

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes
con presencia de contaminación de cloruros**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Shalem Altair Gertrud Saldaña Diaz

ASESOR

Jose Alberto Acero Martínez

<https://orcid.org/0000-0003-4154-9510>

Chiclayo, 2026

**Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a
ambientes con presencia de contaminación de cloruros**

PRESENTADA POR

Shalem Altair Gertrud Saldaña Diaz

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Carlos Enrique Cumpa Vieyra
PRESIDENTE

César Eduardo Cachay Lazo
SECRETARIO

Jose Alberto Acero Martínez
VOCAL

Dedicatoria

A mis padres, Nisei Diaz Vitón y Manuel Saldaña Moncayo, por otorgarme su amor, apoyo incondicional y ser guía en mi vida, abriéndome caminos y demostrarme el valor de la responsabilidad.

Agradecimientos

A mi asesor Mgtr. Acero Martínez, José por su guía en la realización del presente estudio, a mis padres por su confianza y acompañamiento continuo en todo momento.

A mis hermanos Helmut, Wilhelm, Eunice, Anaís, Luz, Julio y a mi gata Pininna por su compañía y por compartirme su alegría.

Indicador de corrosi3n del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminaci3n de cloruros.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	12%	3%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	cimav.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet	1%
4	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	9c729b14-4498-491e-ac7d-b292330a07e9.filesusr.com Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	14
Abstract	15
Introducción.....	16
Antecedentes	18
Revisión de literatura.....	22
Bases teóricas.....	22
Concreto armado.....	22
Corrosión del acero de refuerzo	25
Porosidad y alcalinidad del concreto.....	25
Pasividad del acero.....	26
Ruptura de la pasividad	27
Daño por corrosión	28
Tipos de corrosión según su morfología.....	29
Ambiente de exposición	30
Mediciones electroquímicas	32
Materiales y métodos	33
Tipo y nivel de la investigación	33
Formulación del problema	33
Hipótesis.....	33
Población y muestra.....	34
Operacionalización de variable.....	38
Técnica e instrumentos de recolección de datos	39
Resultados y discusión	54

Conclusiones	107
Recomendaciones	108
Referencias.....	109
Anexos	114

Lista de figuras

Fig. 1 Tamaño de los poros del concreto [18].....	25
Fig. 2 Inspección de corrosión del acero embebido en concreto [18].....	30
Fig. 3 Diagrama de flujo de la investigación	34
Fig. 4 Análisis Granulométrico del agregado fino	40
Fig. 5 Análisis Granulométrico del agregado grueso	41
Fig. 6 Cono de absorción.....	42
Fig. 7 Peso específico de masa y absorción del agregado fino	43
Fig. 8 Agregado grueso para ensayo de absorción.....	44
Fig. 9 Porcentaje de absorción del agregado grueso	44
Fig. 10 Peso específico del agregado grueso.....	45
Fig. 11 Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso	46
Fig. 12 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.....	46
Fig. 13 Vaciado de probetas de concreto	47
Fig. 14 Rotura de probetas	47
Fig. 15 Ensayo para la determinación de resistencia del concreto.....	48
Fig. 16 Vaciado de especímenes a exponer.....	49
Fig. 17 Curado de especímenes.....	49
Fig. 18 Espécimen con código de identificación dentro de su ambiente	49
Fig. 19 Exposición a ambiente N°01	50
Fig. 20 Exposición a ambiente N°02	50
Fig. 21 Exposición a ambiente N°03	51
Fig. 22 Exposición a ambiente N°04	51
Fig. 23 Exposición a ambiente N°05	51
Fig. 24 Exposición a ambiente N°06	51
Fig. 25 Medición electroquímica	52
Fig. 26 Circuito de electrodo de referencia	52

Fig. 27 Escala de grado de presencia los indicios de corrosión	53
Fig. 28 Refuerzo, sin daños (izquierda) y dañado (derecha) por corrosión	53
Fig. 29 Escala de evaluación de la adherencia aparente	53
Fig. 30 Curva granulométrica del agregado fino.....	54
Fig. 31 Curva granulométrica del agregado grueso	56
Fig. 32 Resistencia a la compresión vs edad de mezcla con cemento TIPO V.....	65
Fig. 33 Resistencia a la compresión vs edad de mezcla con cemento TIPO I	65
Fig. 34 Primer intervalo de mediciones - Ambiente 04	96
Fig. 35 Segundo intervalo de mediciones - Ambiente 04	96
Fig. 36 Tercer intervalo de mediciones - Ambiente 04.....	97
Fig. 37 Cuarto intervalo de mediciones - Ambiente 04	97
Fig. 38 Primer intervalo de mediciones - Ambiente 05	98
Fig. 39 Segundo intervalo de mediciones - Ambiente 05	98
Fig. 40 Tercer intervalo de mediciones - Ambiente 05.....	99
Fig. 41 Cuarto intervalo de mediciones - Ambiente 05	99
Fig. 42 Primer intervalo de mediciones - Ambiente 06	100
Fig. 43 Segundo intervalo de mediciones - Ambiente 06	100
Fig. 44 Tercer intervalo de mediciones - Ambiente 06.....	101
Fig. 45 Cuarto intervalo de mediciones - Ambiente 06	101

Lista de tablas

TABLA I USOS DE LOS TIPOS DE CEMENTO [35].....	23
TABLA II COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ACEROS DE MARCAS DISPONIBLES EN EL MERCADO PERUANO	24
TABLA III CONTENIDO DE SALES EN LOS OCEÁNOS [15]	31
TABLA IV PROBABILIDAD DE CORROSIÓN SEGÚN POTENCIAL [36].....	32
TABLA V CONSIDERACIONES DE ESPECÍMENES POR CADA AMBIENTE	35
TABLA VI ESPECÍMENES PARA VERIFICACIÓN DE MEZCLA.....	36
TABLA VII DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE ACEROS EN CADA AMBIENTE CONSIDERADO	36
TABLA VII (CONTINUACIÓN) DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE ACEROS EN CADA AMBIENTE CONSIDERADO	37
TABLA VIII OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES - VARIABLE INDEPENDIENTE	38
TABLA IX OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES - VARIABLE DEPENDIENTE	38
TABLA X OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES - VARIABLE INTERVINIENTE	39
TABLA XI TIEMPO DE TOLERANCIA PARA REALIZAR EL ENSAYO DE RESISTENCIA	48
TABLA XII GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.....	54
TABLA XIII PESO ESPECÍFICO DE MASA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	55
TABLA XIV CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO.....	55
TABLA XV PESO UNITARIO SECO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO.....	56
TABLA XVI GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO	57
TABLA XVII PESO ESPECÍFICO DE MASA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	57
TABLA XVIII CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO	58
TABLA XIX PESO UNITARIO SECO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO.....	58

TABLA XX CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS.....	59
TABLA XXI DETERMINACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA [40]	60
TABLA XXII DETERMINACIÓN DE RELACIÓN A/C [40].....	60
TABLA XXIII DETERMINACIÓN DE FACTOR CEMENTO [40]	61
TABLA XXIV RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS EDAD - TIPO V.....	64
TABLA XXV RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS EDAD - TIPO I.....	65
TABLA XXVI RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO I - AMBIENTE 01.....	66
TABLA XXVII RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO V - AMBIENTE 01	67
TABLA XXVIII RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO I - AMBIENTE 02.....	68
TABLA XXIX RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO V - AMBIENTE 02	69
TABLA XXX RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO I - AMBIENTE 03.....	71
TABLA XXXI RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO V - AMBIENTE 03	72
TABLA XXXII RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO I - AMBIENTE 04.....	73
TABLA XXXIII CANTIDAD DE POTENCIALES DE CORROSIÓN (<-500MV) - AMBIENTE 04 (TIPO I)	74
TABLA XXXIV RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO V - AMBIENTE 04	75
TABLA XXXV CANTIDAD DE POTENCIALES DE CORROSIÓN (<-500MV) - AMBIENTE 04 (TIPO V).....	76
TABLA XXXVI RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO I - AMBIENTE 05.....	77
TABLA XXXVII CANTIDAD DE POTENCIALES DE CORROSIÓN (<-500MV) - AMBIENTE 05 (TIPO I)	78
TABLA XXXVIII RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO V - AMBIENTE 05	79
TABLA XXXIX CANTIDAD DE POTENCIALES DE CORROSIÓN (<-500MV) - AMBIENTE 05 (TIPO V).....	80

