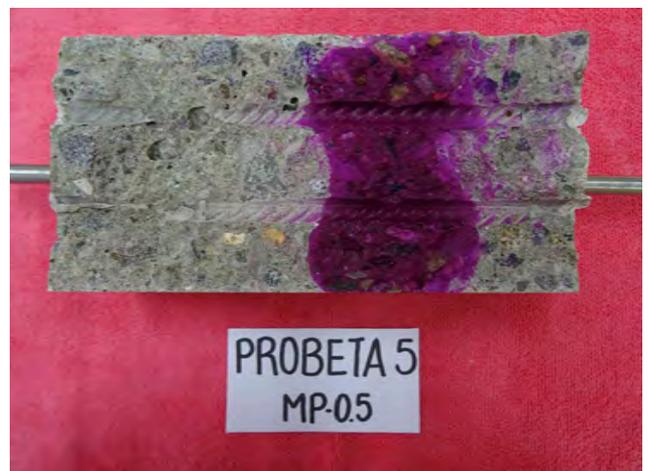
PROBETA 4 - Parte 2



PROBETA 5 - Parte 1



PROBETA 5 - Parte 2



INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E8: Mezcla Patrón NaCl 0.50% (MP-0.50)

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 1



Foto N° 2



Foto N° 3

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N° 4



Foto N° 5

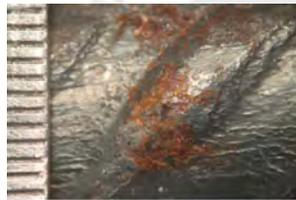


Foto N° 6



Foto N° 7



Foto N° 8



Foto N° 9

Probeta N°1 - Medición N°3



Foto N° 10

Probeta N°4 - Medición N°3



Foto N° 11



Foto N° 12



Foto N° 13

INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E9: Mezcla Patrón NaCl 0.50% (MP-0.50)

Probeta N°4 - Medición N°4



Foto N°14



Foto N°15



Foto N°16



Foto N°17

Probeta N°5 - Medición N°6



Foto N°18



Foto N°19



Foto N°20

Probeta N°5 - Medición N°5



Foto N°21



Foto N°22



Foto N°23



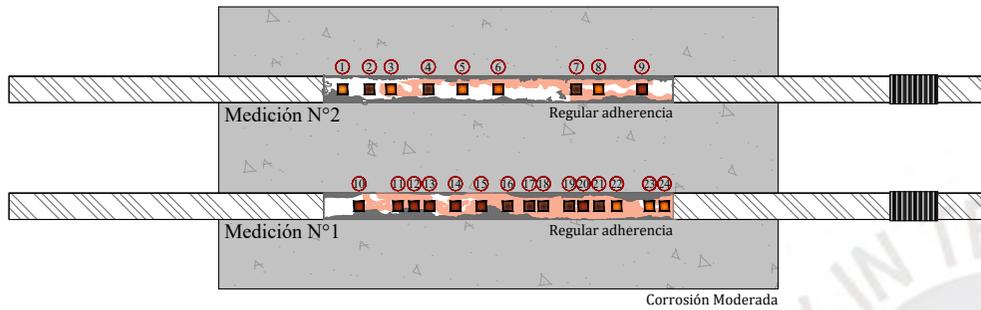
Foto N°24



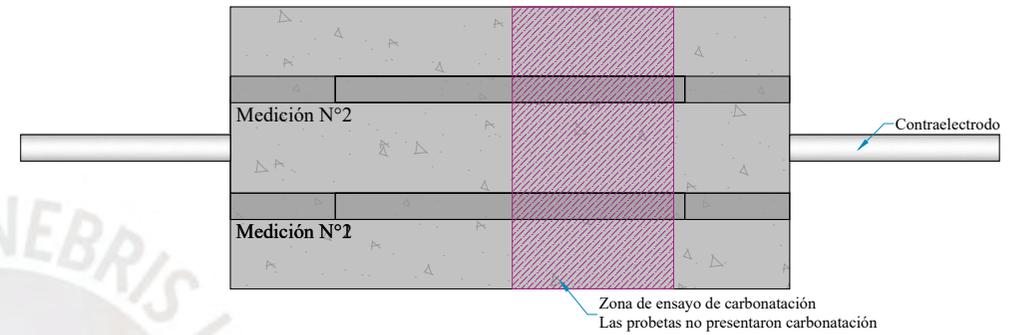
Foto N°25

APÉNDICE 10 - INSPECCIÓN DE BARRAS :Mezcla Patrón NaCl 1.50% (MP-1.50) = Corrosión uniforme

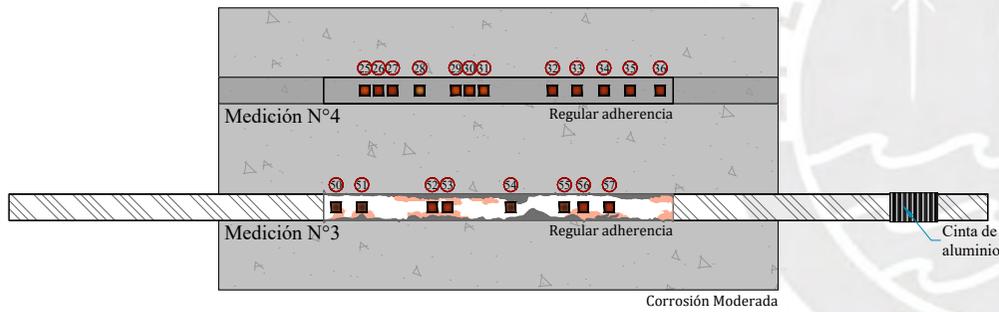
Probeta N°1 - Parte 1



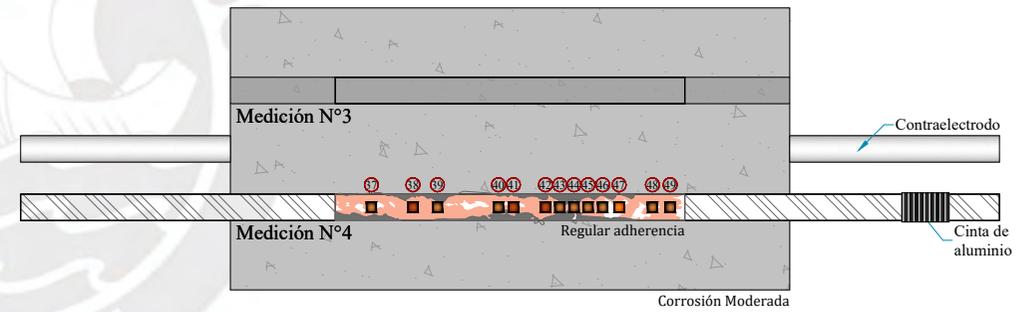
Probeta N°1 - Parte 2



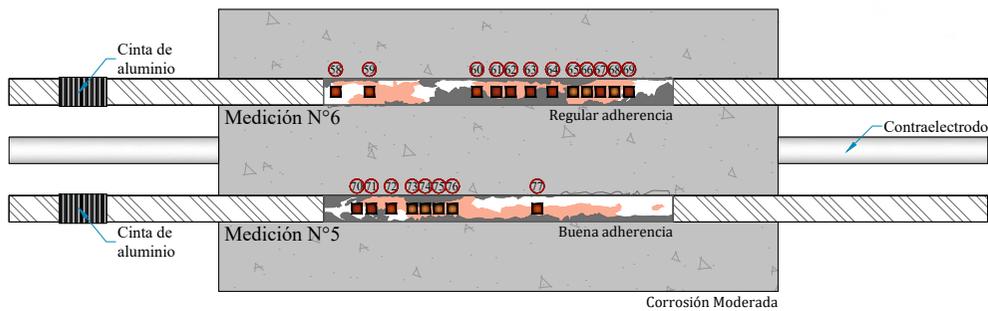
Probeta N°3 - Parte 1



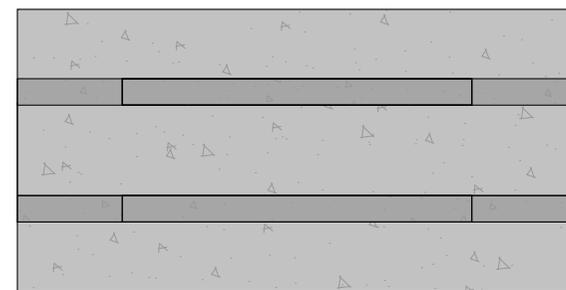
Probeta N°3 - Parte 2



Probeta N°4 - Parte 1



Probeta N°4 - Parte 2



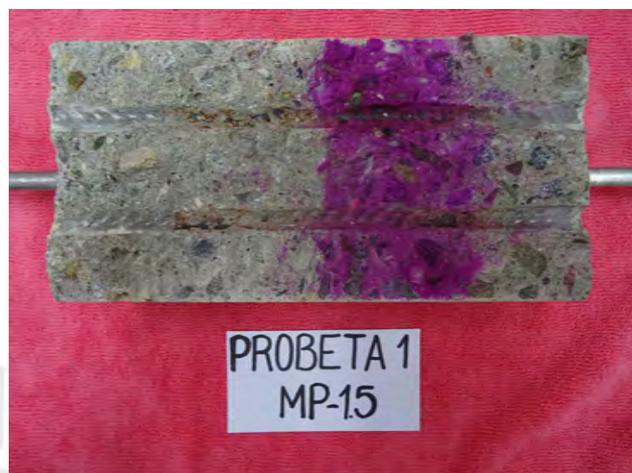
INSPECCIÓN VISUAL MANUAL

APÉNDICE E11: Mezcla Patrón NaCl 1.50% (MP-1.50)

PROBETA 1 - Parte 1



PROBETA 1 - Parte 2



PROBETA 3 - Parte 1



PROBETA 3 - Parte 2



PROBETA 4 - Parte 1



PROBETA 4 - Parte 2



INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E12: Mezcla Patrón NaCl 1.50% (MP-1.50)

Probeta N°1- Medición N°2



Foto N° 1



Foto N° 2



Foto N° 3



Foto N° 4



Foto N° 5



Foto N° 6

Probeta N°1- Medición N°2

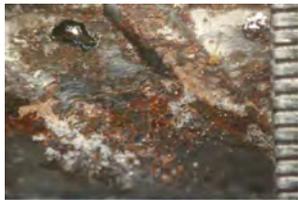


Foto N° 7



Foto N° 8



Foto N° 9

Probeta N°1- Medición N°1



Foto N° 10



Foto N° 11



Foto N° 12



Foto N° 13



Foto N° 14



Foto N° 15

Probeta N°1- Medición N°1



Foto N° 16



Foto N° 17



Foto N° 18



Foto N° 19



Foto N° 20



Foto N° 21

INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E13: Mezcla Patrón NaCl 1.50% (MP-1.50)

Probeta N°1- Medición N°1



Foto N°22



Foto N°23

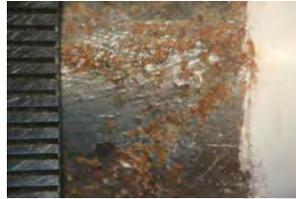


Foto N°24

Probeta N°3 - Medición N°4



Foto N°25



Foto N°26



Foto N°27



Foto N°28



Foto N°29



Foto N°30

Probeta N°3 - Medición N°4



Foto N°31



Foto N°32



Foto N°33



Foto N°34



Foto N°35



Foto N°36

Probeta N°3 - Medición N°4



Foto N°37



Foto N°38



Foto N°39



Foto N°40



Foto N°41



Foto N°42

INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E14: Mezcla Patrón NaCl 1.50% (MP-1.50)

Probeta N°3 - Medición N°4



Foto N°43



Foto N°44



Foto N°45



Foto N°46



Foto N°47



Foto N°48

Probeta N°3 - Medición N°4



Foto N°49

Probeta N°3 - Medición N°3



Foto N°50



Foto N°51



Foto N°52



Foto N°53



Foto N°54



Foto N°55

Probeta N°3 - Medición N°3



Foto N°56



Foto N°57

INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E15: Mezcla Patrón NaCl 1.50% (MP-1.50)

Probeta N°4 - Medición N°6



Foto N°58



Foto N°59



Foto N°60



Foto N°61



Foto N°62



Foto N°63

Probeta N°4 - Medición N°6



Foto N°64



Foto N°65



Foto N°66



Foto N°67



Foto N°68



Foto N°69

Probeta N°4 - Medición N°5



Foto N°70



Foto N°71



Foto N°72



Foto N°73



Foto N°74



Foto N°75

Probeta N°4 - Medición N°5



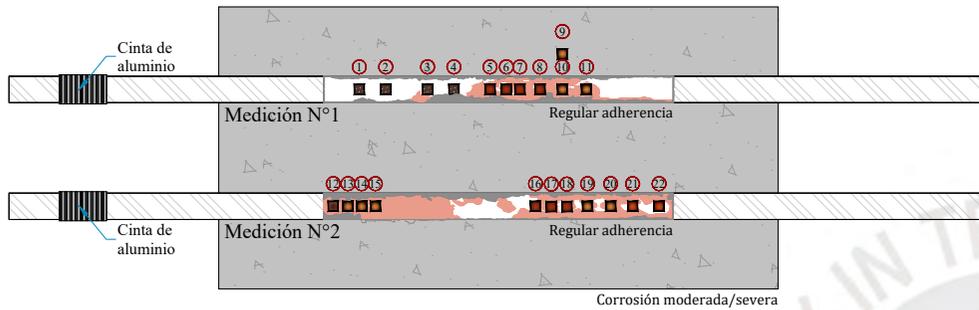
Foto N°76



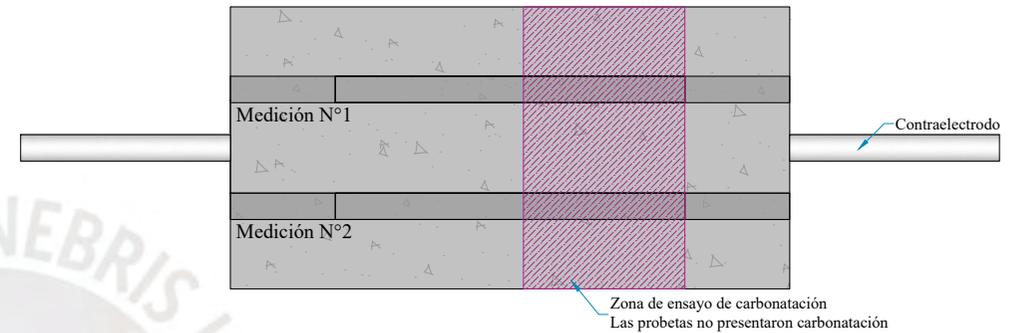
Foto N°77

APÉNDICE E16: INSPECCIÓN DE BARRAS :Mezcla Patrón NaCl 2.50% (MP-2.50) = Corrosión uniforme