TABLA XL RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO I - AMBIENTE 06.....	81
TABLA XLI CANTIDAD DE POTENCIALES DE CORROSIÓN (<-500MV) - AMBIENTE 06 (TIPO I)	82
TABLA XLII RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO V - AMBIENTE 06.....	83
TABLA XLIII CANTIDAD DE POTENCIALES DE CORROSIÓN (<-500MV) - AMBIENTE 06 (TIPO V).....	84
TABLA XLIV PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 01 (TIPO I)	85
TABLA XLV PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 01 (TIPO V).....	86
TABLA XLVI PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 02 (TIPO I)	86
TABLA XLVII PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 02 (TIPO V)	87
TABLA XLVIII PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 03 (TIPO I).....	87
TABLA XLIX PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 03 (TIPO V).....	88
TABLA L PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 04 (TIPO I)	88
TABLA LI PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 04 (TIPO V).....	89
TABLA LII PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 04 (TIPO I)	89
TABLA LIII PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 04 (TIPO V).....	90
TABLA LIV PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 06 (TIPO I)	90
TABLA LV PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 06 (TIPO V).....	91
TABLA LVI CUALIFICACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN - AMBIENTE 01.....	91
TABLA LVII CUALIFICACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN - AMBIENTE 02	92
TABLA LVIII CUALIFICACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN - AMBIENTE 03 ...	92

TABLA LIX CUALIFICACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN - AMBIENTE 04.....	92
TABLA LX CUALIFICACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN - AMBIENTE 05.....	93
TABLA LXI CUALIFICACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN - AMBIENTE 06.....	93
TABLA LXII RECUENTO DE ORDEN DE CANTIDAD DE POTENCIALES (<-500MV)- AMBIENTE 04, 05 Y 06	94
TABLA LXIII ACUMULADO DEL ORDEN DE CANTIDAD DE POTENCIALES (<- 500MV)- AMBIENTE 04, 05 Y 06	94
TABLA LXIV RECUENTO DE ORDEN DE PRIMER POTENCIAL (<-500MV)- AMBIENTE 04, 05 Y 06	94
TABLA LXV ACUMULADO DE ORDEN DE PRIMER POTENCIAL (<-500MV)- AMBIENTE 04, 05 Y 06	95
TABLA LXVI PORCENTAJE DE VECES DE MENOR PROMEDIO DE MEDICIONES POR INTERVALO - AMBIENTE 04, 05 Y 06	102
TABLA LXVII MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ESTRUCTURAS DE LA ZONA COSTERA.....	102
TABLA LXVIII RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS - AMBIENTE 02 (GERDAU- TIPO I).....	103

Lista de ecuaciones

Ecuación 01: Reacción de carbonatación.....	27
Ecuación 02: Contenido de humedad de los agregados.....	41
Ecuación 03: Peso específico en masa de los agregados.....	43
Ecuación 04: Porcentaje de absorción de los agregados.....	44

Resumen

En esta investigación se interpretó el comportamiento electroquímico de aceros embebidos en concreto frente a la exposición de ambientes como lo son intemperie marina, agua de mar, arena y agua contaminadas al 3.5% con NaCl y en agua contaminada al 3.5% con NaCl con periodos de secado. Se cuenta con dos grupos de especímenes por ambiente, pues se emplearon dos tipos de cemento, que a su vez tienen embebidos dos grupos de acero, el grupo B conformado por dos de las más reconocidas en Perú y el A por otras dos presentes en el mercado peruano. La mezcla fue diseñada para un $f'c=215$ kg/cm² siguiendo el modelo ACI 211. Los especímenes pasada la etapa de curado fueron expuestos a los ambientes contaminados para proceder a realizar mediciones electroquímicas cada 5 días en 140 días de exposición, las mismas que se interpretaron conforme a lo dispuesto por la norma ASTM C876, obteniendo que el acero embebido en concreto se corroe con mayor facilidad en exposición a agua contaminada al 3.5% con NaCl con periodos de secado. Además, la utilización del cemento tipo V para el concreto en cuanto a la corrosión de aceros embebidos en él propicia la protección de su capa pasiva. En cuanto a los grupos de acero, el A presentó el mejor desempeño a la exposición de los ambientes evaluados.

Palabras clave: Acero, Concreto, Ambientes de exposición, Corrosión, Cloruro.

Abstract

In this research, the electrochemical behavior of steel embedded in concrete was interpreted when exposed to environments such as marine weather, sea water, sand and water contaminated at 3.5% with NaCl and in water contaminated at 3.5% with NaCl with periods of drying. There are two groups of specimens per environment, since two types of cement were used, which in turn have embedded two groups of steel, group B made up of two of the most recognized in Peru and group A made up of two others present in the Peruvian market. The mixture was designed for a $f_c=215$ kg/cm² following the ACI 211 model. The specimens after the curing stage were exposed to contaminated environments to proceed with electrochemical measurements every 5 days in 140 days of exposure, the same which were interpreted in accordance with the provisions of the ASTM C876 standard, obtaining that the steel embedded in concrete corrodes more easily when exposed to water contaminated at 3.5% with NaCl with drying periods. Furthermore, the use of type V cement for concrete in terms of corrosion of steel embedded in it promotes the protection of its passive layer. Regarding the steel groups, A presented the best performance when exposed to the evaluated environments.

Keywords: Steel, Concrete, Exposure environments, Corrosion, Chloride.

Introducción

El fenómeno de la corrosión implica la pérdida del 3% del PBI mundial significando económicamente de entre 2.2 a 2.5 billones de dólares anuales [1], por lo cual es de suma importancia el considerar tal acontecimiento más dentro del sector constructor dado que es uno de los cuales emplea más materiales susceptibles a sufrir deterioro por corrosión, como el cobre y acero, este último es de mayor presencia pues es usado de refuerzo en estructuras de concreto las cuales se encuentran expuestas a diferentes condiciones tanto estructurales como ambientales.

Se ha demostrado según diversas investigaciones que dentro de las tres primeras causas de desmejora del estado de las estructuras de concreto se encuentran los daños por corrosión. El desempeño frente a posibles daños por corrosión proviene de la sinergia del acero embebido con el concreto fundamentada en la cooperación del concreto pues protege contra la corrosión al acero embebido en él, tanto de manera física sirviendo de recubrimiento ante agentes ambientales (dióxido de carbono, agua, oxígeno, cloruros, entre otros) y química propiciando la formación de la capa pasiva debido a su alcalinidad. Sin embargo, los factores ambientales a los que están expuestas las estructuras puede contener agentes agresivos que ingresen por los poros del concreto hasta llegar a los aceros de refuerzo y así mediante procesos químicos generar corrosión.

La principal causa de corrosión del acero de refuerzo son el ataque de los iones cloruro que pueden ser aportados por los elementos de los cuales está compuesta la mezcla de concreto (cemento, agregados pétreos, agua y aditivos), por su ingreso al concreto desde el ambiente periférico, como cuando se está situado en un medio marino, o por la proveniencia de las sales de deshielo. Tales iones son capaces de propiciar y así evidenciar graves daños a las estructuras de concreto reforzado [2]. Al ser poco evitable el aporte de sales al concreto por parte de sus componentes y debido al poco acontecimiento el deshielo en concreto, la exposición a la zona marina se convierte en el caso más relevante para las investigaciones acerca de la corrosión del acero embebido en concreto.

Según el MIDAGRI [3], el Perú posee 3080 kilómetros de costa dispuesta en una franja angosta paralela al Océano Pacífico, ocupando un área de 149857 km² y significando así el 12% del territorio nacional dentro del cual existen numerosas obras que se encuentran en contacto de diferentes formas con el ambiente marino, siendo susceptibles a sufrir daños por corrosión.

Se conoce que las causas externas de carácter no estructural más frecuentes que impactan negativamente una estructura de concreto en cuanto a las condiciones óptimas con las que debe contar, provienen principalmente del ambiente de exposición en el cual se desempeña la estructura. Sobre tal, existe información acerca de las medidas de disposición preventiva para evitar futuros daños, los estudios existentes principalmente se han efectuado en exposiciones de concreto reforzado en agua con relación iones cloruro o sulfato, algunas siguiendo la ASTM G109, pero, no hay directrices de comparativas sobre la exposición a cloruros y sulfatos en el contacto con el suelo, aire o sumergimiento sin periodos de secado en agua y su probabilidad de corrosión de las armaduras sin contar con el recubrimiento epóxico que se utiliza en el proceso de inducción de corrosión en la ASTM G109, siendo importante pues tal recubrimiento impediría la inspección progresiva que pueden requerir estudios sobre especímenes expuestos a inducción de corrosión por cloruros.

Cabe destacar la existencia de un método de mediciones electroquímicas con el cuál se hace posible el monitoreo no destructivo de la corrosión del acero, pues cuenta con intervalos indicadores de probabilidad de corrosión en diferente estado o medida, el cual está descrito en la ASTM C876 permitiendo la evaluación del proceso de corrosión cualitativamente con equipos accesibles como lo es un voltímetro. Aunque este método suele ser respaldado por otros con equipos especializados, según diversos estudios revisados se puede notar la correlación de los resultados de este ensayo con los de por ejemplo de la velocidad de corrosión del acero embebido en concreto.

El concreto armado es usado en diversas estructuras expuestas a diferentes condiciones de exposición como el ambiente marino. Con el pasar del tiempo, ciertos factores por su cuenta o aún peor en conjunto pueden generar la presencia de daños no solo al concreto, sino que también al acero que de ser corrosión a largo plazo desencadena pérdida de características muy relevantes para el trabajo óptimo de las estructuras como la adherencia entre el acero y el concreto en el cual se encuentra embebido. Las estructuras expuestas a ambientes marinos a pesar de tener el mismo tiempo de exposición, en ciertas partes de tal la corrosión del acero es más severa siendo que el contacto que tiene con el medio marino sería el de mayor intervención pues es el que varía, pudiendo ser tomando el ejemplo de un pilote, zona embebida en arena, sumergida, sumergida con periodos de secado y la intemperie, considerando la presencia de contaminación de cloruros al ser todas marinas.

Entonces, el conocer el ambiente contaminado al que puede estar expuesto el acero embebido en concreto, frente al cual presente mayor facilidad a ser corroído se está llenando un vacío de conocimiento útil para abrir campo a investigaciones limitadas en cuanto a tiempo con objetivos relacionados con la fisuración del concreto propiciada por la expansión volumétrica del acero generada por la corrosión del mismo o pruebas de eficiencia a inhibidores de corrosión y recubrimientos anticorrosivos, pues así tendrían una base para establecer el medio al cual exponer sus especímenes a un tiempo prudente para realizar las evaluaciones necesarias.

Sabiendo que la corrosión por sus repercusiones en no solo la conservación de los materiales, sino que también a nivel económico hace surgir en consideración estudios sobre los factores que repercuten en condiciones que propicien la degradación de los metales. Sin embargo, la atención en las pruebas para mejora del desempeño en especial del carácter estructural de los materiales de construcción hace dejar de lado las investigaciones sobre la corrosión, de tal modo que a diferencia de la disponibilidad de equipos y métodos para pruebas a materiales como las unidades de albañilería y concreto, los equipamientos calificados para investigaciones sobre corrosión como potenciostatos o equipos de ultrasonido no son de fácil acceso ni obtención sobre todo para estudiantes.

El presente trabajo se enfocó en determinar el ambiente contaminando con cloruros que simule la agresividad del ambiente marino en el cual se produzca con mayor facilidad la corrosión del acero para que sobre tal se pueda tomar como base para las investigaciones que tengan como objetivo solucionar los problemas del concreto armado expuesto a cloruros. Además de lo anteriormente mencionado surgió la inquietud sobre lo que pasaría si evaluamos diferentes marcas de acero presentes en el mercado peruano.

Antecedentes

Hurtado, Olgún, Baltazar [2], presentan los resultados de una comparativa de la conducta electroquímica de dos tipos de acero de dieciséis especímenes de concreto reforzado expuestos a arena contaminada de cloruro de sodio en diferentes porcentajes durante 140 días. Los especímenes fueron realizados con concreto de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, empleando cemento tipo I y II, en las que se encontraban embebidas varillas de acero galvanizado y otra de acero 1018, a las cuales les realizaron mediciones de potenciales de corrosión según la ASTM C876-09 y compararon los resultados según el porcentaje de contaminación del medio al cual fueron expuestas, el tipo de acero y cemento usado. Los resultados sirven como criterio acerca de la

influencia en la corrosión de armaduras con respecto al contenido de cloruro y sulfatos en el suelo presentes en ambientes marinos. Obtuvieron resultados indicando que el empleo de cemento Tipo II en la mezcla del concreto de las muestras a exponer al ambiente contaminado disminuye la facilidad de corrosión del acero de refuerzo, favoreciendo así su protección. Además, el aumento del porcentaje de la presencia de cloruros en el ambiente de exposición corresponde proporcionalmente al deterioro del acero de refuerzo. Respaldado en que sus potenciales se encontraban en zona indicadora de corrosión severa según la ASTM C876.

R. Vera, M. Villarroel, D. Delgado, A. M. Carvajal, F. D. Barbieri, y O. Troconis [4], en este proyecto de investigación correlacionaron las características del medio de exposición y la durabilidad del concreto, así como también la estimación de los umbrales de cloruros presentes en los ambientes que causan corrosión del acero. Realizaron sus pruebas en vigas de concreto de 0.15x0.15x0.3m a 0.45 y 0.65 de relación de agua/cemento (a/c) con varillas de 9 mm de diámetro a colocadas considerando tres espesores de recubrimiento a evaluar frente a un ambiente de tipo marino y otro urbano en Chile. Además, caracterizaron los ambientes según humedad relativa, temperatura, tiempo de humidificación, lluvia ácida y contaminantes atmosféricos como lo son los cloruros, sulfatos y CO₂. Consiguieron resultados indicadores de menor probabilidad de corrosión en el acero de los especímenes con una relación a/c de 0.45, debido a que su absorción y porosidad es menor en comparación a la relación 0.65. Asimismo, las vigas de a/c de 0.65 a los cinco años de exposición presentaron potenciales de corrosión cercanos a -200mV indicando encontrarse en el 10% de probabilidad de corrosión.

A. Flores, M. Flores y J. Uruchurtu [5], evaluaron el efecto de la adición de polvo de grafito con bajo contenido de carbono en el concreto sobre el fenómeno de la corrosión del acero de refuerzo. Realizaron diversos ensayos como potencial de media celda, ruido electroquímico las técnicas de difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido, y resistencia a la polarización lineal. Expusieron los especímenes a agua con NaCl al 3% durante 168 días y los resultados de sus ensayos electroquímicos indican que la adición empleada en este estudio incrementó al aumentar a su vez el nivel de reemplazo de grafito, en cuanto a los potenciales de corrosión, a los 140 días su muestra sin adición presentaba valores dentro de la zona de incertidumbre de corrosión.

E. Voulgari, A. Zacharopoulou, N. Chousidis, y G. Batis [6], en esta investigación analizan las propiedades de protección de un inhibidor de corrosión del refuerzo de acero embebido en mortero con 2cm de recubrimiento, frente a la exposición a una solución al 3.5% de cloruro de

sodio y comparan los resultados con los correspondientes a los de las muestras patrón expuestas hechas con cemento puzolánico de menos de 9% de aluminato tricálcico. Dentro de sus ensayos determinaron el potencial de corrosión de las probetas según ASTM C876 y realizaron mediciones de resistencia de polarización, cálculo de pérdida de masa mediante la Ley de Faraday. Al finalizar las mediciones analizaron el estado del proceso de corrosión para complementar los valores electroquímicos registrados. Al primer mes de exposición, sus resultados se encuentran en el rango de 90% de probabilidad de corrosión y en las mediciones de los meses 2, 3 y 4 se observan potenciales indicadores de corrosión severa según la ASTM C-867.

L. Landa Ruiz *Et Al* [7], en esta investigación analizaron comportamiento de un tipo de acero inoxidable y un acero al carbono embebidos en concretos ecológicos y concreto de cemento tipo II de relación $a/mc=0.65$, frente a la exposición de inmersión en solución de cloruro de sodio 3.5% en peso durante 43 semanas (301 días). Realizaron mediciones electroquímicas a todas las probetas mediante el ensayo de media celda según la ASTM C876 y luego evaluaron según los criterios de probabilidad de corrosión para los potenciales. De la comparación del comportamiento electroquímico con respecto a la corrosión en los primeros 140 días de exposición, obtuvieron que, según las gráficas de los datos de tiempo de exposición (28 a 168 días de medición) se evidencian potenciales indicadores de incertidumbre en los primeros 60 días de exposición, además dentro de los 60 a 110 días de exposición, indicaban 90% de probabilidad la corrosión y en adelante las mediciones presentaba potenciales dentro del rango de corrosión severa.

M. Barrios, C. Tejada, Á. Villabona, F. Castillo, y B. Ramírez [8], estudiaron el desempeño del exudado de cedro como inhibidor de corrosión añadido en diferentes porcentajes en mezcla de concreto de cemento tipo I con relación a/mc de 0.55 y 0.60 en la que estarán embebidas varillas de acero de 3/8" con 4cm de recubrimiento. El ambiente de exposición fue solución de 3.5% de NaCl al peso durante 45 días y los siguientes 45 días en periodo de secado. La técnica que adoptaron para la evaluación de la corrosión del acero fueron las mediciones de potencial de corrosión. Compararon los potenciales de corrosión obtenidos a los 90 días de exposición, se observa sus especímenes de $a/mc=0.60$, sin inhibidor a partir del día 20 de exposición, se encuentran en la zona indicadora de corrosión severa según el criterio según la ASTM C876.