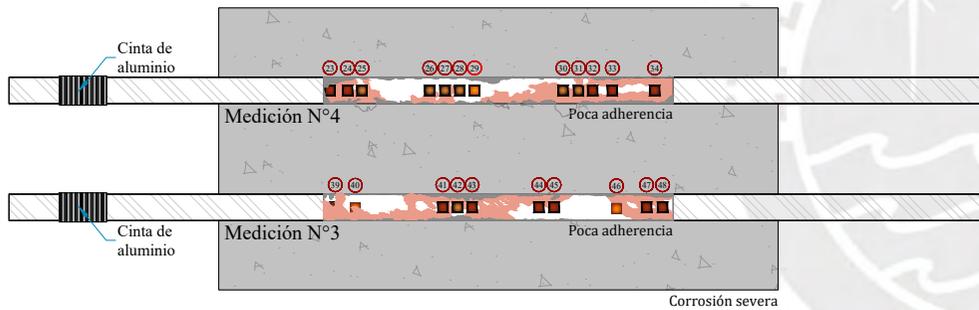
Probeta N°3 - Parte 1



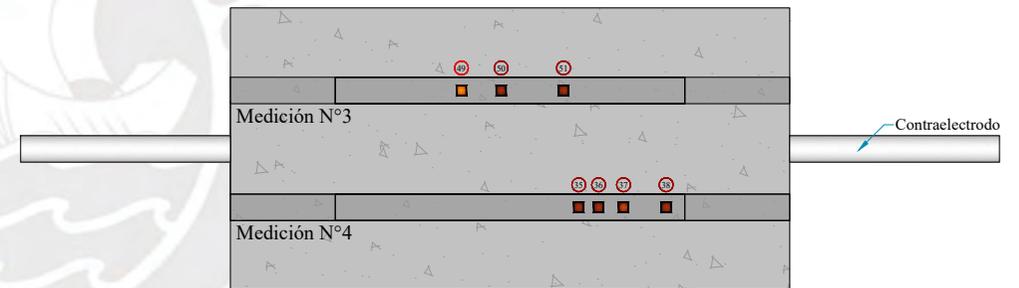
Probeta N°3 - Parte 2



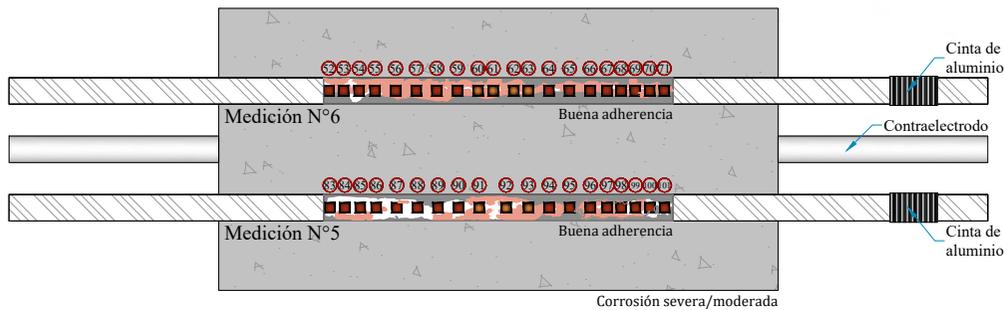
Probeta N°4 - Parte 1



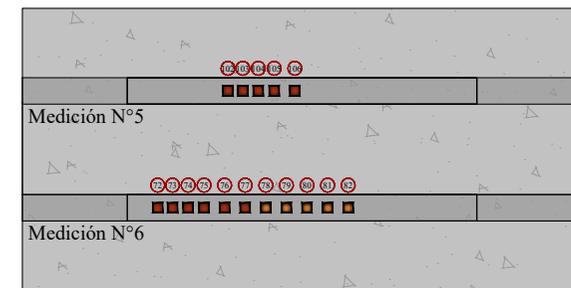
Probeta N°4 - Parte 2



Probeta N°5 - Parte 1



Probeta N°5 - Parte 2



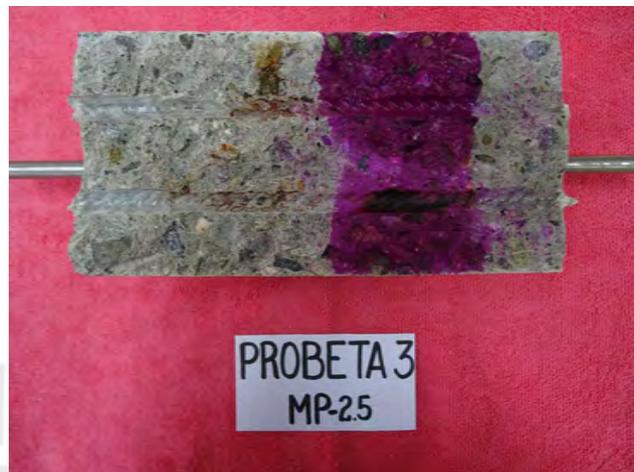
INSPECCIÓN VISUAL MANUAL

APÉNDICE E17: Mezcla Patrón NaCl 2.50% (MP-2.50)

PROBETA 3 - Parte 1



PROBETA 3 - Parte 2



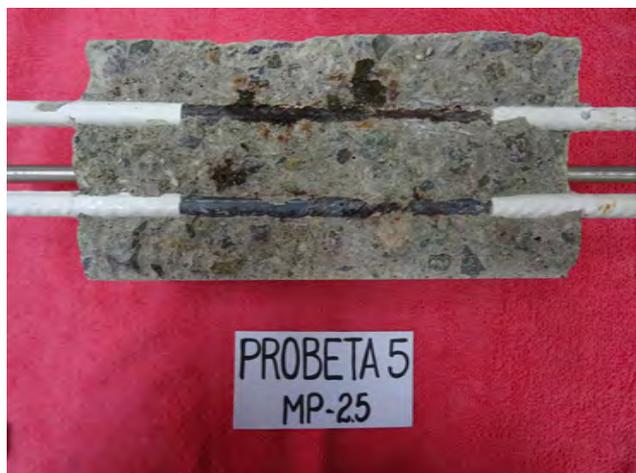
PROBETA 4 - Parte 1



PROBETA 4 - Parte 2



PROBETA 5 - Parte 1



PROBETA 5 - Parte 2



INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E18: Mezcla Patrón NaCl 2.50% (MP-2.50)

Probeta N°3 - Medición N°1



Foto N° 1



Foto N° 2



Foto N° 3



Foto N° 4



Foto N° 5



Foto N° 6

Probeta N°3 - Medición N°1



Foto N° 7

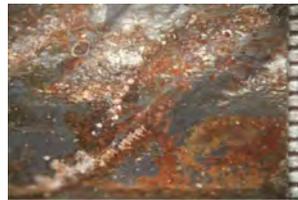


Foto N° 8



Foto N° 9



Foto N° 10



Foto N° 11

Probeta N°3 - Medición N°2



Foto N° 12



Foto N° 13



Foto N° 14



Foto N° 15



Foto N° 16



Foto N° 17

Probeta N°3 - Medición N°2



Foto N° 18



Foto N° 19



Foto N° 20



Foto N° 21



Foto N° 22

INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E19: Mezcla Patrón NaCl 2.50% (MP-2.50)

Probeta N°4 - Medición N°4

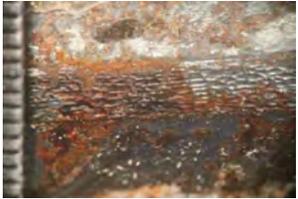


Foto N°23



Foto N°24



Foto N°25



Foto N°26



Foto N°27



Foto N°28

Probeta N°4 - Medición N°4



Foto N°29



Foto N°30



Foto N°31

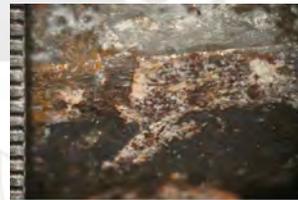


Foto N°32



Foto N°33



Foto N°34

Probeta N°4 - Medición N°4



Foto N°35



Foto N°36



Foto N°37

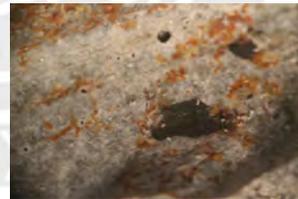


Foto N°38

Probeta N°4 - Medición N°3



Foto N°39



Foto N°40



Foto N°41



Foto N°42



Foto N°43



Foto N°44

INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E20: Mezcla Patrón NaCl 2.50% (MP-2.50)

Probeta N°4 - Medición N°3

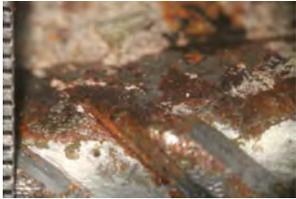


Foto N°45



Foto N°46



Foto N°47



Foto N°48



Foto N°49



Foto N°50

Probeta N°4 - Medición N°3



Foto N°51

Foto N°

Probeta N°5 - Medición N°6



Foto N°52



Foto N°53



Foto N°54



Foto N°55



Foto N°56



Foto N°57

Probeta N°5 - Medición N°6



Foto N°58



Foto N°59



Foto N°60



Foto N°61



Foto N°62



Foto N°63

INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E21: Mezcla Patrón NaCl 2.50% (MP-2.50)

Probeta N°5 - Medición N°6



Foto N°64



Foto N°65



Foto N°66



Foto N°67



Foto N°68



Foto N°69

Probeta N°5 - Medición N°6



Foto N°70



Foto N°71



Foto N°72

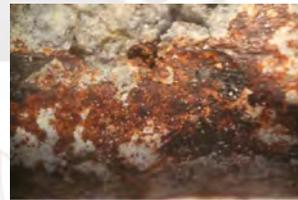


Foto N°73



Foto N°74



Foto N°75

Probeta N°5 - Medición N°6



Foto N°76



Foto N°77



Foto N°78



Foto N°79



Foto N°80



Foto N°81

Probeta N°5 - Medición N°6



Foto N°82

INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E22: Mezcla Patrón NaCl 2.50% (MP-2.50)

Probeta N°5 - Medición N°5



Foto N°83



Foto N°84



Foto N°85

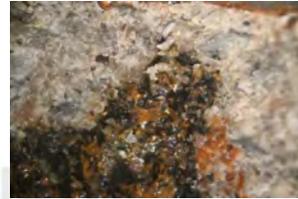


Foto N°86



Foto N°87



Foto N°88

Probeta N°5 - Medición N°5



Foto N°89



Foto N°90



Foto N°91



Foto N°92

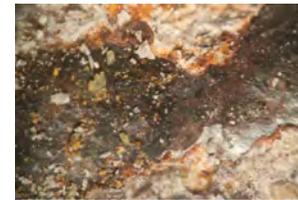


Foto N°93



Foto N°94

Probeta N°5 - Medición N°5

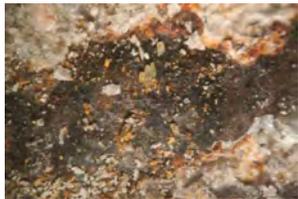


Foto N°95



Foto N°96



Foto N°97



Foto N°98



Foto N°99



Foto N°100

Probeta N°5 - Medición N°5



Foto N°101

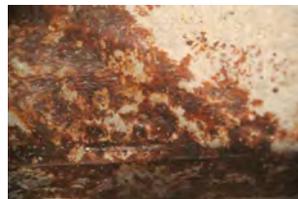


Foto N°102



Foto N°103



Foto N°104



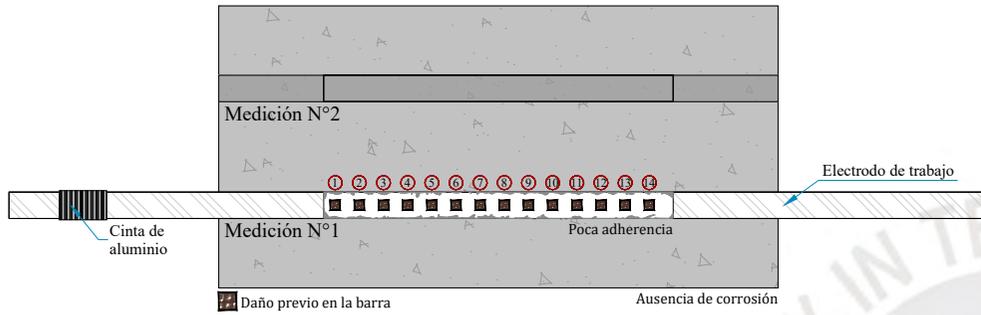
Foto N°105



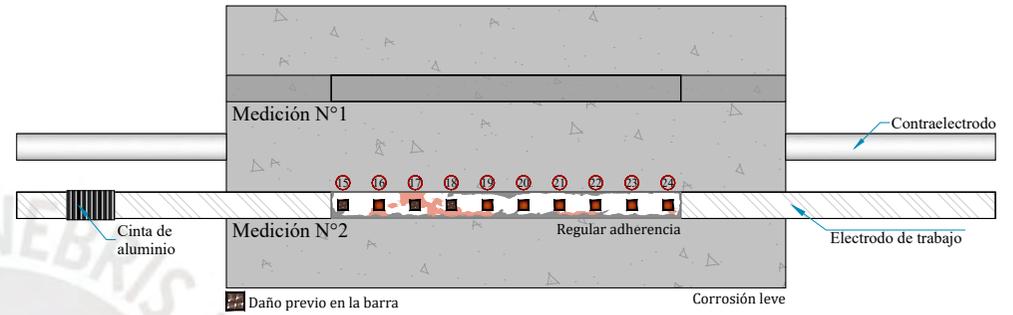
Foto N°106

APÉNDICE E23 - INSPECCIÓN DE BARRAS : Mezcla con inhibidor A NaCl 0.50% (MA-0.50) = Estado pasivo

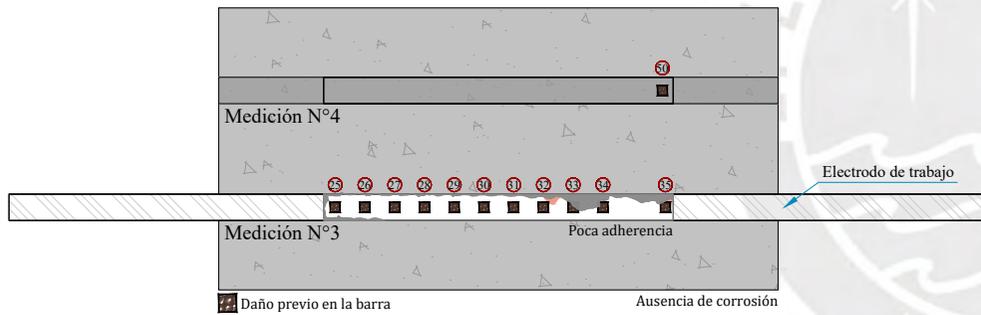
Probeta N°1 - Parte 1



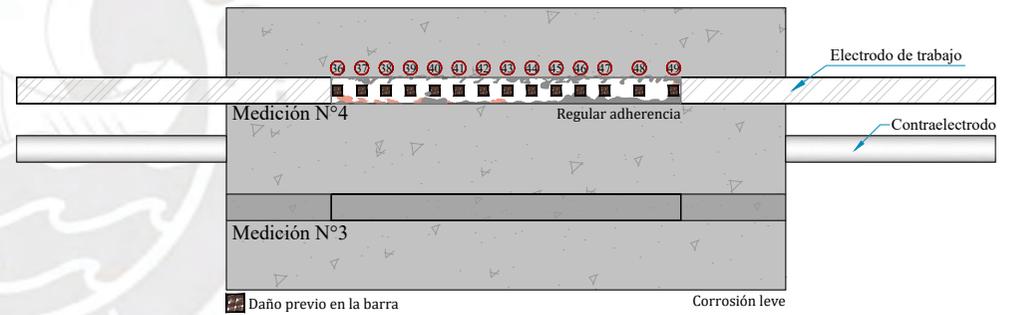
Probeta N°1 - Parte 2



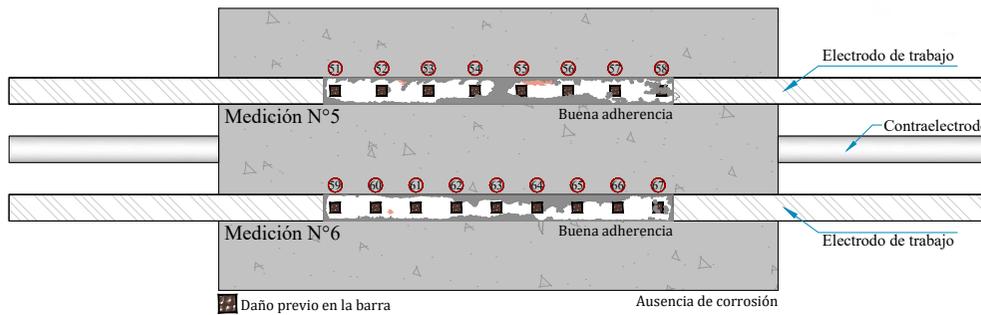
Probeta N°2 - Parte 1



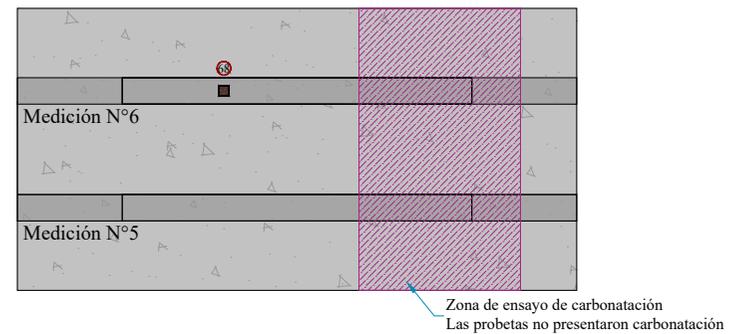
Probeta N°2 - Parte 2



Probeta N°3 - Parte 1



Probeta N°3 - Parte 2



INSPECCIÓN VISUAL MANUAL

APÉNDICE E24: Mezcla con inhibidor A NaCl 0.50% (MA-0.50)

PROBETA 1 - Parte 1



PROBETA 1 - Parte 2



PROBETA 2 - Parte 1



PROBETA 2 - Parte 2



PROBETA 3 - Parte 1



PROBETA 3 - Parte 2



INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E25: Mezcla con inhibidor A NaCl 0.50% (MA-0.50)

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 1



Foto N° 2



Foto N° 3



Foto N° 4



Foto N° 5



Foto N° 6

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 7



Foto N° 8



Foto N° 9



Foto N° 10



Foto N° 11



Foto N° 12

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 13



Foto N° 14

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N° 15



Foto N° 16

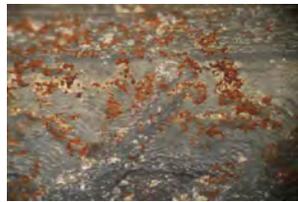


Foto N° 17



Foto N° 18



Foto N° 19



Foto N° 20

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E26: Mezcla con inhibidor A NaCl 0.50% (MA-0.50)

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N°21



Foto N°22



Foto N°23



Foto N°24

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°25



Foto N°26



Foto N°27



Foto N°28



Foto N°29



Foto N°30

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°31



Foto N°32



Foto N°33



Foto N°34



Foto N°35



Foto N°36

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°37



Foto N°38



Foto N°39



Foto N°40



Foto N°41



Foto N°42

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E27: Mezcla con inhibidor A NaCl 0.50% (MA-0.50)

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°43



Foto N°44



Foto N°45



Foto N°46



Foto N°47



Foto N°48

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°49

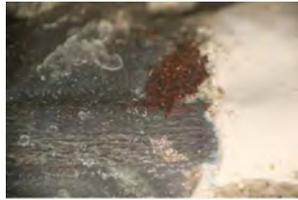


Foto N°50

Probeta N°3 - Medición N°5

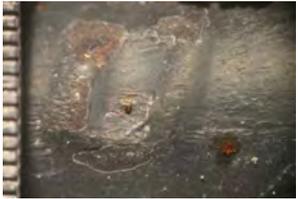


Foto N°51



Foto N°52



Foto N°53



Foto N°54



Foto N°55



Foto N°56

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°57



Foto N°58

INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E28: Mezcla con inhibidor A NaCl 0.50% (MA-0.50)

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°69



Foto N°70



Foto N°71



Foto N°72



Foto N°73



Foto N°74

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°75



Foto N°76



Foto N°77

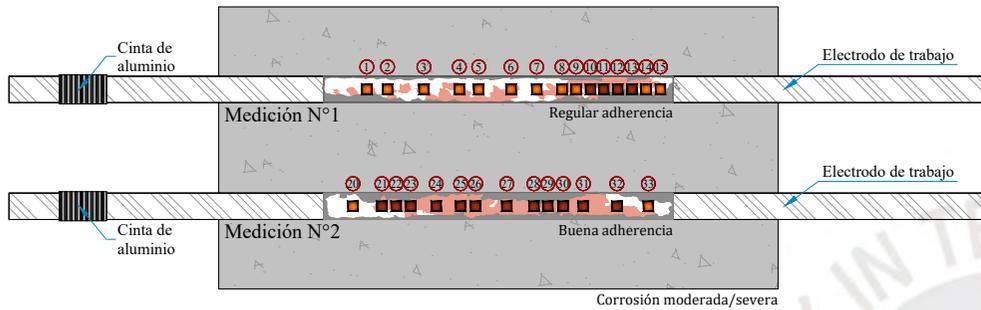


Foto N°78

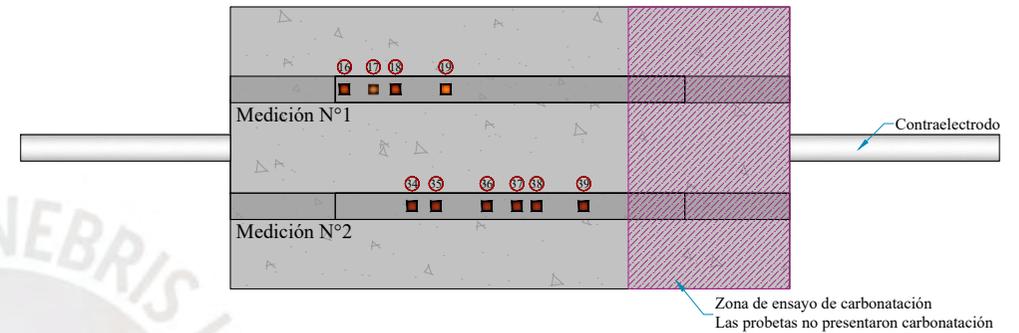


APÉNDICE E29 - INSPECCIÓN DE BARRAS: Mezcla con inhibidor A NaCl 1.50% (MA-1.50) = Corrosión localizada

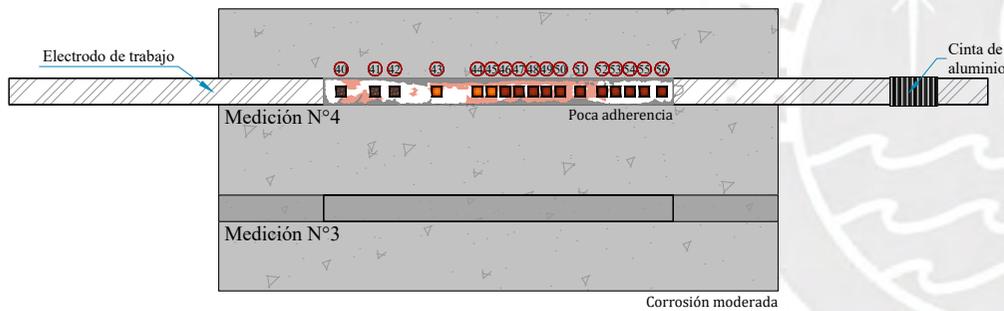
Probeta N°1 - Parte 1



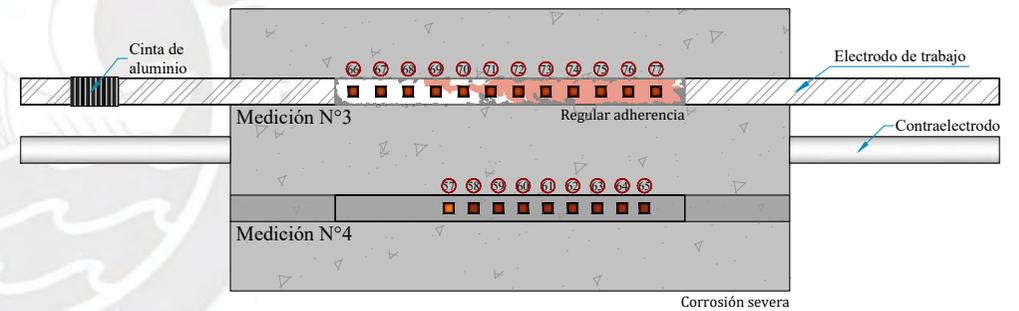
Probeta N°1 - Parte 2



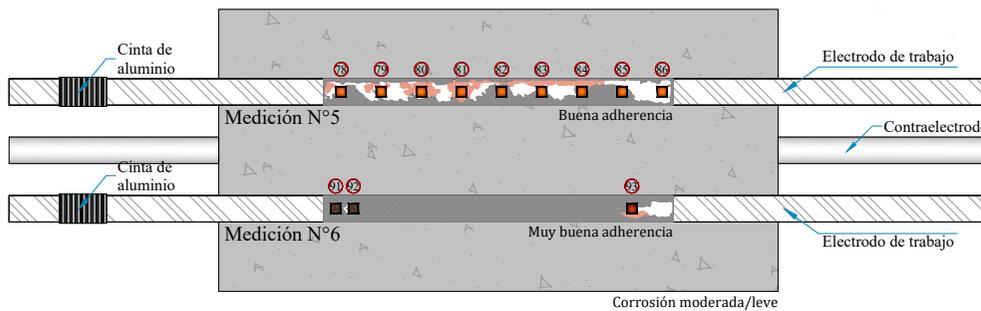
Probeta N°2 - Parte 1



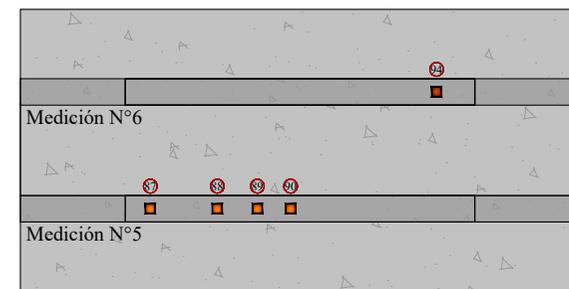
Probeta N°2 - Parte 2



Probeta N°3 - Parte 1



Probeta N°3 - Parte 2



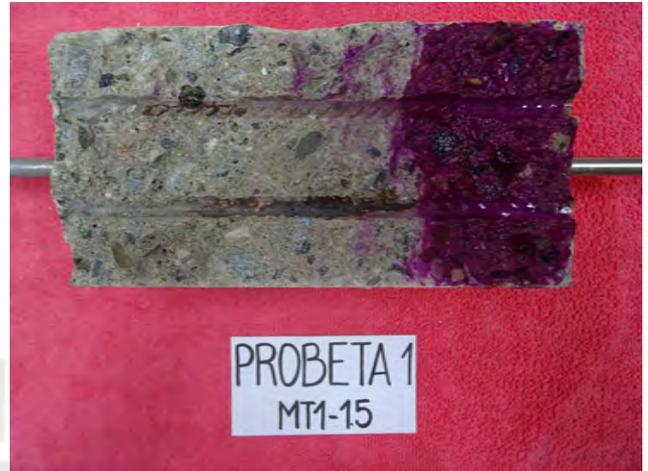
INSPECCIÓN VISUAL MANUAL

APÉNDICE E30: Mezcla con inhibidor A NaCl 1.50% (MA-1.50)

PROBETA 1 - Parte 1



PROBETA 1 - Parte 2



PROBETA 2 - Parte 1



PROBETA 2 - Parte 2



PROBETA 3 - Parte 1



PROBETA 3 - Parte 2



INSPECCIÓN

APÉNDICE E31: Mezcla con inhibidor A NaCl 1.50% (MA-1.50)

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 1



Foto N° 2



Foto N° 3



Foto N° 4



Foto N° 5



Foto N° 6

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 7



Foto N° 8



Foto N° 9



Foto N° 10



Foto N° 11



Foto N° 12

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 13



Foto N° 14



Foto N° 15



Foto N° 16



Foto N° 17



Foto N° 18

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 19

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCOPIO

APÉNDICE E32: Mezcla con inhibidor A NaCl 1.50% (MA-1.50)

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N°20



Foto N°21



Foto N°22



Foto N°23



Foto N°24



Foto N°25

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N°26



Foto N°27



Foto N°28



Foto N°29



Foto N°30



Foto N°31

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N°32



Foto N°33



Foto N°34



Foto N°35



Foto N°36



Foto N°37

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N°38



Foto N°39

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCOPIO

APÉNDICE E33: Mezcla con inhibidor A NaCl 1.50% (MA-1.50)

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°40



Foto N°41



Foto N°42



Foto N°43



Foto N°44



Foto N°45

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°46



Foto N°47



Foto N°48

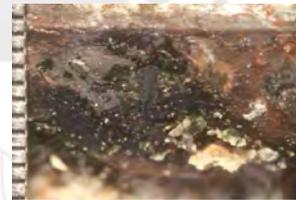


Foto N°49



Foto N°50



Foto N°51

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°52

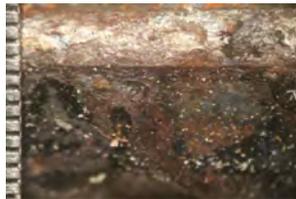


Foto N°53



Foto N°54



Foto N°55



Foto N°56



Foto N°57

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°58



Foto N°59



Foto N°60



Foto N°61



Foto N°62



Foto N°63

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCOPIO

APÉNDICE E34: Mezcla con inhibidor A NaCl 1.50% (MA-1.50)

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°64



Foto N°65

Probeta N°2 - Medición N°3

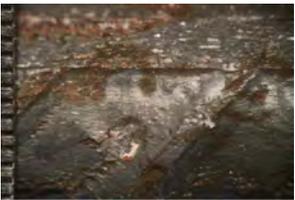


Foto N°66



Foto N°67

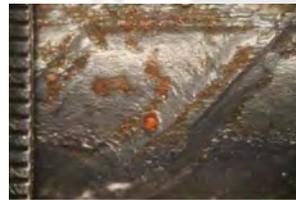


Foto N°68



Foto N°69



Foto N°70



Foto N°71

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°72



Foto N°73



Foto N°74



Foto N°75



Foto N°76

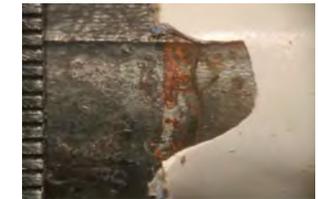


Foto N°77

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°78



Foto N°79



Foto N°80



Foto N°81



Foto N°82



Foto N°83

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCOPIO

APÉNDICE E35: Mezcla con inhibidor A NaCl 1.50% (MA-1.50)

Probeta N°2 - Medición N°5



Foto N°84



Foto N°85



Foto N°86



Foto N°87



Foto N°88



Foto N°89

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°90

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°91



Foto N°92



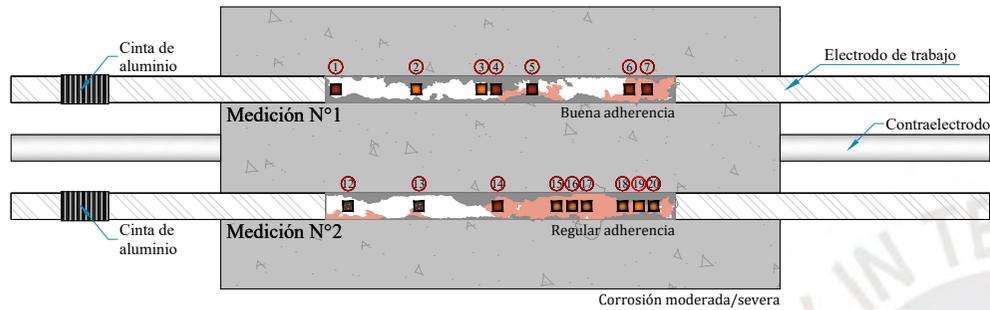
Foto N°93



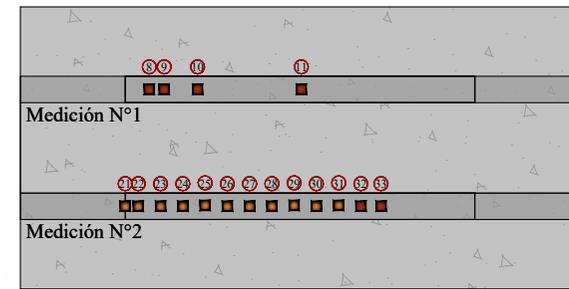
Foto N°94

APÉNDICE E36 - INSPECCIÓN DE BARRAS: Mezcla con inhibidor A NaCl 2.50% (MA-2.50) = Corrosión uniforme