R. Vera, J. Román, M. Puentes, M. Bagnara, A. M. Carvajal, y P. Rojas [9], determinaron el comportamiento del acero galvanizado embebido con respecto al acero normal, en concreto con

cemento portland puro y puzolánico a una proporción de agua/cemento de 0.45 pretendiendo emular las condiciones de proyectos en ambientes como exposición al agua de mar. Expusieron los especímenes a ciclos de inmersión a solución de cloruro de sodio al 3.5%, las cuales consistían en inmersión por 4 días y secado por 3 días cada ciclo, después, cambiaron la concentración de cloruro de sodio a 2.56M por 5 ciclos. Entonces, durante el total de 24 ciclos midieron electroquímicamente el potencial y corriente de corrosión. Con respecto a los potenciales de corrosión para el ciclo 20 (140 días de exposición), los resultados indican estado activo de corrosión, es decir corrosión severa según la ASTM C876.

Según [10] sobre el contenido de silicio en aceros doble fase, por el cual, en teoría, se tiene buena capacidad de resistencia a corrosión, al evitar el posible desarrollo de fenómenos de corrosión por permitir la formación del compuesto SiO_2 de la capa protectora o pasiva en la superficie del acero. Sin embargo, su investigación demostró que, con el aumento del contenido de silicio en aceros embebidos en concreto expuestos a una solución de hidróxido de calcio y NaCl , se presenta mayor tendencia al deterioro por corrosión, evidenciado en sus mediciones de potenciales de corrosión, velocidad de corrosión e inspección visual encontrando picaduras de corrosión.

Como objetivo general esta investigación se enfoca en determinar el ambiente con presencia de contaminación de cloruros en el cual ocurre con mayor facilidad la corrosión del acero embebido en concreto. Lo anterior lo realiza al interpretar los potenciales de corrosión del acero de las muestras expuestas a diferentes ambientes contaminados con cloruros. Apoyado del cualificar el proceso de corrosión que presente el acero luego del procedimiento de inducción de corrosión debido a la exposición a los ambientes contaminados con cloruros. Además, se determina la marca de las varillas de acero de las muestras que presenten mayor facilidad de corrosión en exposición a los ambientes contaminados con cloruros. Al tomarse como variable, también busca identificar si la utilización de cemento tipo V para la mezcla de concreto de las muestras a exponer a los ambientes contaminados minimiza la probabilidad de corrosión del acero embebido. A modo de verificación, se busca comparar los potenciales de corrosión obtenidos de mediciones realizadas a aceros embebidos en concreto de estructuras ubicadas en zonas costeras con los potenciales de los especímenes de la investigación.

Revisión de literatura

Bases teóricas

Concreto armado

El concreto es uno de los materiales al cual está más acostumbrado el sector constructor a utilizar, debido a su versatilidad, durabilidad y por ser económico. Se utiliza en una gran variedad de estructuras como edificios, puentes, pavimentos, túneles, presas, entre otros. La característica más destacable de este material es su alta resistencia a la compresión, la cual en el concreto armado se combina con la buena resistencia a la tensión del acero de refuerzo dando lugar al buen desempeño mecánico del concreto armado, siempre tomando en consideración el buen diseño del concreto según los materiales a usar y para las condiciones de exposición a las que se someterá [11].

El concreto aporta características como la buena resistencia a la compresión y a su vez el recubrimiento al acero, necesario para prolongar su durabilidad, pues le otorga protección física y química al no estar expuesto así a los factores ambientales que podrían propiciar problemas como la corrosión, la cual podría desencadenar fisuración del concreto por el cambio volumétrico llegando así a dañar también el concreto de la estructura [11]. Entonces, la combinación del concreto y el acero muestra buena compatibilidad puesto que son complementarios para que la estructura a realizar trabaje óptimamente.

Concreto

El concreto es material resultante del fraguado de la mezcla de cemento hidráulico (como el Portland), agregado fino, agregado grueso y agua con o sin aditivos [12]. La pasta también contiene aire atrapado o incluido intencionalmente según sea requerido por diferentes factores, la calidad de la pasta es esencial para la calidad del concreto pues depende de ella, ya que las partículas de los agregados y los espacios entre ellos se encuentran cubiertas con pasta [13], funcionando como el aglomerante y siendo así la estructura básica o matriz que aglutina a los demás componentes del concreto.

Cemento Portland

Es el producto resultado del calentamiento de piedra caliza y arcillas hasta resultar en clinker para pasar a ser pulverizado y añadir sulfato de calcio. La adición admitida de otros productos para seguir siendo denominado cemento Portland, no debe exceder el 1% en peso total y a su vez es necesario no afecte las propiedades del cemento resultante, siempre considerando que los productos adicionados deben ser pulverizados juntamente con el clinker [12].

Existen variedad de tipos de cemento Portland, los cuales según la ASTM C 150 [14], se clasifican en cinco tipos. En su proceso de fabricación intervienen casi los mismos materiales básicos, variando en dosificaciones para así obtengan ciertas propiedades.

TABLA I
USOS DE LOS TIPOS DE CEMENTO [35]

Cemento	Uso
Tipo I	Cemento para usos generales en la construcción.
Tipo II	Cemento para usos generales, modificado que genera menor calor de hidratación a comparación del tipo I, resiste cierta exposición al ataque de los sulfatos.
Tipo III	Cemento de alta resistencia inicial y fraguado rápido que en las primeras 24 horas alcanza una resistencia aproximada al doble que la del cemento tipo I. Produce un desprendimiento de calor de hidratación muy alto.
Tipo IV	Presenta un bajo calor de hidratación en comparación al tipo III, limitan los compuestos más influyentes en la formación del calor de hidratación que a su vez aportan resistencia inicial, ganando así resistencia con lentitud.
Tipo V	Cemento de alta resistencia a la acción de los sulfatos, empleado para concretos que van a encontrarse en situación de exposición a altas concentraciones de sulfatos, para estructuras que estén en suelos en contacto con aguas freáticas o aguas residuales concentradas domésticas, su contenido de aluminato tricálcico suele estar entre 1 a 5%.

Agregados

L. Uriarte-Herrera y E. Cieza-Sánchez [13], menciona que los agregados son los materiales pétreos que se creían pasivos dentro del concreto, cuando en realidad al representar un gran porcentaje del volumen del concreto, repercutiendo en todas las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido.

Acero de refuerzo

J. Pérez [15], las refiere como varillas corrugadas de acero laminado, que constituyen la armadura del concreto previo diseño, su sección es circular y de diámetros a partir de ¼” de pulgada. El corrugado de la cabida superficial de las varillas sirven para la mejora de la adherencia con el concreto en el que es embebido el acero.

Según la NTP E.060 [12], se tienen ciertos requerimientos del acero de refuerzo para concreto armado en cuanto a la información para la orden de compra, materiales y fabricación, composición química, sobre sus corrugas o resaltes, su tracción, doblado, longitud y acabado. Consideran aceptado los lotes analizados si todos los requisitos de las muestras requeridas satisfacen los estipulado en la presente norma.

Los componentes químicos de dos de las marcas más reconocidas en Perú y otras dos presentes en el mercado peruano, indican los siguientes valores máximos en sus fichas técnicas:

TABLA II
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ACEROS DE MARCAS DISPONIBLES EN EL MERCADO PERUANO

	CEMEX	ArcelorMittal	GERDAU	ACEROS AREQUIPA
C	0.27	0.31	0.3	0.3
Mn	0.16	1.25	1.5	1.5
Si	0.44	0.22	0.5	0.5
P	0.026	0.021	0.035	0.035
S	0.16	0.024	0.045	0.045

Corrosión del acero de refuerzo

El aporte del acero de refuerzo a las estructuras de concreto armado es la capacidad de concederles resistencia a tracción y flexión, en tanto el concreto participa con la resistencia a la compresión y ya endurecido con su inercia química, siendo así el resultado de su conjunto la generación del óptimo desempeño estático y durabilidad. La corrosión es uno de los fenómenos de aparición frecuente, al causar este el deterioro prematuro de los aceros de refuerzo puede afectar el desempeño de una estructura. Aunque los buenos procesos de fabricación y la primordialidad en cuanto a la buena calidad de las estructuras de concreto le conceden una óptima vida útil al acero, reduciendo el riesgo de corrosión como consecuencia del nivel del resguardo químico y físico dispuesto por el concreto solo sucede óptimamente respecto a condiciones ambientales específicas [16]. Puesto que, la aparición de la corrosión puede verse propiciada a generar deterioro cuando se encuentra expuesta la estructura a ciertos ambientes en los con presencia de contaminantes agresivos como los cloruros y sulfatos.

Porosidad y alcalinidad del concreto

Las dos fases del concreto endurecido son la pasta y los agregados, sobre lo cual se debe tomar en cuenta, considerando a los agregados como impermeables y de una resistividad infinita, debido a su falta de capacidad conductiva, la fase más relevante desde la perspectiva electroquímica sería la pasta por su porosidad y porque en ella acontecen procesos de transporte de masa y carga [17]. Siendo justo en la porosidad de la pasta donde se observa la existencia de poros gel como resultado del aumento del gel C-S-H, poros capilares y huecos formados por la mala compactación del concreto [18].

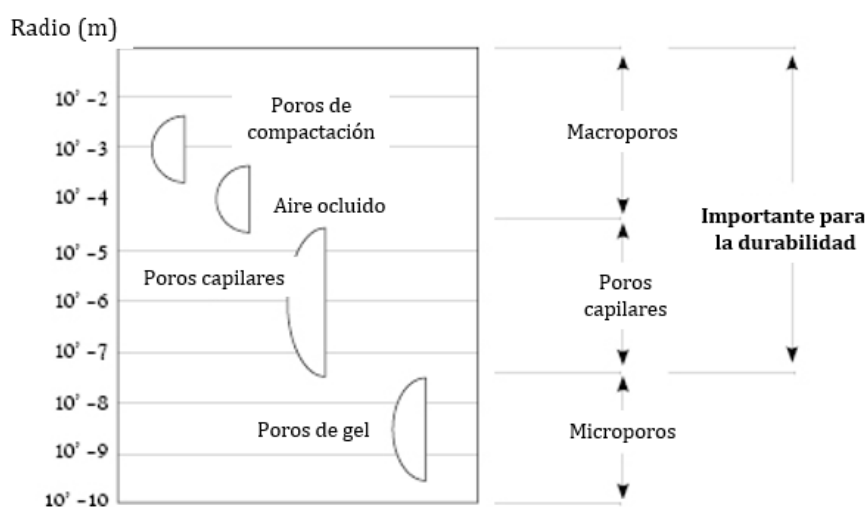


Fig. 1 Tamaño de los poros del concreto [18]

Para el efecto de la corrosión, al estar interconectado entre sí, los poros capilares son los más cruciales a examinar, justo porque el transporte de carga y masa de agentes externos se facilita por su continuidad. Estos poros se forman de los espacios que alguna vez tuvieron agua restante de la hidratación de las partículas de cemento, entonces para controlar su formación se debe diseñar variando la relación agua/material cementante considerando como base 0.24 pues es la relación agua/material cementante necesaria con el fin de la hidratación total [18]. Sin dejar de lado el requerimiento de ciertas necesidades del concreto en estado fresco para los cuales es óptimo para dosificaciones comunes es mayor, encontrándose en un rango entre 0.50 a 0.70 y por lo tanto resta cierta cantidad de agua a evaporarse formando una red de poros capilares [19].

A pesar de que la porosidad del concreto hace posible el paso de agentes externos, también protege pues en el contacto concreto-acero sucede el fenómeno de pasivación, el cual evita la propagación de la corrosión del acero de refuerzo y su estabilidad desde la perspectiva electroquímica. La alcalinidad del ambiente de la red de poros del concreto endurecido, se da sobre todo por el hidróxido de calcio (Portlandita) formado durante la hidratación de los silicatos del cemento [20].

Los hidróxidos que quedan en solución formados a partir de los álcalis solubles de la constitución química del cemento contribuyen al pH alcalino de la fase acuosa residente en los poros, llevándolos al extremo más alcalino [21].

Entonces, en reacción a la elevada alcalinidad del concreto en el cual está embebido el acero, sucede conformación de una capa de óxido de hierro en la parte superficial del acero, con valores de un rango entre 12 y 14 de pH [22].

Pasividad del acero

La corrosión del acero embebido en concreto es un fenómeno natural dado por la inestabilidad termodinámica al estar en contacto con un medio, haciéndola inevitable, por lo que nunca se detiene, aunque sí experimenta una disminución en la velocidad debido a la conformación de la capa pasiva, a lo cual se le conoce como estado pasivo o pasividad del acero que va a la par con el decrecimiento de la corriente de intercambio y a su vez del cambio hacia el sentido positivo del potencial de electrodo [11].

La película pasiva se compone de iones hidroxilo OH naturalmente adheridos a la extensión superficial del acero, siendo esta la capa pasiva inicial que actúa como barrera ante la adherencia

de las moléculas de agua sobre su cabida y modifica la reacción anódica de la corrosión al impedir descarga de iones ferrosos, dicha capa al llegar a oxidarse, conforma productos no solubles de continuidad muy limitada sirviendo de protectores de la superficie de acero como lo son la magnetita (Fe_3O_4) y maghemita ($\gamma - Fe_2O_3$) [23].

Entonces, debido al resguardo brindado por la película pasiva al acero, se vuelve sencillo la razón del porqué antes el concreto reforzado era considerado como un material con vida ilimitada. No obstante, alrededor del año 1950, se percataron de que los hechos mecánicos no eran los causantes de la mayoría de los inconvenientes con la durabilidad de las estructuras de concreto reforzado, sino que su causa iba más relacionada con el la corrosión de los aceros de la armadura, la cual desencadena el debilitamiento estructural pues sucede la pérdida de la capacidad de carga, al romperse la capa pasiva y proceder a acumularse los precipitados de la corrosión en la interacción del acero con el concreto [11].

Ruptura de la pasividad

El ingreso de CO_2 y de iones cloruro por los poros del concreto provoca el daño por corrosión. Por lo cual, cualquier fenómeno físico que pueda aumentar la porosidad del concreto como el daño por congelamiento o reacciones químicas de ataque por sulfatos o álcali-agregado, son capaces de llegar a producir agrietamiento del concreto, aumentando la permeabilidad y dejando así más fácil el paso de agentes nocivos que pueden afectar la capa pasiva, llegando mediante mecanismos como:

Carbonatación del concreto

Es un proceso químico donde el CO_2 atmosférico accede y se propaga en cavidad de los poros capilares del concreto, estando allí, se acopla con el agua evaporable contenida en los poros formando así ácido carbónico H_2CO_3 que reacciona formando carbonatos junto a los hidróxidos alcalinos de potasio, sodio y especialmente con el de calcio pues se encuentra en mayor concentración a comparación de los otros, siendo la reacción con esta última descrita simplificada de la siguiente manera [24]:



Dicha reacción es prácticamente instantánea, pues solo hace falta la coexistencia de los dos reactantes en solución para obtener de su reacción la formación del carbonato de calcio.

La consecuencia más relevante de la carbonatación es el descenso del pH alcalino correspondiente a la fase acuosa presente en los poros del concreto, siendo una disminución del pH 12.5 promedio hasta valores cercanos a 8.5 para las zonas completamente carbonatadas [25].

Entonces, al llegar la carbonatación hasta el acero de refuerzo, se ocasiona el desarrollo uniforme de la corrosión pues se destruye la capa pasiva o protectora a causa del aumento de la solubilidad de sus óxidos y oxihidróxidos relacionado con la disminución de pH de la solución circundante [26].

Corrosión inducida por cloruros

Según [27], la causa dominante del deterioro del acero embebido en concreto es la intervención presente de cloruros. Los iones cloruros tienen la capacidad de llegar a inducir corrosión del acero embebido en concreto, debido al rompimiento localizado de la película protectora del acero. La procedencia de los iones cloruros puede ser de sales de deshielo, brisa marina o hasta pueden provenir de los agregados a utilizar para la elaboración del concreto [28].

El mecanismo por medio del que el acero en presencia de cloruros se corroe, conforme a la teoría de la adsorción, se indica la ruptura de la película protectora debido a la adhesión competitiva de los iones cloro e hidróxidos, esto se refiere a que los hidróxidos son expulsados de la extensión de la capa protectora y apartados por los iones Cl⁻, lo anterior ocurre en emplazamientos positivos, es decir sucede una adsorción localizada [29]. El proceso de rompimiento de la película pasiva se puede separar en 3 fases, las cuales son adsorción del ion cloro en la capa de óxidos, penetración del cloruro en el óxido y formación de complejos con el ion agresivo.

Además, al exponerse el concreto a medios con presencia de cloruros, estos se pueden unir químicamente al aluminato tricálcico del cemento formando cloro aluminato cálcico, también conocido como “Sal de Friedel”, así se inmoviliza los cloruros que se difundan en el concreto, sin embargo la formación de este producto propicia la disminución del pH del concreto [22].