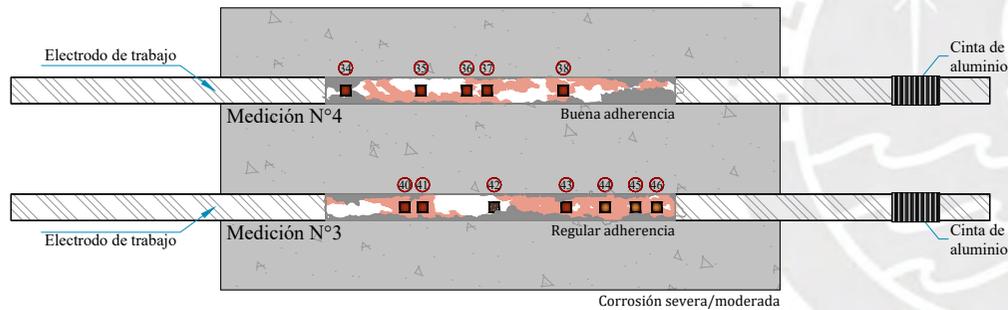
Probeta N°1 - Parte 1



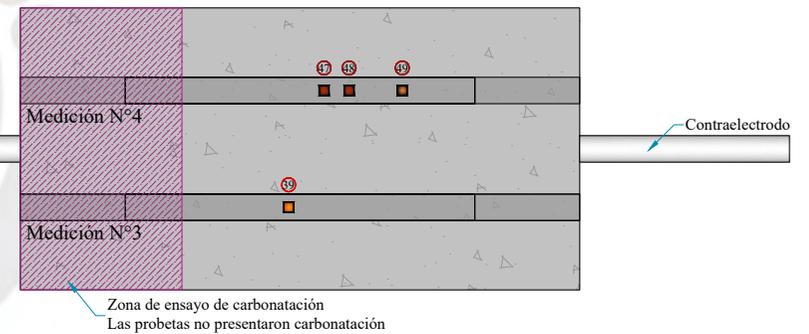
Probeta N°1 - Parte 2



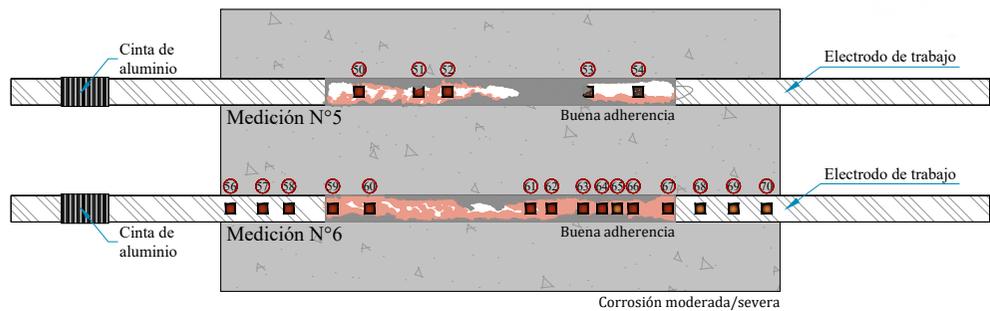
Probeta N°2 - Parte 1



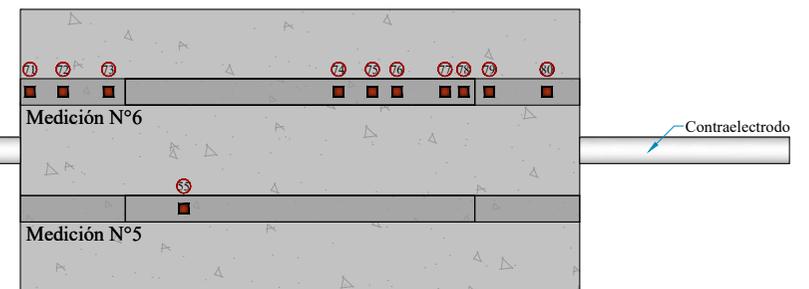
Probeta N°2 - Parte 2



Probeta N°3 - Parte 1



Probeta N°3 - Parte 2



INSPECCIÓN VISUAL MANUAL

APÉNDICE E37: Mezcla con inhibidor A NaCl 2.50% (MA-2.50)

PROBETA 1 - Parte 1



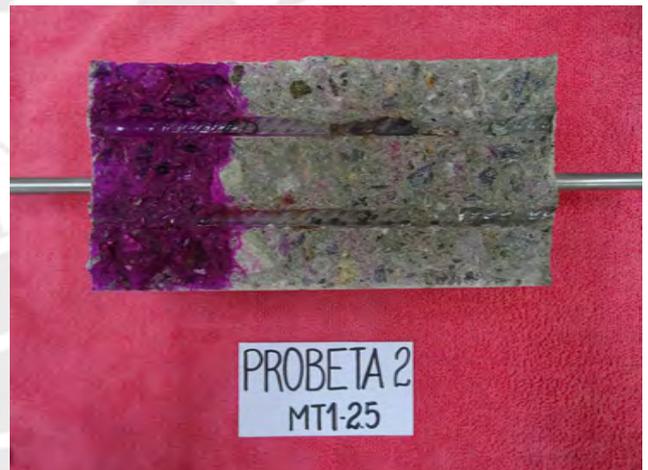
PROBETA 1 - Parte 2



PROBETA 2 - Parte 1



PROBETA 2 - Parte 2



PROBETA 3 - Parte 1



PROBETA 3 - Parte 2



INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E38: Mezcla con inhibidor A NaCl 2.50% (MA-2.50)

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 1



Foto N° 2



Foto N° 3



Foto N° 4



Foto N° 5



Foto N° 6

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 7



Foto N° 8



Foto N° 9

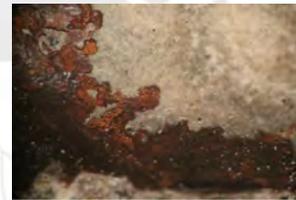


Foto N° 10



Foto N° 11

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N° 12



Foto N° 13



Foto N° 14



Foto N° 15



Foto N° 16



Foto N° 17

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N° 18



Foto N° 19



Foto N° 20



Foto N° 21



Foto N° 22



Foto N° 23

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E39: Mezcla con inhibidor A NaCl 2.50% (MA-2.50)

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N°24



Foto N°25



Foto N°26

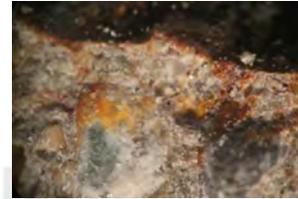


Foto N°27



Foto N°28



Foto N°29

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N°30



Foto N°31



Foto N°32



Foto N°33

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°34



Foto N°35



Foto N°36



Foto N°37



Foto N°38



Foto N°39

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°40



Foto N°41



Foto N°42



Foto N°43



Foto N°44



Foto N°45

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E40: Mezcla con inhibidor A NaCl 2.50% (MA-2.50)

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°46



Foto N°47



Foto N°48



Foto N°49

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°50



Foto N°51



Foto N°52



Foto N°53



Foto N°54



Foto N°55

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°56



Foto N°57



Foto N°58



Foto N°59



Foto N°60



Foto N°61

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°62

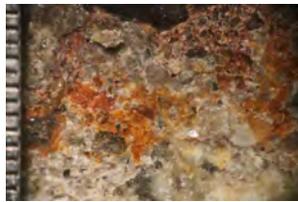


Foto N°63



Foto N°64



Foto N°65



Foto N°66



Foto N°67

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCOPIO

APÉNDICE E41: Mezcla con inhibidor A NaCl 2.50% (MA-2.50)

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°(68)



Foto N°(69)



Foto N°(70)



Foto N°(71)



Foto N°(72)



Foto N°(73)

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°(74)



Foto N°(75)



Foto N°(76)



Foto N°(77)



Foto N°(78)



Foto N°(79)

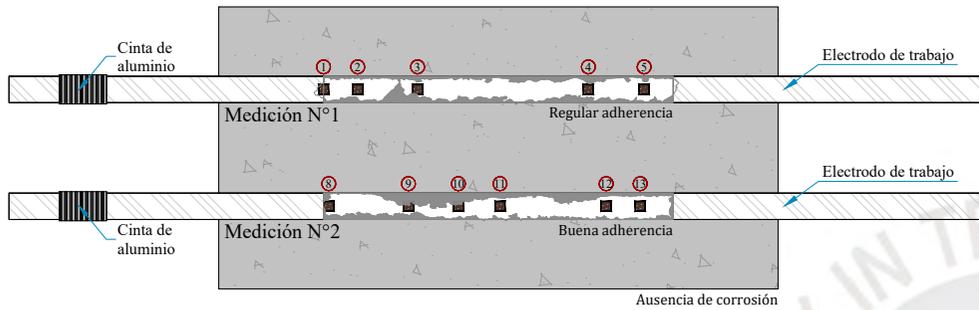
Probeta N°3 - Medición N°6



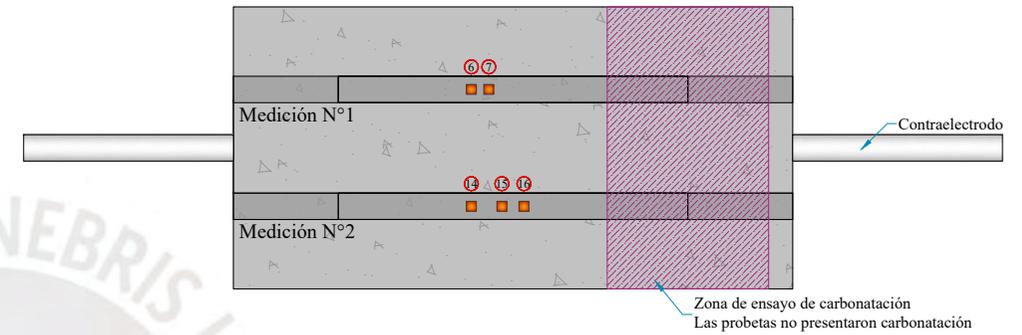
Foto N°(80)

APÉNDICE E42 - INSPECCIÓN DE BARRAS : Mezcla con inhibidor B NaCl 0.50% (MB-0.50) = Estado pasivo

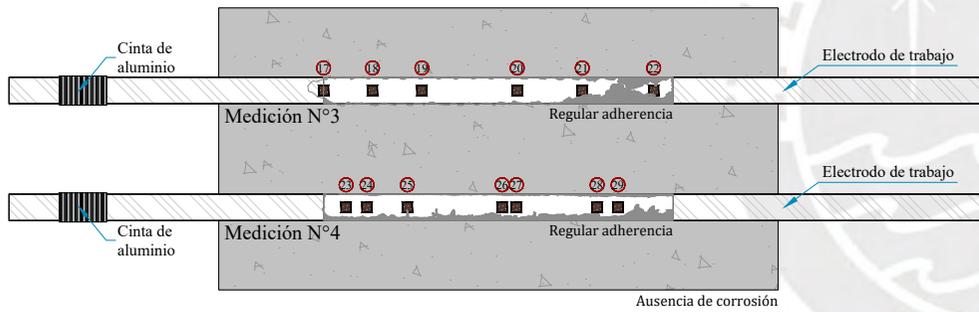
Probeta N°1 - Parte 1



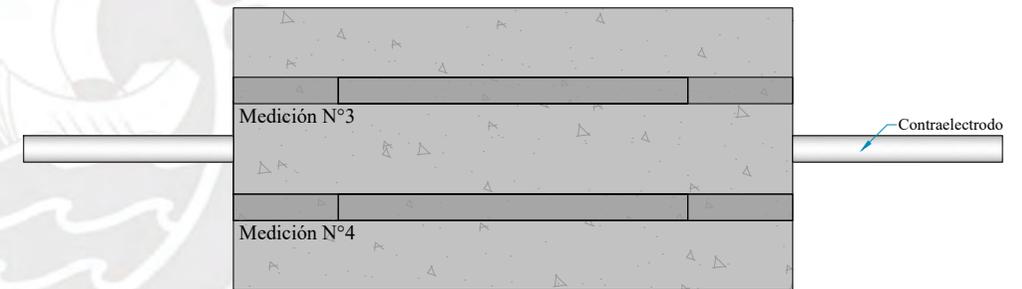
Probeta N°1 - Parte 2



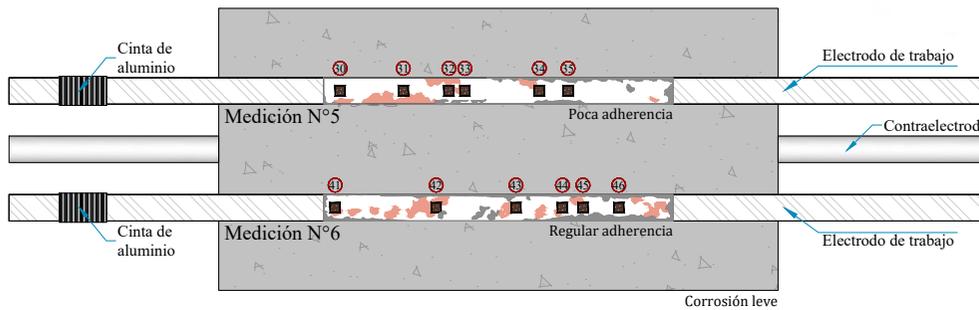
Probeta N°2 - Parte 1



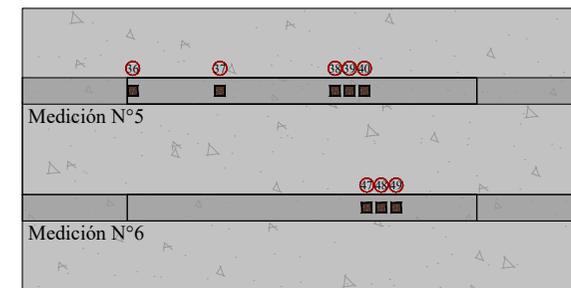
Probeta N°2 - Parte 2



Probeta N°3 - Parte 1



Probeta N°3 - Parte 2



INSPECCIÓN VISUAL MANUAL

APÉNDICE E43: Mezcla con inhibidor B NaCl 0.50% (MB-0.50)

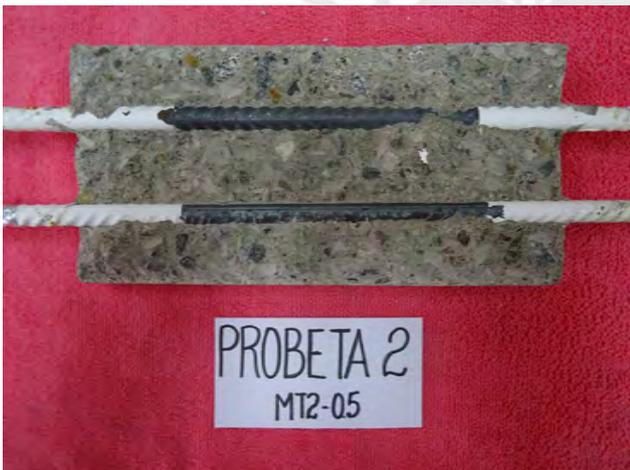
PROBETA 1 - Parte 1



PROBETA 1 - Parte 2



PROBETA 2 - Parte 1



PROBETA 2 - Parte 2



PROBETA 3 - Parte 1



PROBETA 3 - Parte 2



INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E44: Mezcla con inhibidor B NaCl 0.50% (MB-0.50)

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 1



Foto N° 2



Foto N° 3



Foto N° 4



Foto N° 5



Foto N° 6

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 7

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N° 8



Foto N° 9



Foto N° 10



Foto N° 11



Foto N° 12

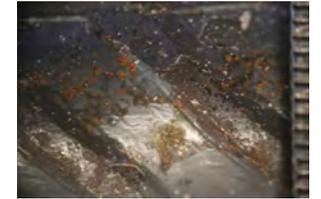


Foto N° 13

Probeta N°1 - Medición N°2

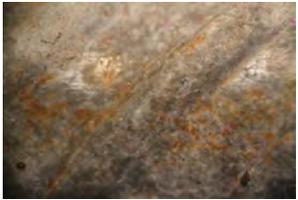


Foto N° 14

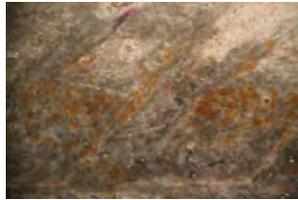


Foto N° 15



Foto N° 16

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCOPIO

APÉNDICE E45: Mezcla con inhibidor B NaCl 0.50% (MB-0.50)