Daño por corrosión

Se deriva de la disolución de la película pasiva en las zonas con corrosión activa, pues es allí donde se vuelven inestables los óxidos y oxihidróxidos de hierro [30].

Los poros llegan a saturarse en consecuencia del incremento de concentración de las especies solubles de hierro, formando así productos insolubles que al principio rellenan los poros de la superficie de interacción acero-concreto, para seguirse acumulando en la periferia de los aceros embebidos, el volumen que ocupan los productos de la corrosión o precipitados, cuando exceden el volumen que inicialmente ocupaba la varilla de refuerzo, el concreto ya no es capaz de absorber los esfuerzos internos de tal acumulación, agrietando y desprendiéndose así el concreto que recubría los aceros [31].

Los productos de corrosión son de naturaleza compleja y evolutiva por la variación de factores como el contenido de humedad y la concurrencia de oxígenos, aunque por lo general se considera compuestos por óxidos, oxihidróxidos de hierro, hidróxidos y especies hidratadas como la ferrihidrita ($5FeO_3 + 9HO_2$), en presencia de cloruros particularmente se ha detectado la existencia de akaganeita ($\beta - Fe^{3+}O(OHCl)$). Además, es importante saber que son conocidos como herrumbre (rust), estos crecen a modo de hojas, considerándose multicapa y, son de naturaleza no adherente, son porosos y cuentan con diversas cualidades como expansibilidad y solubilidad [32].

El agrietamiento y desprendimiento del concreto del recubrimiento del acero embebido son considerados daños por corrosión, aunque existe daño en las estructuras desde antes de presentar grietas, pues ya ocurrida la despasivación de la extensión superficial del acero se pierde facultad adherente en el sistema acero-concreto por el acto simultáneo de la disminución de la sección del acero y la acumulación de productos de corrosión [33].

Al perderse la adherencia del sistema se ocasiona el debilitamiento mecánico de las estructuras de concreto reforzado incluso antes de ser visibles las grietas, eflorescencias, manchas rojizas por la propagación hacia el exterior del concreto, por lo tanto, detectar el daño a tiempo es realmente importante para poder tomar medidas cautelares [11].

Tipos de corrosión según su morfología

La forma general de clasificar las categorías de tipos de corrosión es en corrosión generalizada, localizada, combinada con un fenómeno físico y otros tipos. Sin embargo, al encontrarse activa la corrosión cuando se trata de referirse a ellas según su morfología se tiene la corrosión generalizada y la localizada [34].

Corrosión generalizada (uniforme)

El deterioro se da sobre la totalidad de la superficie o una extensión homogénea considerable de ella, se propicia por la existencia de impurezas y fases distintas en el metal [34].

Corrosión localizada

Esta se percibe ocurre en zonas específicas del material y ocurre mayormente por las circunstancias frente a las que se someterá en el medio al cual estará expuesto, como [34]:

- **Corrosión galvánica:** sucede cuando existe presencia de un electrolito y dos metales de distinta naturaleza unidos.
- **Corrosión por fisuras:** acontece en las hendiduras que puede presentar el material pues son zonas estrechas de menor concentración de oxígeno con respecto al resto del material.
- **Corrosión por picaduras:** sucede en zonas puntuales en las cuales se acumula mayor cantidad de agentes oxidantes ocasionando el deterioro de su película pasiva.
- **Corrosión por cavitación:** se da por el deterioro de la capa pasiva debido a burbujas de aire ocasionadas por flujos turbulentos que implosionan en el material.



Fig. 2 Inspección de corrosión del acero embebido en concreto [18]

Ambiente de exposición

El concreto armado al ser empleado en estructuras con diversos fines, por ende, se encuentra expuesto a diferentes tipos de macro y microambientes que causaran ciertos efectos de acciones físicas y químicas a considerar en el diseño estructural.

Los ambientes con mayor presencia de contaminantes suelen ser los del medio urbano industrial, debido a sus emisiones, pues hacen más posible la preponderancia del dióxido de

carbono, algunos sulfatos y nitratos, que repercuten sobre el concreto disminuyendo su pH, pudiendo llegar a generar daños en el acero. Sin embargo, el medio marino también es un medio muy recurrido que cuenta con presencia de ciertos agentes que pueden significar una amenaza a la conservación del concreto en óptimas características.

Medio Marino

La concentración aproximada de sales en solución de los océanos es de 3.5%, por lo general dichas sales se conforman del sodio, magnesio, calcio y potasio provenientes de las rocas acarreadas por los ríos hacia el mar [15]. El contenido de sales en los océanos en resumen es presentado en la Tabla II representando el porcentaje del total de sal de cada tipo y a su vez el porcentaje que representan disueltas en el agua de mar.

Las estructuras de concreto armado típicas que se encuentran en exposición a ambientes marinos pudiendo ser interna o costera son los muelles, malecones, diques, entre otros. Los procesos de corrosión en tal ambiente dependerán de las zonas de posición como lo son la atmosférica (brisa marina), el contacto con el suelo, zona de oleaje, zona sumergida y zonas profundas del mar [32].

*TABLA III
CONTENIDO DE SALES EN LOS OCÉANOS [15]*

Sales	Total 100% sal	con H ₂ O
NaCl	78%	2.700%
MgCl ₂	9.50%	0.330%
MgSO ₄	6.50%	0.230%
CaSO ₄	3.50%	0.120%
KCl	2.00%	0.070%
CaCO ₃	0.33%	0.011%
MgBr ₂ y NaBr	0.25%	0.009%
Total:	100%	3.500%

El ión agresivo cloruro existe en diversos ambientes, con presencia representativa especialmente en el medio marino y zonas de altas montaña. Siendo que para el primero, por

medio del viento se transportan las sales del agua de mar, es decir, mediante la brisa marina las estructuras ubicadas en zonas próximas al mar reciben descargas de cloruros [34].

Mediciones electroquímicas

Las áreas de corrosión eran localizadas mediante técnicas de inspección visual y sondeo implicando tener que fracturar el concreto con el uso de un martillo y no pudiendo encontrar áreas de corrosión en etapas tempranas [17].

Actualmente, el seguimiento de la corrosión del acero es realizado mediante mediciones electroquímicas como las del potencial de corrosión (E_{corr}) y la densidad de corriente de corrosión (i_{corr}). Los potenciales de corrosión están relacionados con la probabilidad o facilidad de la corrosión del acero se encuentre activa [36].

Según la ASTM C876 – 15 [36], los potenciales representan la variación del voltaje entre el metal a ensayar y un potencial estándar de un electrodo de referencia, debiendo ser estable y conocido. Además, indican un significado para el valor numérico de las mediciones de los potenciales de corrosión, teniendo en referencia al sulfato de cobre de media celda. Diversas revisiones de literatura [22] y [37], señalan el intervalo de condición de corrosión severa para las mediciones de potenciales de media celda referenciando la ASTM C876.

TABLA IV
PROBABILIDAD DE CORROSIÓN SEGÚN POTENCIAL [36]

Potenciales de corrosión mV vs Cu/CuSO ₄	
< -500	Corrosión severa
< -350	90% de probabilidad de corrosión
-350 a -200	Incertidumbre
> - 200	10% de probabilidad de corrosión

Materiales y métodos

Tipo y nivel de la investigación

Según la metodología de estudio, es una investigación experimental, debido a la manipulación de la variable independiente para así obtener resultados sobre la variable dependiente, la cual para el presente caso está asociada al deterioro del acero por un proceso electroquímico el cual se evaluará en diferentes ambientes contaminados con cloruros.

El nivel de investigación es predictivo, porque a través de la experimentación se tuvo como fin el determinar el ambiente contaminado por cloruros en el cual sucede con mayor probabilidad la corrosión.

Según el fin perseguido, es una investigación aplicada, puesto que intenta determinar el ambiente contaminado por cloruros en el cual sea más óptimo el futuro trabajo de la evaluación soluciones a problemas en el concreto producidos por la corrosión del acero.

Formulación del problema

¿Qué ambiente contaminado con cloruros al que puede estar expuesto el concreto armado puede causar mayor probabilidad de la corrosión del acero?

Hipótesis

La corrosión del acero embebido en concreto sucede con mayor facilidad al estar expuesto a agua contaminada con cloruros con periodos de secado.

Diseño para constatar la hipótesis

Mediante la investigación se realizarán mediciones de potenciales de corrosión del acero expuesto a ambientes contaminados con cloruros para luego aplicar el criterio expuesto en la ASTM C 876 y así obtener la probabilidad en la cual se encuentra ubicado la corrosión del acero de las varillas embebidas en concreto

Diagrama de flujo

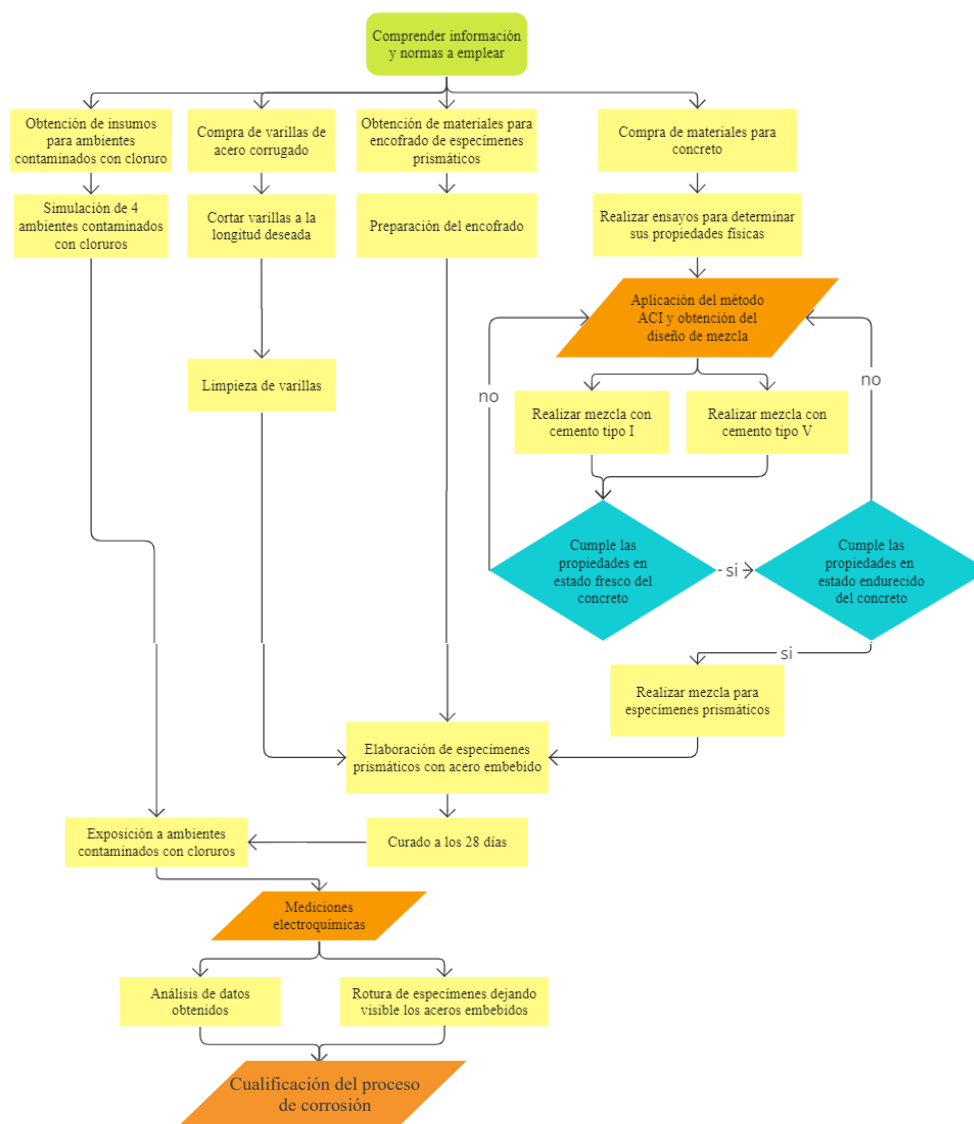


Fig. 3 Diagrama de flujo de la investigación

Población y muestra

Para la presente investigación, la población está compuesta por 144 varillas de acero corrugado de 0.20 metros de longitud, al considerarse 2 grupos de aceros, B correspondiente a dos marcas reconocidas en el mercado peruano (GERDAU y ACEROS AREQUIPA) y el A conformado por otras dos presentes en el mercado peruano (CEMEX y Arcelor Mittal) se realizarán los especímenes para cada ambiente según lo dispuesto en la TABLA V.

TABLA V
CONSIDERACIONES DE ESPECÍMENES POR CADA AMBIENTE

Tipo de cemento	Grupo de acero	N.º Espécimen	Marca de acero
Tipo I	A	1	C AM
		2	C AM
		3	C AM
	B	1	AA G
		2	AA G
		3	AA G
Tipo V	A	1	C AM
		2	C AM
		3	C AM
	B	1	AA G
		2	AA G
		3	AA G

Entonces para el total de los 6 ambientes, resultan 72 especímenes prismáticos de concreto de medidas 0.15 x 0.12 x 0.08 metros, los cuales serán expuestos a un ambiente sin exposición a contaminación de cloruros y a ambientes de simulación de medios de contacto marino, lográndose con los ambientes contaminados por cloruros como, la intemperie marina, arena contaminada con cloruros al 3.5%, agua contaminada con cloruros al 3.5%, agua de mar y agua contaminada con cloruros al 3.5% con periodos de secado. Además, para la verificación del

diseño de mezcla se contemplaron 15 testigos cilíndricos de concreto simple. Lo anterior se observa en la TABLA VI.

TABLA VI
ESPECÍMENES PARA VERIFICACIÓN DE MEZCLA

	Tiempo de curado (días)	Tipo de cemento	Grupo de acero	Marcas de acero	Muestras de acero	Especímenes de concreto
Patrón para verificar diseño de mezcla	7	Tipo I		-	-	3
	14				-	3
	28				-	3
	7	Tipo V		-	-	2
	14				-	2
	28				-	2
Total parcial para mezcla					-	15

Además, se considerará la distribución de los especímenes según lo mostrado en la TABLA VII.

TABLA VII
DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE ACEROS EN CADA AMBIENTE CONSIDERADO

Ambiente de exposición	Tiempo de curado (días)	Tipo de cemento	Grupo de acero	Marcas de acero	Muestras de acero	Especímenes de concreto
Sin exposición a ambiente contaminado	28	Tipo I	A	CEMEX	3	3
				ArcelorMittal	3	
			B	GERDAU	3	3
				ACEROS AREQUIPA	3	
	Tipo V	A	CEMEX	3	3	
			ArcelorMittal	3		
		B	GERDAU	3	3	
			ACEROS AREQUIPA	3		
Total parcial - Ambiente N°01					24	12
Expuesta a intemperie marina	28	Tipo I	A	CEMEX	3	3
				ArcelorMittal	3	
			B	GERDAU	3	3
				ACEROS AREQUIPA	3	
	Tipo V	A	CEMEX	3	3	
			ArcelorMittal	3		
		B	GERDAU	3	3	
			ACEROS AREQUIPA	3		
Total parcial - ambiente N°02					24	12

TABLA VIII
(CONTINUACIÓN) DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE ACEROS EN CADA
AMBIENTE CONSIDERADO

Expuesta a arena contaminada de NaCl al 3.5% en peso	28	Tipo I	A	CEMEX	3	3
				ArcelorMittal	3	
		B	GERDAU	3	3	
			ACEROS AREQUIPA	3		
	Tipo V	A	CEMEX	3	3	
				ArcelorMittal		3
		B	GERDAU	3	3	
			ACEROS AREQUIPA	3		
Total parcial - ambiente N°03					24	12
Expuesta a agua de mar	28	Tipo I	A	CEMEX	3	3
				ArcelorMittal	3	
		B	GERDAU	3	3	
			ACEROS AREQUIPA	3		
	Tipo V	A	CEMEX	3	3	
				ArcelorMittal		3
		B	GERDAU	3	3	
			ACEROS AREQUIPA	3		
Total parcial - ambiente N°04					24	12
Expuesta a agua contaminada de NaCl al 3.5% en peso	28	Tipo I	A	CEMEX	3	3
				ArcelorMittal	3	
		B	GERDAU	3	3	
			ACEROS AREQUIPA	3		
	Tipo V	A	CEMEX	3	3	
				ArcelorMittal		3
		B	GERDAU	3	3	
			ACEROS AREQUIPA	3		
Total parcial - Ambiente N°05					24	12
Expuesta a agua contaminada de NaCl al 3.5% en peso con periodos de secado	28	Tipo I	A	CEMEX	3	3
				ArcelorMittal	3	
		B	GERDAU	3	3	
			ACEROS AREQUIPA	3		
	Tipo V	A	CEMEX	3	3	
				ArcelorMittal		3
		B	GERDAU	3	3	
			ACEROS AREQUIPA	3		
Total parcial - Ambiente N°06					24	12
TOTAL DE MUESTRAS					144	72

Operacionalización de variable

El objeto de estudio es el acero embebido en concreto., las variables independientes son los ambientes contaminados con cloruros y la variable dependiente de la investigación es la corrosión del acero embebido en concreto.