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°17



Foto N°18



Foto N°19



Foto N°20



Foto N°21



Foto N°22

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°23



Foto N°24



Foto N°25



Foto N°26



Foto N°27



Foto N°28

Probeta N°2 - Medición N°5



Foto N°29

Probeta N°3 - Medición N°5

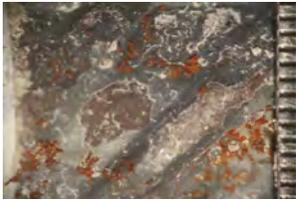


Foto N°30



Foto N°31



Foto N°32



Foto N°33

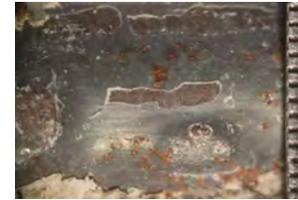


Foto N°34

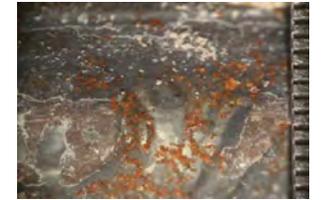


Foto N°35

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E46: Mezcla con inhibidor B NaCl 0.50% (MB-0.50)

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°36



Foto N°37



Foto N°38



Foto N°39



Foto N°40

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°41



Foto N°42



Foto N°43



Foto N°44



Foto N°45



Foto N°46

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°47



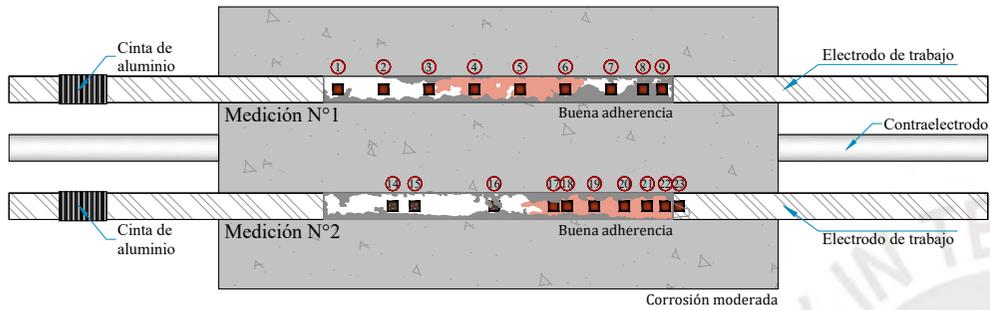
Foto N°48



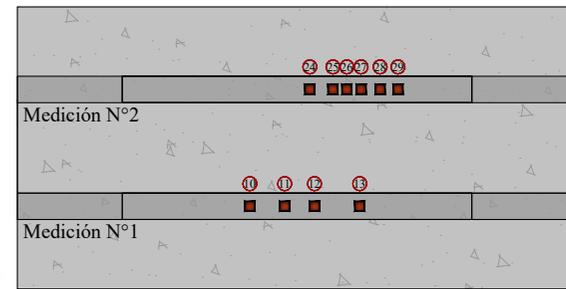
Foto N°49

APÉNDICE E47 - INSPECCIÓN DE BARRAS : Mezcla con inhibidor B NaCl 1.50% (MB-1.50) = Corrosión localizada

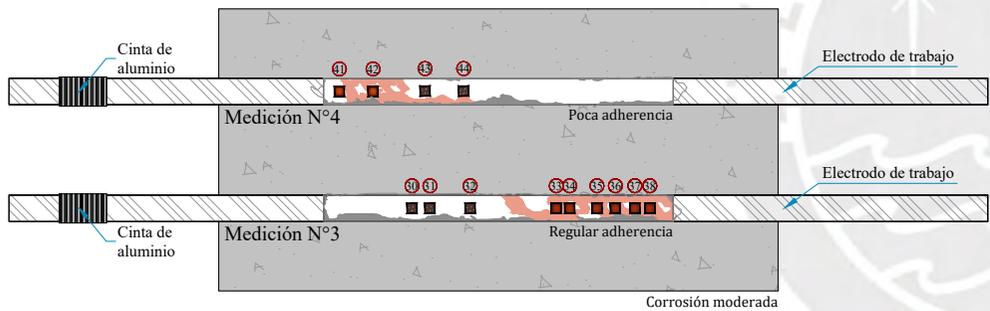
Probeta N°1 - Parte 1



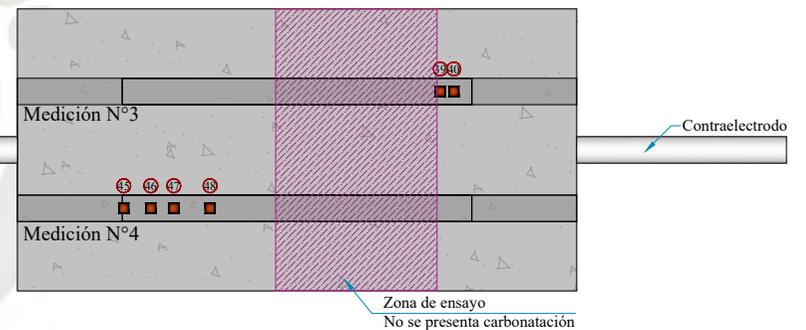
Probeta N°1 - Parte 2



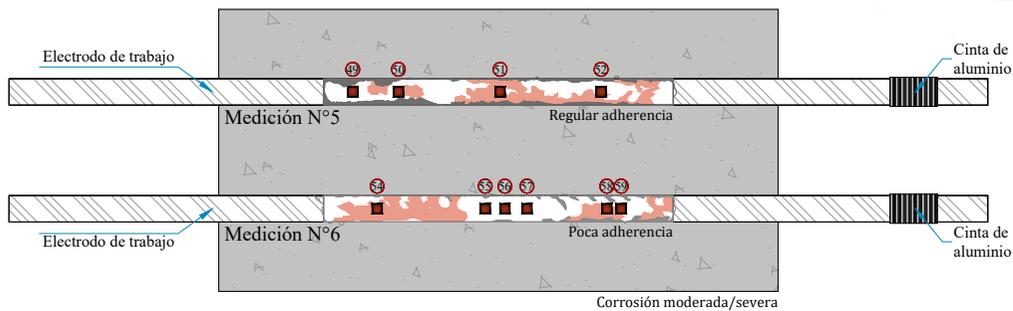
Probeta N°2 - Parte 1



Probeta N°2 - Parte 2



Probeta N°3 - Parte 1



Probeta N°3 - Parte 2



INSPECCIÓN VISUAL MANUAL

APÉNDICE E48: Mezcla con inhibidor B NaCl 1.50% (MB-1.50)

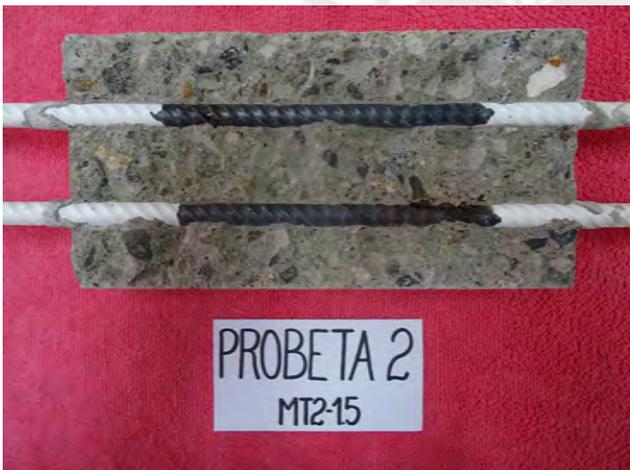
PROBETA 1 - Parte 1



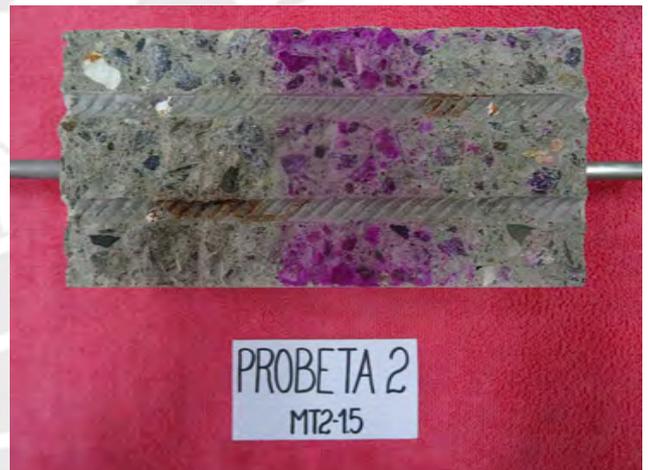
PROBETA 1 - Parte 2



PROBETA 2 - Parte 1



PROBETA 2 - Parte 2



PROBETA 3 - Parte 1



PROBETA 3 - Parte 2



INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E49: Mezcla con inhibidor B NaCl 1.50% (MB-1.50)

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 1



Foto N° 2



Foto N° 3



Foto N° 4



Foto N° 5



Foto N° 6

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 7



Foto N° 8



Foto N° 9



Foto N° 10



Foto N° 11

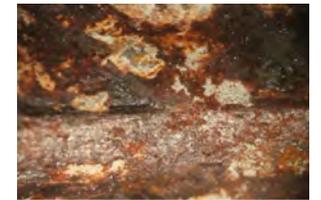


Foto N° 12

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 13

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N° 14



Foto N° 15



Foto N° 16



Foto N° 17



Foto N° 18



Foto N° 19

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCOPIO

APÉNDICE E50: Mezcla con inhibidor B NaCl 1.50% (MB-1.50)

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N°20



Foto N°21



Foto N°22



Foto N°23

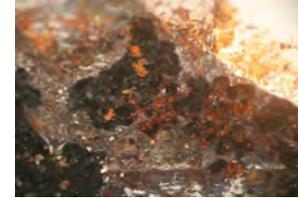


Foto N°24



Foto N°25

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N°26



Foto N°27



Foto N°28



Foto N°29

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°30



Foto N°31



Foto N°32



Foto N°33



Foto N°34



Foto N°35

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°36



Foto N°37



Foto N°38



Foto N°39



Foto N°40



Foto N°41

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E51: Mezcla con inhibidor B NaCl 1.50% (MB-1.50)

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°42

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°43



Foto N°44

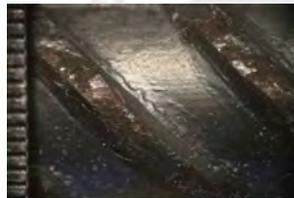


Foto N°45



Foto N°46



Foto N°47



Foto N°48

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°49



Foto N°50



Foto N°51



Foto N°52



Foto N°53

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°54



Foto N°55



Foto N°56



Foto N°57



Foto N°58



Foto N°59

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E52: Mezcla con inhibidor B NaCl 1.50% (MB-1.50)

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°60



Foto N°61

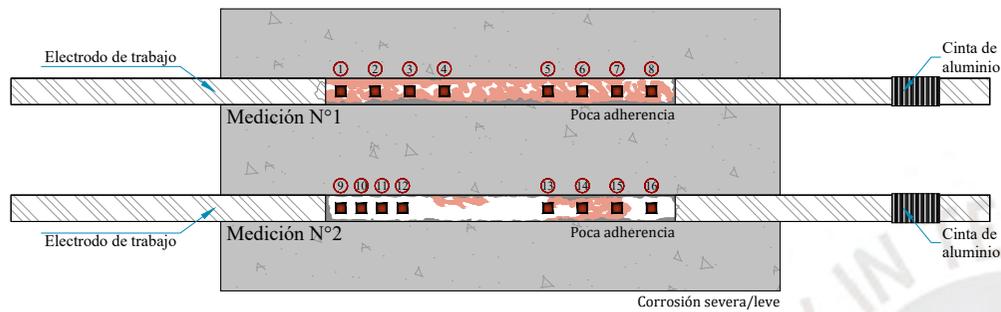


Foto N°62

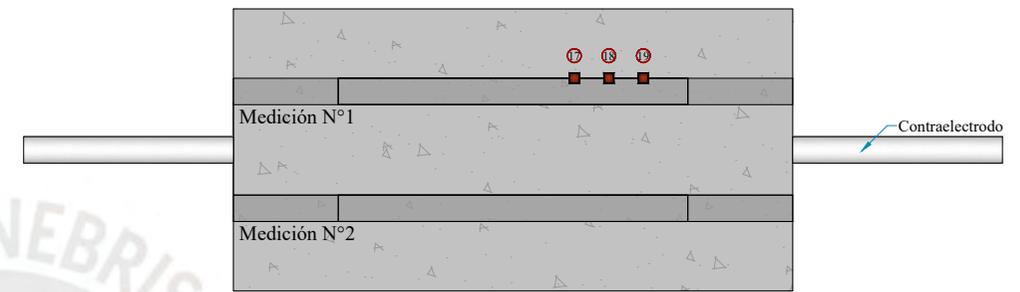


APÉNDICE E53 - INSPECCIÓN DE BARRAS : Mezcla con inhibidor B NaCl 2.50% (MB-2.50) = Corrosión localizada

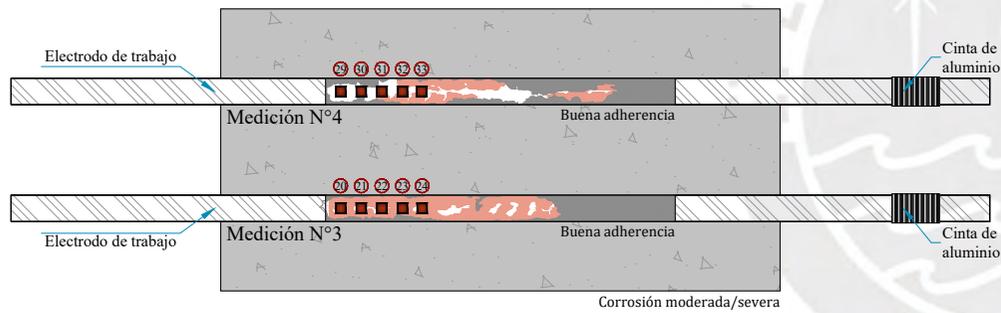
Probeta N°1 - Parte 1



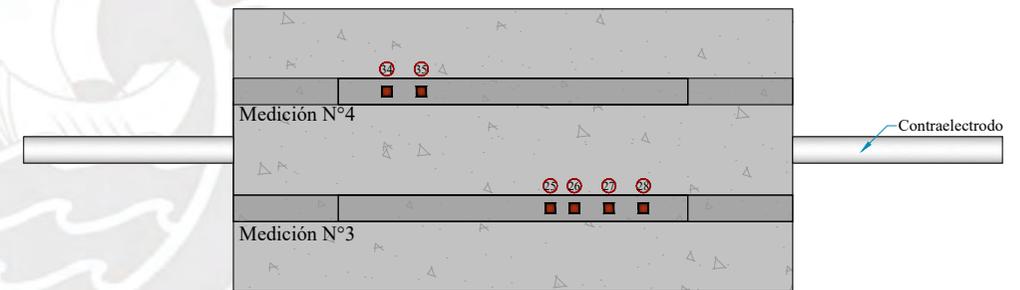
Probeta N°1 - Parte 2



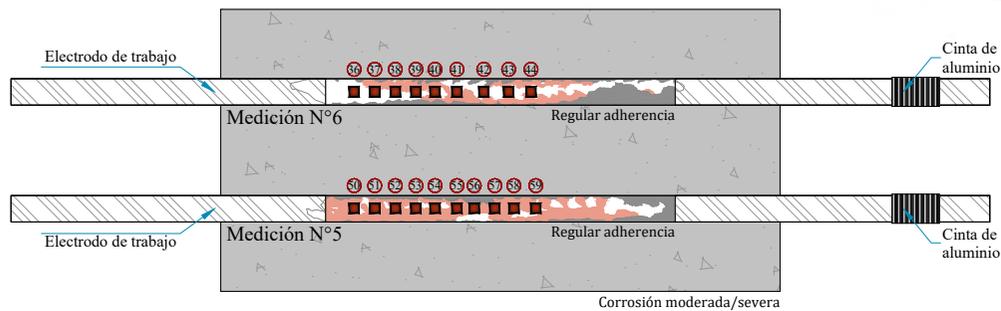
Probeta N°2 - Parte 1



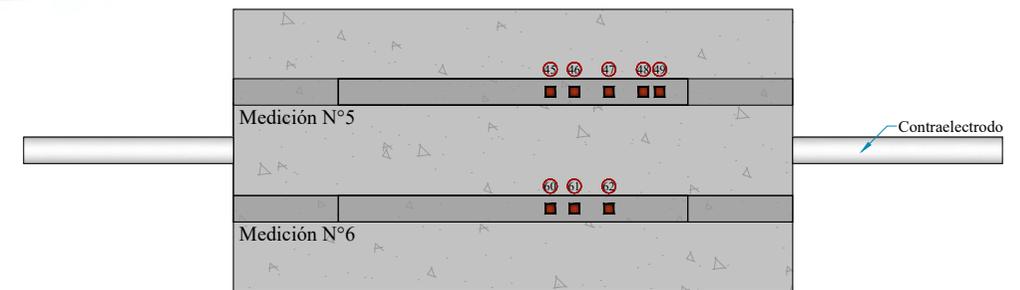
Probeta N°2 - Parte 2



Probeta N°3 - Parte 1



Probeta N°3 - Parte 2



INSPECCIÓN VISUAL MANUAL

APÉNDICE E54: Mezcla con inhibidor B NaCl 2.50% (MB-2.50)

PROBETA 1 - Parte 1



PROBETA 1 - Parte 2



PROBETA 2 - Parte 1



PROBETA 2 - Parte 2



PROBETA 3 - Parte 1



PROBETA 3 - Parte 2



INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCOPIO

APÉNDICE E55: Mezcla con inhibidor B NaCl 2.50% (MB-2.50)

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 1



Foto N° 2



Foto N° 3



Foto N° 4



Foto N° 5



Foto N° 6

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 7



Foto N° 8

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N° 9



Foto N° 10



Foto N° 11



Foto N° 12



Foto N° 13



Foto N° 14

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N° 15



Foto N° 16



Foto N° 17

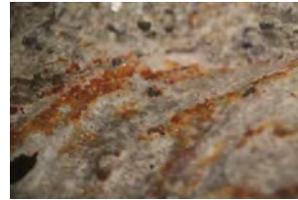


Foto N° 18

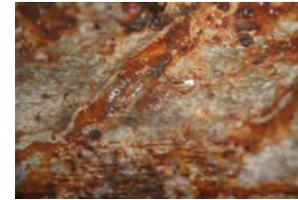


Foto N° 19

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCOPIO

APÉNDICE E56: Mezcla con inhibidor B NaCl 2.50% (MB-2.50)

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°20



Foto N°21



Foto N°22



Foto N°23



Foto N°24



Foto N°25

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°26



Foto N°27



Foto N°28

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°29



Foto N°30



Foto N°31



Foto N°32



Foto N°33



Foto N°34

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°34

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCOPIO

APÉNDICE E57: Mezcla con inhibidor B NaCl 2.50% (MB-2.50)

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°35



Foto N°36



Foto N°37



Foto N°38



Foto N°39



Foto N°40

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°41



Foto N°42



Foto N°43



Foto N°44



Foto N°45

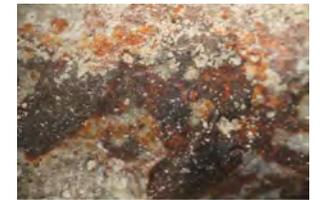


Foto N°46

Probeta N°3 - Medición N°5

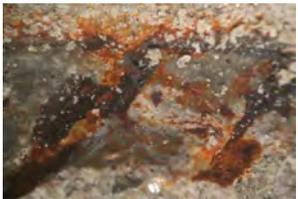


Foto N°47



Foto N°48



Foto N°49

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°50



Foto N°51



Foto N°52



Foto N°53



Foto N°54



Foto N°55

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E58: Mezcla con inhibidor B NaCl 2.50% (MB-2.50)

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°56



Foto N°57



Foto N°58

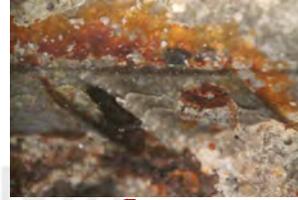


Foto N°59



Foto N°60

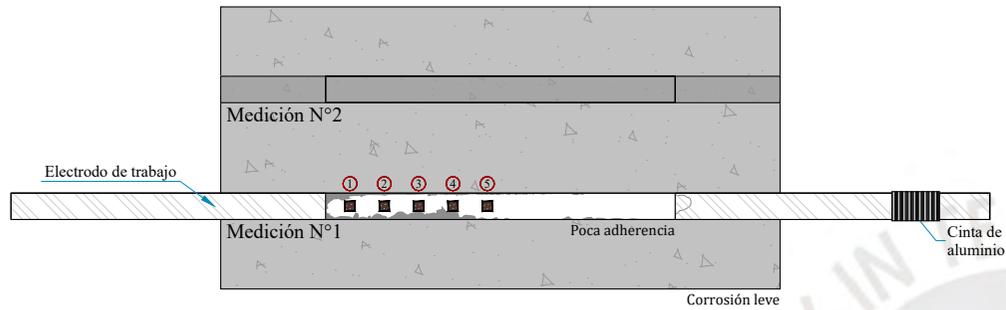


Foto N°61

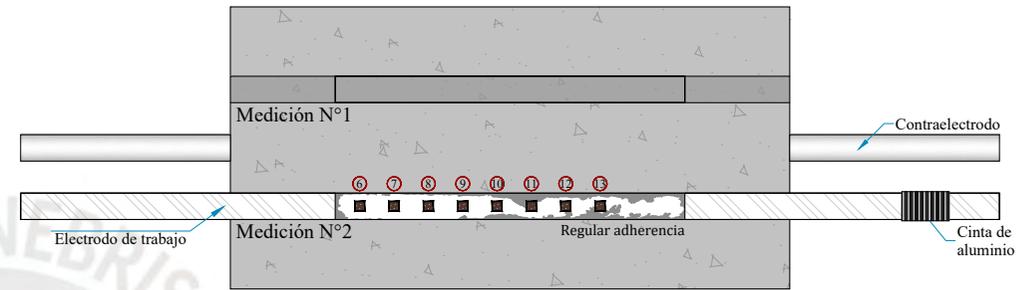


APÉNDICE E59 - INSPECCIÓN DE BARRAS : Mezcla con inhibidor C NaCl 0.50% (MC-0.50) = Estado pasivo

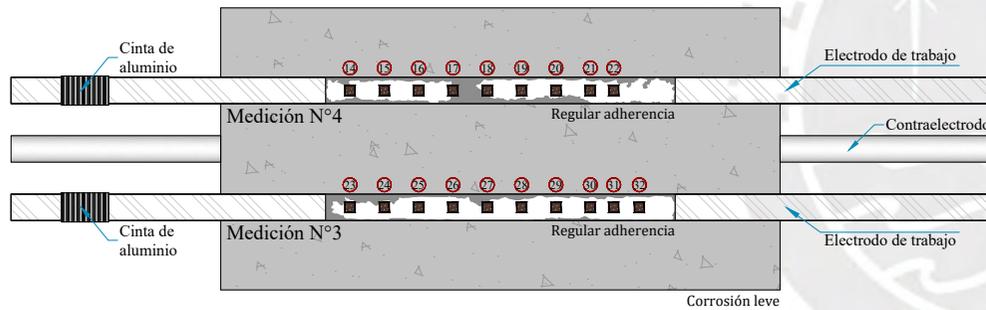
Probeta N°1 - Parte 1



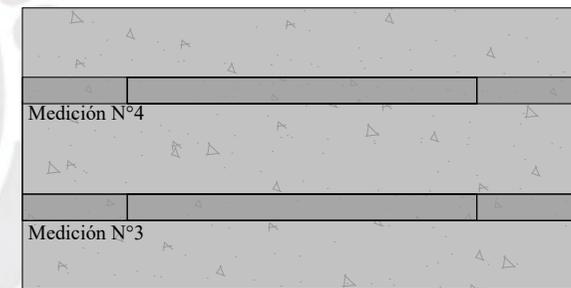
Probeta N°1 - Parte 2



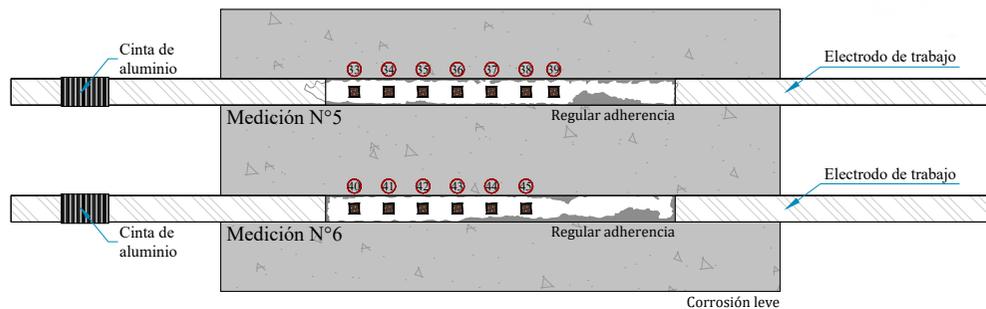
Probeta N°2 - Parte 1



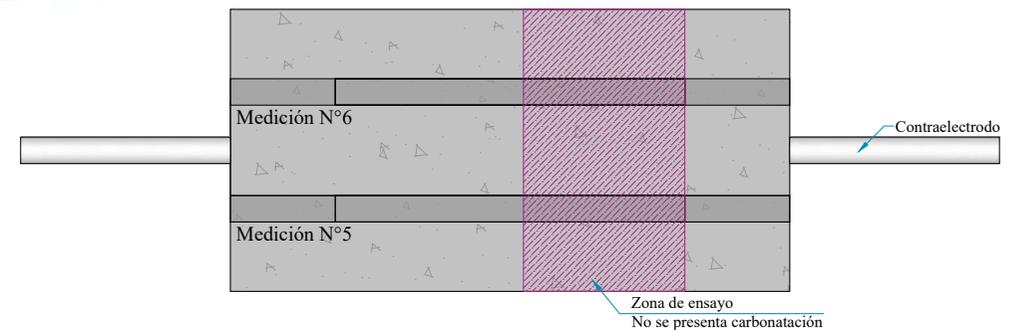
Probeta N°2 - Parte 2



Probeta N°3 - Parte 1



Probeta N°3 - Parte 2



INSPECCIÓN VISUAL MANUAL

APÉNDICE E60: Mezcla con inhibidor C NaCl 0.50% (MC-0.50)

PROBETA 1 - Parte 1



PROBETA 1 - Parte 2



PROBETA 2 - Parte 1



PROBETA 2 - Parte 2



PROBETA 3 - Parte 1



PROBETA 3 - Parte 2



INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E61: Mezcla con inhibidor C NaCl 0.50% (MC-0.50)

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 1



Foto N° 2



Foto N° 3



Foto N° 4



Foto N° 5

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N° 6



Foto N° 7



Foto N° 8



Foto N° 9



Foto N° 10



Foto N° 11

Probeta N°1 - Medición N°3



Foto N° 12



Foto N° 13

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N° 14



Foto N° 15



Foto N° 16



Foto N° 17



Foto N° 18



Foto N° 19

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E62: Mezcla con inhibidor C NaCl 0.50% (MC-0.50)

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°20



Foto N°21



Foto N°22

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°23



Foto N°24



Foto N°25



Foto N°26



Foto N°27



Foto N°28

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°29



Foto N°30



Foto N°31



Foto N°32

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°33



Foto N°34



Foto N°35



Foto N°36



Foto N°37



Foto N°38

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E63: Mezcla con inhibidor C NaCl 0.50% (MC-0.50)

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°39

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°40



Foto N°41



Foto N°42



Foto N°43



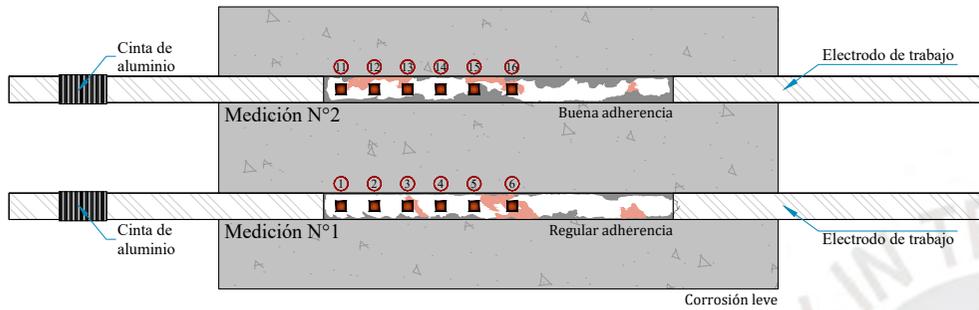
Foto N°44



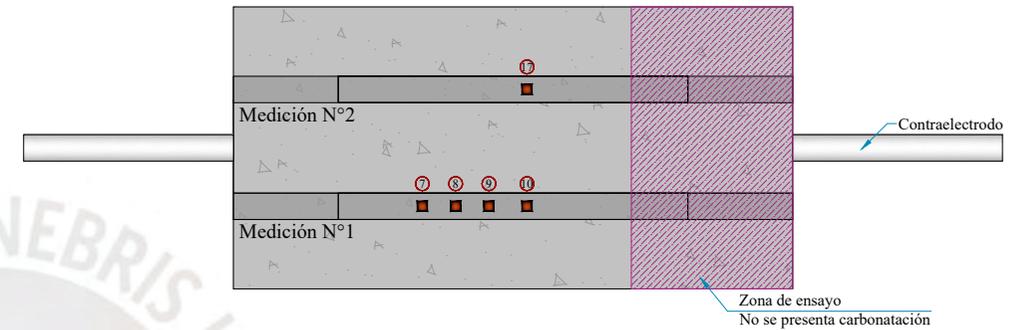
Foto N°45

APÉNDICE E64 - INSPECCIÓN DE BARRAS : Mezcla con inhibidor C NaCl 1.50% (MC-1.50) = Corrosión localizada

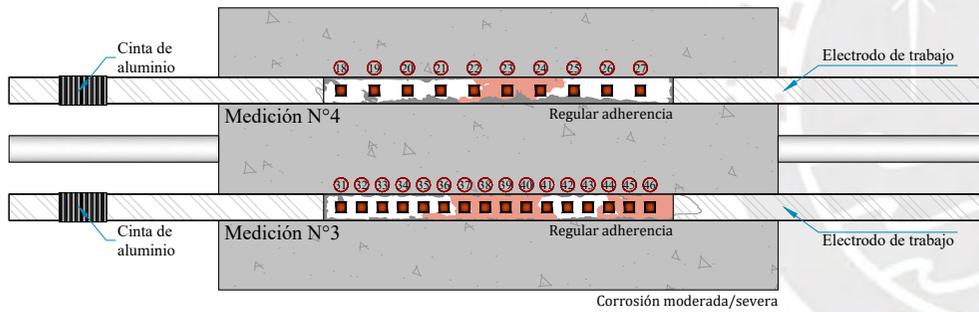
Probeta N°1 - Parte 1



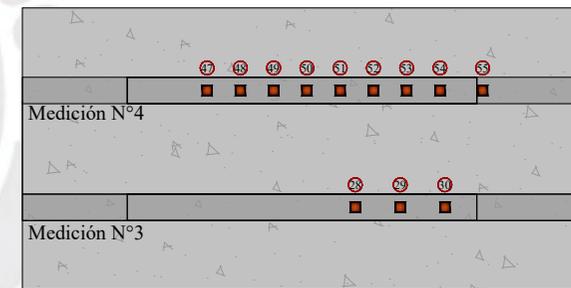
Probeta N°1 - Parte 2



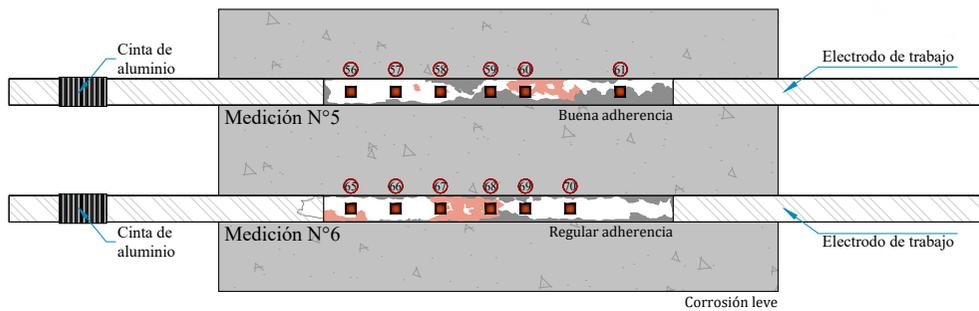
Probeta N°2 - Parte 1



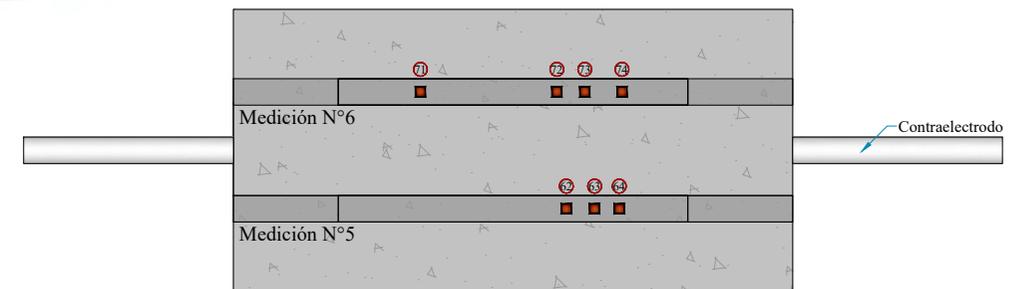
Probeta N°2 - Parte 2



Probeta N°3 - Parte 1



Probeta N°3 - Parte 2



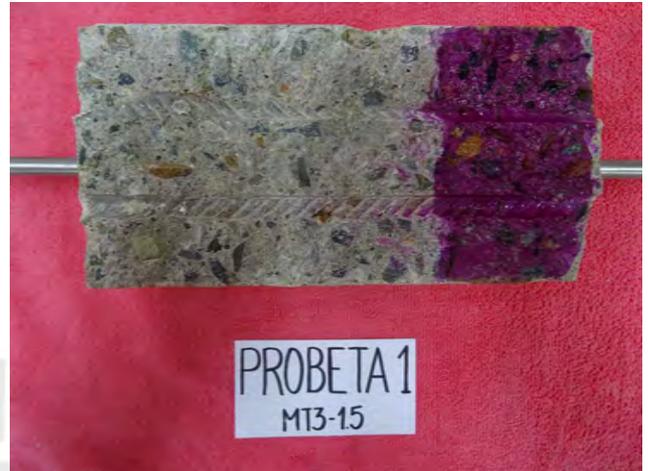
INSPECCIÓN VISUAL MANUAL

APÉNDICE E65: Mezcla con inhibidor C NaCl 1.50% (MC-1.50)

PROBETA 1 - Parte 1



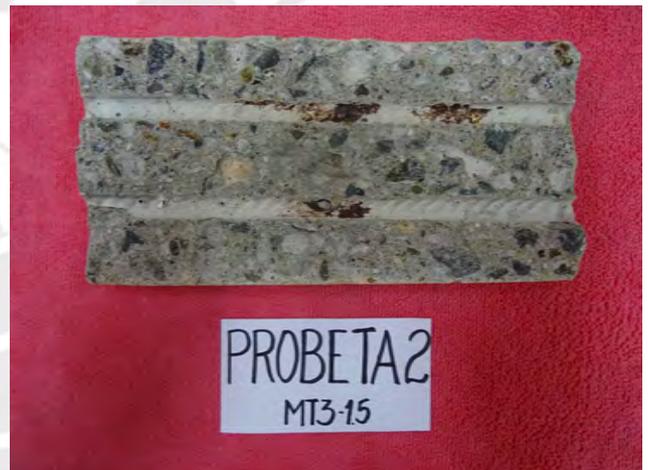
PROBETA 1 - Parte 2



PROBETA 2 - Parte 1



PROBETA 2 - Parte 2



PROBETA 3 - Parte 1



PROBETA 3 - Parte 2



INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E66: Mezcla con inhibidor C NaCl 1.50% (MC-1.50)

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 1

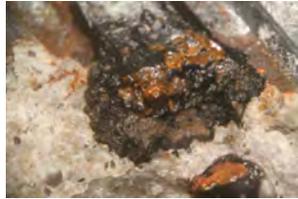


Foto N° 2



Foto N° 3



Foto N° 4



Foto N° 5



Foto N° 6

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 7

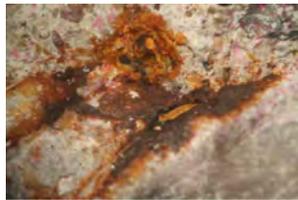


Foto N° 8



Foto N° 9

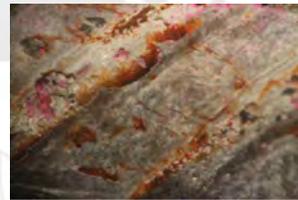


Foto N° 10

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N° 11



Foto N° 12



Foto N° 13



Foto N° 14



Foto N° 15



Foto N° 16

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N° 17

INSPECCIÓN CON ESTEREOMICROSCOPIO

APÉNDICE E67: Mezcla con inhibidor C NaCl 1.50% (MC-1.50)

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°18



Foto N°19



Foto N°20



Foto N°21



Foto N°22



Foto N°23

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°24



Foto N°25



Foto N°26



Foto N°27



Foto N°28



Foto N°29

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°30

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°31



Foto N°32



Foto N°33



Foto N°34



Foto N°35



Foto N°36

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E68: Mezcla con inhibidor C NaCl 1.50% (MC-1.50)

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°37



Foto N°38



Foto N°39



Foto N°40



Foto N°41



Foto N°42

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°43



Foto N°44



Foto N°45



Foto N°46



Foto N°47



Foto N°48

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°49



Foto N°50



Foto N°51



Foto N°52



Foto N°53



Foto N°54

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°55

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCOPIO

APÉNDICE E69: Mezcla con inhibidor C NaCl 1.50% (MC-1.50)

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°56



Foto N°57



Foto N°58



Foto N°59



Foto N°60



Foto N°61

Probeta N°3 - Medición N°5

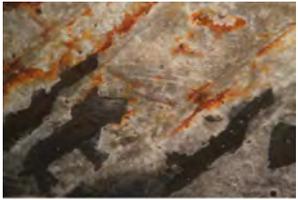


Foto N°62



Foto N°63



Foto N°64

Probeta N°3 - Medición N°6

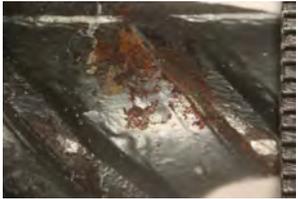


Foto N°65



Foto N°66



Foto N°67

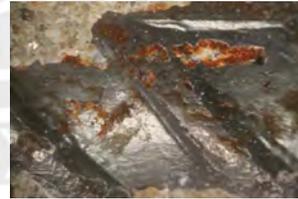


Foto N°68



Foto N°69



Foto N°70

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°71



Foto N°72

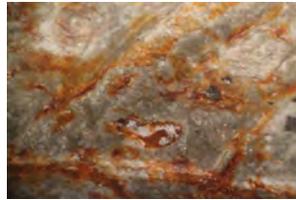


Foto N°73

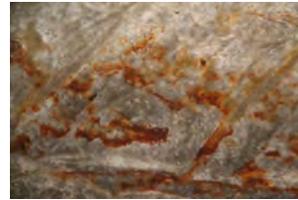
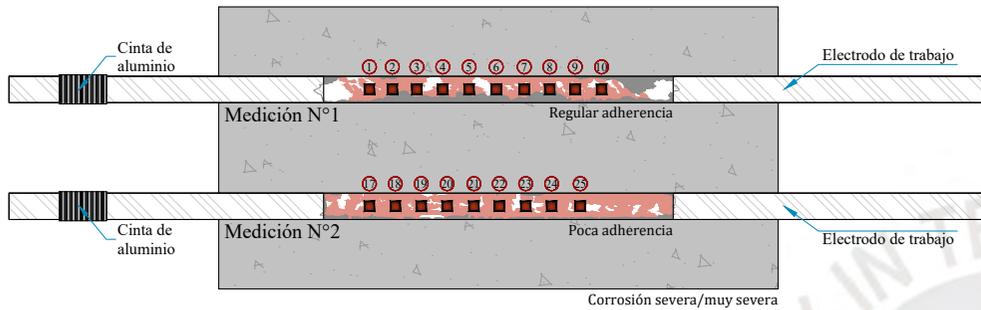


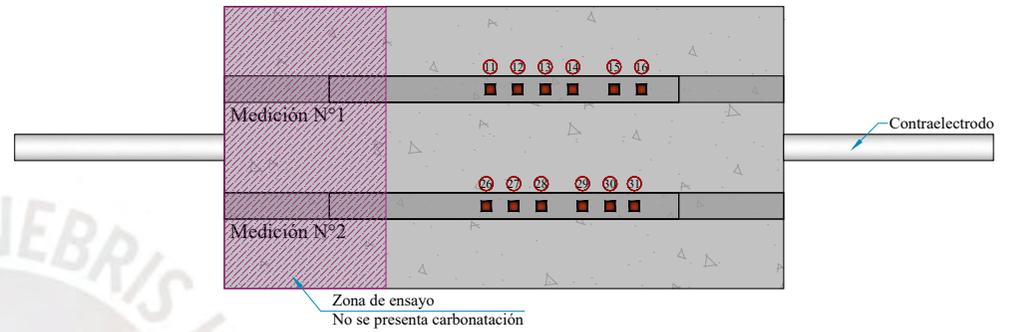
Foto N°74

APÉNDICE E70 - INSPECCIÓN DE BARRAS : Mezcla con inhibidor C NaCl 2.50% (MC-2.50) = Corrosión uniforme

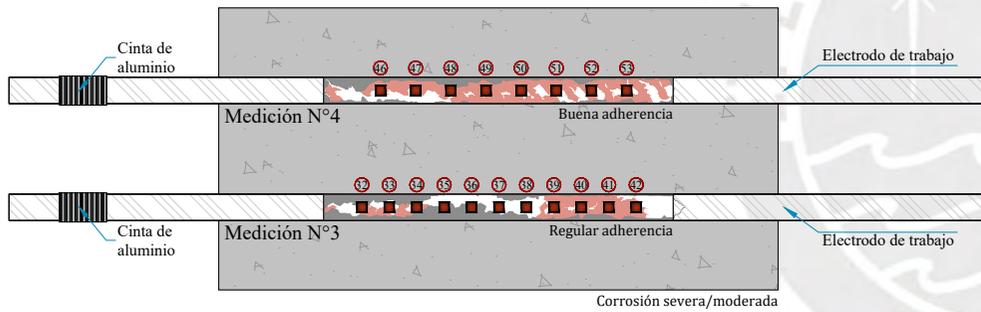
Probeta N°1 - Parte 1



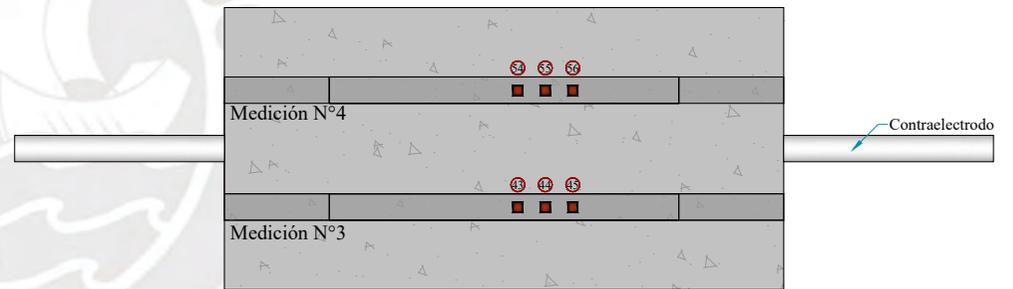
Probeta N°1 - Parte 2



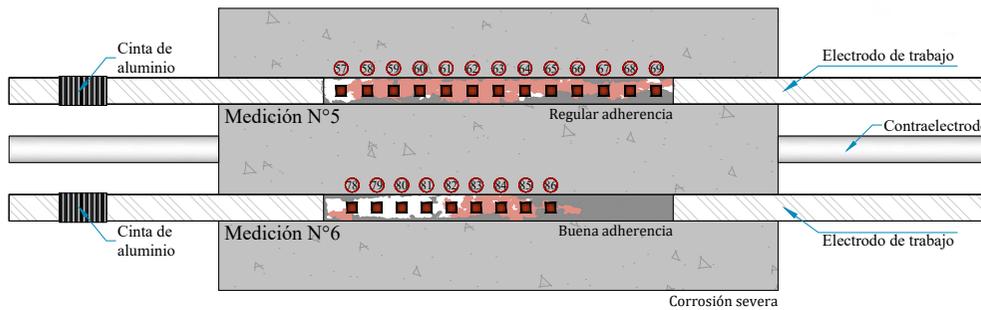
Probeta N°2 - Parte 1



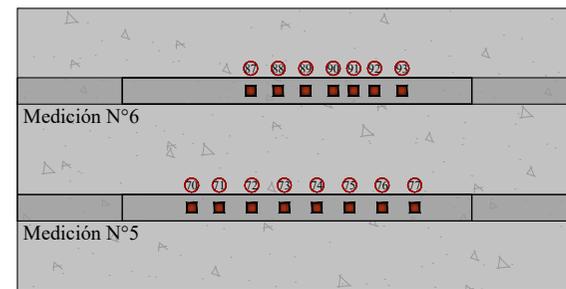
Probeta N°2 - Parte 2



Probeta N°3 - Parte 1



Probeta N°3 - Parte 2



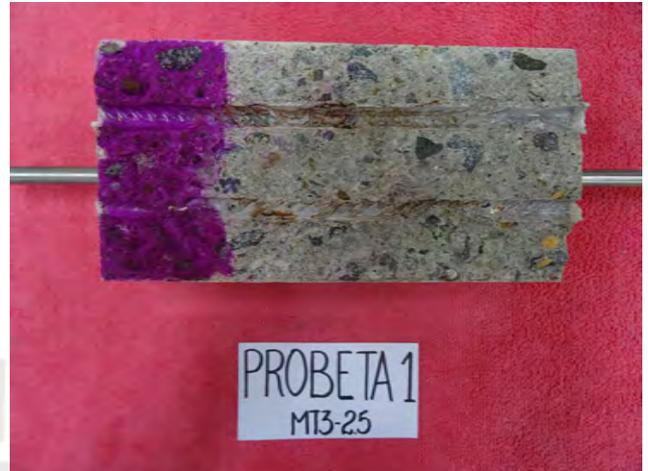
INSPECCIÓN VISUAL MANUAL

APÉNDICE E71: Mezcla con inhibidor C NaCl 2.50% (MC-2.50)

PROBETA 1 - Parte 1



PROBETA 1 - Parte 2



PROBETA 2 - Parte 1



PROBETA 2 - Parte 2



PROBETA 3 - Parte 1



PROBETA 3 - Parte 2



INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E72: Mezcla con inhibidor C NaCl 2.50% (MC-2.50)

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 1



Foto N° 2



Foto N° 3



Foto N° 4



Foto N° 5



Foto N° 6

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 7



Foto N° 8



Foto N° 9



Foto N° 10

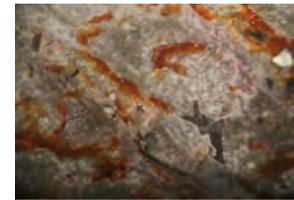


Foto N° 11



Foto N° 12

Probeta N°1 - Medición N°1



Foto N° 13



Foto N° 14



Foto N° 15



Foto N° 16

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N° 17



Foto N° 18



Foto N° 19



Foto N° 20



Foto N° 21



Foto N° 22

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E73: Mezcla con inhibidor C NaCl 2.50% (MC-2.50)

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N°23



Foto N°24



Foto N°25



Foto N°26



Foto N°27



Foto N°28

Probeta N°1 - Medición N°2



Foto N°29



Foto N°30



Foto N°31

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°32



Foto N°33

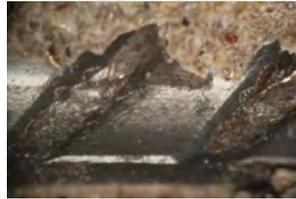


Foto N°34



Foto N°35



Foto N°36



Foto N°37

Probeta N°2 - Medición N°3



Foto N°38



Foto N°39



Foto N°40



Foto N°41



Foto N°42



Foto N°43

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E74: Mezcla con inhibidor C NaCl 2.50% (MC-2.50)

Probeta N°2 - Medición N°3

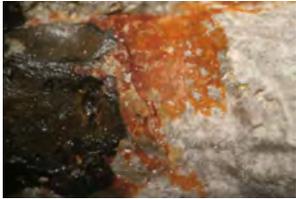


Foto N°44



Foto N°45

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°46



Foto N°47



Foto N°48



Foto N°49



Foto N°50



Foto N°51

Probeta N°2 - Medición N°4



Foto N°52



Foto N°53

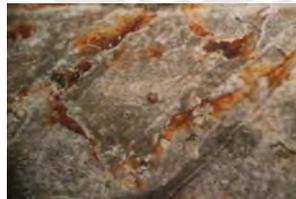


Foto N°54



Foto N°55

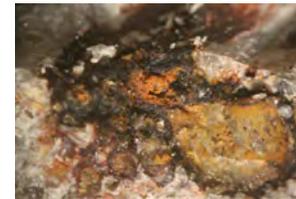


Foto N°56

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°57



Foto N°58



Foto N°59



Foto N°60



Foto N°61



Foto N°62

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E75: Mezcla con inhibidor C NaCl 2.50% (MC-2.50)

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°63



Foto N°64



Foto N°65



Foto N°66



Foto N°67



Foto N°68

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°69



Foto N°70



Foto N°71



Foto N°72



Foto N°73



Foto N°74

Probeta N°3 - Medición N°5



Foto N°75



Foto N°76



Foto N°77

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°78



Foto N°79



Foto N°80



Foto N°81



Foto N°82



Foto N°83

INSPECCIÓN CON ESTEREOMISCROSCOPIO

APÉNDICE E76: Mezcla con inhibidor C NaCl 2.50% (MC-2.50)

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°84



Foto N°85



Foto N°86



Foto N°87



Foto N°88



Foto N°89

Probeta N°3 - Medición N°6



Foto N°90



Foto N°91



Foto N°92

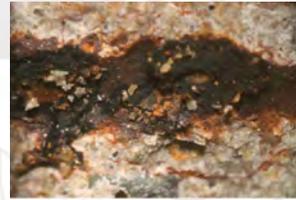
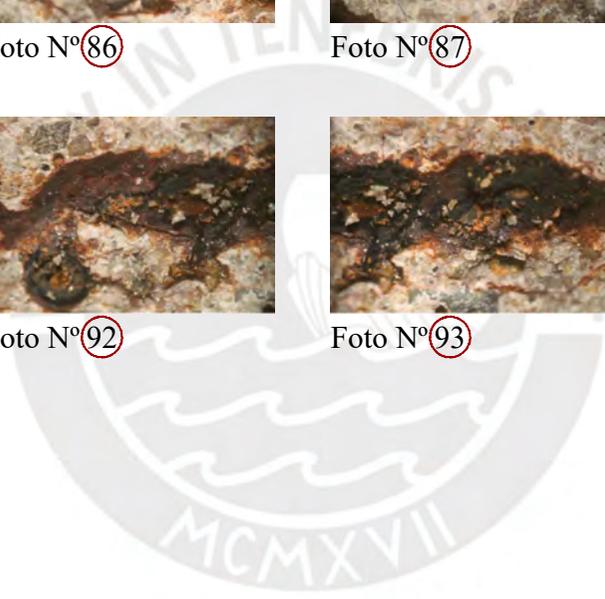


Foto N°93



ÁPENDICE F. ASTM G109 – 07

Método de prueba estándar para determinar los efectos de los aditivos químicos en la corrosión del refuerzo de acero embebido en el concreto expuesto a ambientes de cloruro

1. Alcance

1.1 Este método cubre un procedimiento para determinar los efectos de los aditivos químicos en la corrosión de los metales en el concreto. Este método de prueba se puede utilizar para evaluar los materiales destinados a inhibir la corrosión del acero en el concreto inducida por el cloruro. También se puede utilizar para evaluar la corrosividad de los aditivos en un entorno de cloruro.

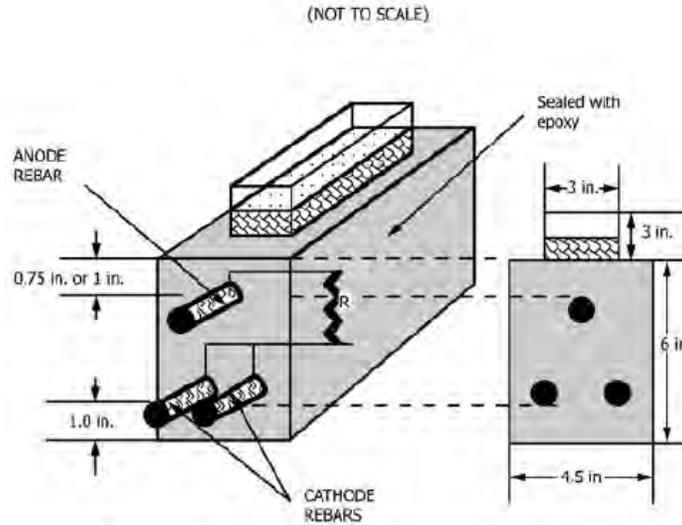
2. Equipo necesario

2.1 El aparato requerido para la evaluación de los inhibidores de corrosión incluye un voltímetro de alta impedancia (al menos un Mohm) capaz de medir a 0.01 mV, una resistencia de 100 Ω (65%).

3. Preparación de muestras de ensayo

3.1 Decapar las barras de acero con ácido sulfúrico al 10% durante 10 a 15 minutos y enjuagar con agua potable antes del cepillado cuando las barras tengan una cantidad excesiva de óxido.

3.2 El tamaño de la muestra es de 280 × 150 × 115 mm (11 × 6 × 4.5 pulg.), colocar dos barras a 25 mm (1 pulg.) de la parte inferior, y una barra en la parte superior, de manera que la distancia desde su parte superior a la superficie superior de la muestra sea dos veces el tamaño máximo del agregado, como se muestra en Figura 1.

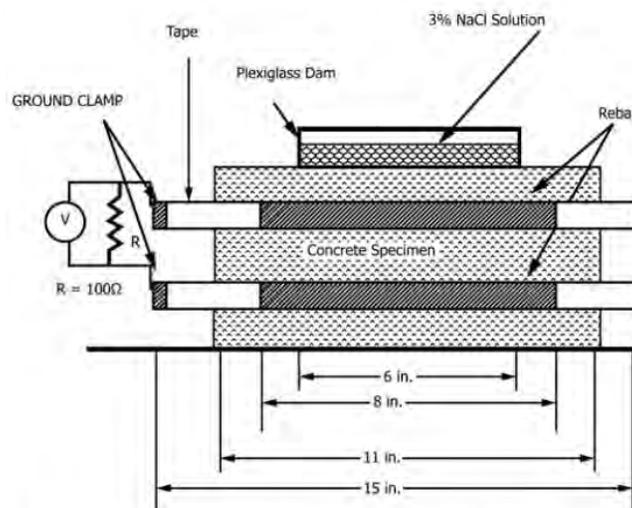


NOTE 1—All measurements in inches (25.4 mm = 1 in.).

Figura 1. Viga de concreto

NOTA: Por ejemplo, para un agregado de 12.5 mm (0.5 in.), colocar la barra superior a 25 mm (1 in.) de la superficie. Para un agregado de 9.5 mm (0.375 pulg.), colocar la barra a 19 mm (0.75 pulg.) de la superficie superior.

3.3 Colocar las barras de manera que 40 mm (aprox. 1.5 pulg.) de las barras estén protegidas con epoxy dentro de cada extremo de salida del concreto (minimizar los efectos de los bordes), esto expondrá 200 mm (8 in.) del acero al proceso corrosivo, como se muestra en la Figura 2.



NOTE 1—All measurements in inches (not to scale) (25.4 mm = 1 in.).

Figura 2. Viga de concreto (vista lateral)

3.4 Aplicar un acabado de madera flotante después de la consolidación. Después de retirar el encofrado, curar las muestras durante 28 días en una habitación húmeda de acuerdo con el Método de prueba C192 / C192M y la Especificación C511.

3.5 Al retirarse de la habitación húmeda, cepillar a mano las muestras en la superficie superior del concreto (superficie flotada de madera). Permitir que las muestras se sequen durante dos semanas en un entorno de humedad relativa (HR) del 50%.

4. Procedimiento

4.1 Apoyar cada espécimen en dos soportes no eléctricos de al menos 13 mm (0,5 pulg.) de espesor, lo que permite el flujo de aire por debajo de la mayor parte del espécimen. Comenzar la prueba un mes después de retirar las muestras de la atmósfera de 100% de HR (habitación húmeda).

4.2 Almacenar los especímenes durante dos semanas a 23 ± 3 °C con la solución de sal. El volumen de esta solución es de aproximadamente 400 ml a una profundidad de 40 mm (1.5 pulg.). Use una cubierta de plástico suelta para minimizar la evaporación. Mantener una humedad relativa alrededor de los especímenes de $50 \pm 5\%$.

4.3 Medir el voltaje a través de la resistencia al comienzo de la segunda semana de prueba utilizando el voltímetro definido en 2.1. Calcular la corriente, I_j , a partir del voltaje medido a través de la resistencia de 100Ω , V_j , medida en voltios como:

$$I_j = V_j / 100$$

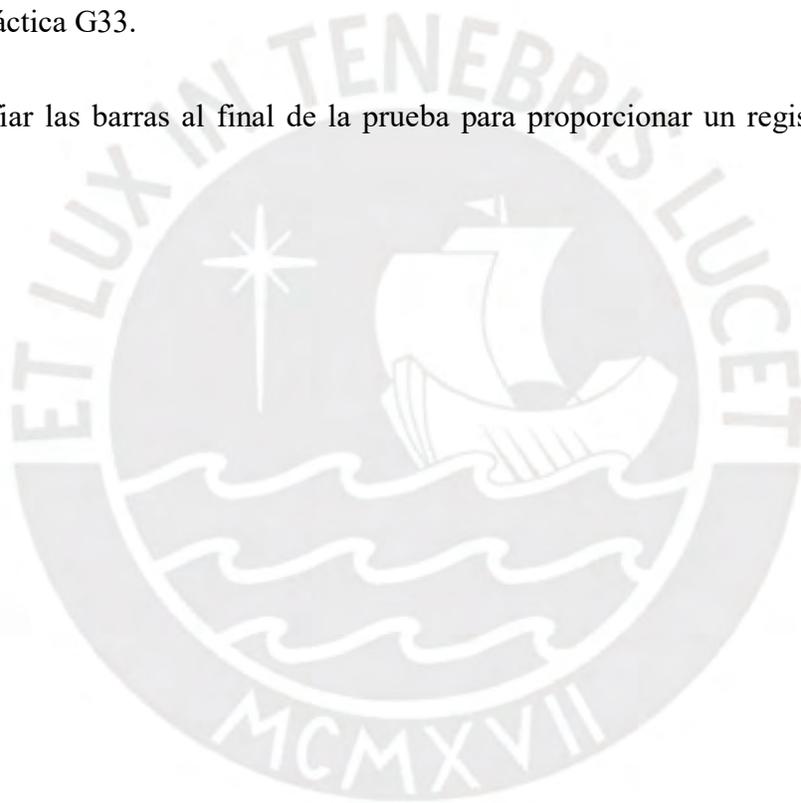
NOTA: Con el terminal común en la barra inferior, los voltajes negativos corresponden a la corriente galvánica positiva (es decir, la barra superior es el ánodo).

4.4 Al mismo tiempo, medir el potencial de corrosión de las barras contra un electrodo de referencia que se coloca en la presa que contiene la solución de sal (consulte el Método de prueba C876). Conecte el voltímetro entre el electrodo de referencia (tierra o terminal común) y las barras.

5. Examen de barras embebidas

5.1 Al concluir la prueba, romper las muestras y examinar las barras de refuerzo para determinar el grado de corrosión, medir el área corroída y registrar el porcentaje de área corroída, como se describe en la Práctica G33.

NOTA: Fotografíar las barras al final de la prueba para proporcionar un registro del daño por corrosión.



ÁPENDICE G. ASTM C876 – 15

Método de prueba estándar para el potencial de corrosión del acero de refuerzo sin recubrimiento en concreto

1. Alcance

1.1 Este método de ensayo cubre la estimación del potencial de corrosión eléctrica del acero de refuerzo sin recubrimiento en concreto de campo y laboratorio, con el propósito de determinar la actividad de corrosión del acero de refuerzo.

2. Equipo necesario

2.1 El aparato de prueba consta de lo siguiente:

2.1.1 Electrodo de referencia:

2.1.1.1 El electrodo de referencia seleccionado debe proporcionar un potencial estable y reproducible para la medición del potencial de corrosión del acero de refuerzo incrustado en el concreto en el rango de temperatura de 32 a 120 ° F (0 a 49 ° C).

2.1.1.2 Los potenciales de corrosión se basarán en la reacción de semicelda $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{++} + 2\text{e}^-$ correspondiente al potencial del electrodo de referencia de sulfato de cobre y cobre saturado como referencia al electrodo de hidrógeno que es $-0,30 \text{ V}$ a 72 ° F (22.2 ° C).

2.1.2 Dispositivo de unión eléctrica: se debe utilizar un dispositivo de unión eléctrica para proporcionar un puente líquido de baja resistencia eléctrica entre la superficie del concreto y el electrodo de referencia. Consistirá en una esponja o varias esponjas pre-humedecidas con una solución de contacto de baja resistencia eléctrica. La esponja se puede doblar y unir a la punta del electrodo de referencia de modo que proporcione continuidad eléctrica entre el enchufe poroso y el elemento de concreto. El área de contacto mínima del dispositivo de unión electroquímica debe

ser el área equivalente a un círculo con 3 veces el diámetro nominal del agregado grueso de concreto hasta un máximo de 16 in² (0.01 m²).

2.1.3 Solución de contacto eléctrico: para estandarizar la caída de potencial a través de la parte de concreto del circuito, se debe usar una solución de contacto eléctrico para humedecer el dispositivo de unión eléctrica. Una de estas soluciones se compone de una mezcla de 95 ml de agente humectante (agente humectante disponible comercialmente) o un detergente doméstico líquido bien mezclado con 5 gal (19 L) de agua potable.

2.1.4 Voltímetro: el voltímetro debe permitir lecturas de voltaje.

2.1.5 Cables eléctricos: el cable eléctrico debe tener una dimensión tal que su resistencia eléctrica para la longitud utilizada no perturbe el circuito eléctrico en más de 0,0001 V.

3. Procedimiento

3.1 Espaciado entre mediciones: Debe ser consistente con el miembro que se está investigando y el uso final previsto de las medidas.

3.2 Conexión eléctrica al acero.

3.3 Conexión eléctrica al electrodo de referencia: conectar eléctricamente un extremo del cable conductor al electrodo de referencia y el otro extremo de este mismo cable al terminal negativo (tierra) del voltímetro.

3.4 Humedecimiento previo de la superficie de concreto:

3.4.1 En la mayoría de las condiciones, la superficie de concreto debe humedecerse previamente mediante cualquiera de los dos métodos descritos en 7.4.3 o 7.4.4 con la solución descrita en 5.1.3 para disminuir la tensión eléctrica.

3.4.2 Se debe realizar una prueba para determinar la necesidad de pre-humedecimiento de la siguiente manera:

3.4.2.1 Colocar el electrodo de referencia sobre la superficie de concreto y no moverlo.

3.4.2.2 Observar el voltímetro para una de las siguientes condiciones:

(1) El valor medido del potencial de corrosión no cambia ni fluctúa con el tiempo.

(2) El valor medido del potencial de corrosión cambia o fluctúa con el tiempo.

3.4.2.3 Si se observa la condición (1), no es necesario humedecer previamente la superficie de concreto. Sin embargo, si se observa la condición (2), se requiere pre-humedecimiento durante un período de tiempo tal que la lectura de voltaje sea estable (60,02 V) cuando se observe durante al menos 5 min. Si el pre-humedecimiento no puede obtener la condición (1), la resistencia eléctrica del circuito es demasiado grande para obtener mediciones válidas del potencial de corrosión del acero. En este caso, no se debe utilizar el método del electrodo de referencia.

4. Presentación de datos

4.1 Las mediciones de prueba pueden presentarse mediante uno o ambos métodos. El primero, un mapa de contorno equipotencial, proporciona una delimitación gráfica de áreas en el miembro donde puede estar ocurriendo actividad de corrosión. El segundo método, el diagrama de frecuencia acumulativa, proporciona una indicación de la magnitud del área afectada del elemento de concreto.