Matriz de consistencia (Anexo 1)

Tablas de operacionalización de variables

TABLA IX
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES - VARIABLE INDEPENDIENTE

Variable independiente	Indicador	Medición
	Intemperie marina	Presencia o ausencia
	Contaminación de NaCl en arena al 3.5% en peso	Presencia o ausencia
Ambientes contaminados con cloruros	Contaminación de NaCl en agua al 3.5% en peso	Presencia o ausencia
	Contaminación presente en el agua de mar	Presencia o ausencia
	Contaminación de NaCl en agua al 3.5% en peso con periodos de secado	Presencia o ausencia

TABLA X
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES - VARIABLE DEPENDIENTE

Variable dependiente	Indicador	Unidad de medida	Método de medición
	Potencial de corrosión	mV	ASTM C-876
Corrosión del acero embebido en concreto	Indicios de corrosión		Inspección visual
	Adherencia aparente		Inspección visual
	Área de corrosión		Inspección visual

TABLA XI
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES - VARIABLE INTERVINIENTE

Variable interviniente	Valor
Tipo de cemento	Tipo I y V
Resistencia a la compresión del concreto	175 kg/cm ²
Tiempo de curado	28 días
Frecuencia de mediciones electroquímicas	28 mediciones cada 5 días
Diámetro del acero	3/8"
Marcas de acero	Aceros Arequipa, GERDAU, ArcelorMittal y CEMEX

Técnica e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Experimentos: Se tomó las mediciones electroquímicas al acero embebido en concreto cada 5 días durante 28 ciclos para así cerciorarse de obtener variaciones de los valores iniciales significativos para proceder con la rotura de los especímenes en la cual se pudo evidenciar visualmente la producción de productos de corrosión.

Análisis de datos: Se comprendió e interpretó variadas fuentes bibliográficas en las cuales se basó el desarrollo de este informe de investigación como las NTP, el RNE, artículos de investigación y tesis de pregrado relacionadas con el objeto de estudio y variables.

Instrumentos de recolección de datos

Ensayos de laboratorio

Con respecto a la determinación de la dosificación a utilizar para el concreto en el cual se encuentra embebido el acero, se realizó el análisis a los agregados que fueron empleados en la elaboración del concreto, llevándose a cabo los siguientes ensayos:

A. Análisis granulométrico de agregado fino y agregado grueso

Se determinó la distribución según el tamaño de las partículas de los agregados, haciendo uso de tamices que van dispuestos los de mayor abertura en la parte superior y en la parte inferior de la pila de tamices los de menor abertura.

Instrumentos requeridos:

- Tazones
- Brocha
- Cucharones
- Tamices de aberturas dentro del rango de los 3" a N°200.
- Balanza

El procedimiento seguido para agregados finos y gruesos fue el descrito a continuación [38]:

a. Análisis Granulométrico del agregado fino:

- Se secó totalmente el agregado fino.
- Se seleccionó una muestra representativa.
- Se tamizó el material pasándolo por la siguiente serie de tamices: 3/8", N°4, N°8, N, N°16, N°50, N°100 y N°200. Al término del zarandeo el peso retenido en cada tamiz se pesó y anotó.



Fig. 4 Análisis Granulométrico del agregado fino

- Se realizaron los cálculos necesarios para determinar el porcentaje de agregado retenido acumulado y el porcentaje que pasa por cada tamiz utilizado.
- Se graficó la curva granulométrica y verificó se encuentre dentro de los parámetros de un agregado bien gradado.

b. Análisis Granulométrico del agregado grueso:

Se lleva a cabo el mismo procedimiento del análisis granulométrico del agregado fino con la diferencia que para el agregado grueso los tamices a emplear son 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N°4.



Fig. 5 Análisis Granulométrico del agregado grueso

B. Contenido de humedad del agregado fino y grueso

Esta característica del agregado se calculó ocupando la siguiente fórmula:

$$P = \left(\frac{W - D}{D} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde se insertan los datos representados por:

- P: valor contenido de humedad (%)
- W: masa inicial de la muestra (g)
- D: masa de la muestra seca (g)

Materiales:

- Recipientes
- Balanza
- Horno de secado
- Cucharones
- Agregado a caracterizar.

Procedimiento:

Según la NTP 400.012 [38] para el agregado fino y grueso se siguió lo descrito a continuación:

- Se pesó el recipiente con el material en estado natural.
- Se colocó al horno por 24 horas a una temperatura constante alrededor de 105°C y 115°C. Transcurrido el tiempo se retiró del horno para dejar enfriar y se pesó el recipiente con el material ya seco.
- Se empleó la fórmula mencionada anteriormente y así se calculó el contenido de humedad de la muestra.

C. Peso específico de masa y absorción del agregado fino

Herramientas y equipo requerido:

- Balanza
- Bandeja
- Recipientes plásticos
- Matraz (500 cm³)
- Cono de absorción y pilón
- Horno
- Pilón

Procedimiento:

- La muestra de agregado se pesó, vertió en un recipiente con agua y dejó reposar durante 24 horas.
- Se retiró el agua excedente que no fue absorbida por el agregado, se extendió el agregado en una superficie limpia expuesta a corriente de aire y luz solar.
- Una vez el material se encontró seco, se transfirió a una bandeja para posteriormente llenar en tres capas el cono de absorción, dando entre cada capa 25 golpes con el pilón.

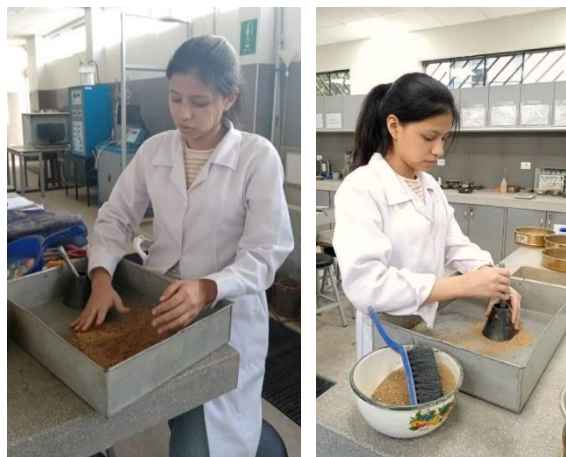


Fig. 6 Cono de absorción

- Una vez se apisonó la tercera capa, se retiró el cono quedando a no menos de $\frac{3}{4}$ partes sin derrumbar demostrando que la muestra se encontraba en estado saturada superficialmente seca.
- Ya determinado que el material se encuentra saturado con superficie seca, se tomaron 500 gramos de la muestra, se pesó el matraz vacío, se vació el agregado en él y enseguida se añadió agua destilada hasta un punto determinado, se procedió a eliminar vacíos agitando, se pesó y dejó reposando 24 horas.



Fig. 7 Peso específico de masa y absorción del agregado fino

- Transcurridas las 24 horas, se colocó solo el material en un recipiente y se llevó a secado en horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ de temperatura por 24 horas, pasado el tiempo de secado se procedió al pesaje de la muestra.

a. Peso específico de masa

Se determinó el peso específico de masa, realizando el cálculo con la siguiente fórmula:

$$PESO\ ESPECÍFICO\ DE\ MASA = \left(\frac{W_0}{V - V_0} \right) \times 100 \quad (3)$$

Donde se insertan los datos representados por:

- W_0 : Peso de muestra secada en horno
- V : Peso del volumen vaciado en el frasco volumétrico
- V_0 : Peso del volumen de agua añadido al frasco volumétrico

b. Porcentaje de absorción

Se realizaron los cálculos utilizando los datos obtenidos del ensayo de peso específico del agregado realizado con la siguiente fórmula:

$$GA = \left(\frac{PMSS - W_0}{W_0} \right) \times 100 = \% \quad (4)$$

Donde se insertaron los datos representados por:

- W_0 : Peso de muestra secada en horno
- PMSS: Peso de muestra saturada con superficie seca

D. Peso específico de masa y absorción del agregado grueso

Herramientas y equipo:

- Balanza
- Bandeja
- Canastilla
- Franela
- Horno

Procedimiento:

- La muestra de agregado se lavó para eliminar partículas finas, se pesó y sumergió en agua para luego dejarlo reposar durante 24 horas.



Fig. 8 Agregado grueso para ensayo de absorción

- Se retiró la muestra del recipiente y se le quitó el agua excedente con una franela, quedando el agregado en estado saturada y seca superficialmente, procediendo a su pesaje.



Fig. 9 Porcentaje de absorción del agregado grueso

- En una canastilla de alambre se colocó la muestra y se sumergió en agua a 21°C hasta 25°C de temperatura, se pesó determinado así el peso sumergido del agregado.



Fig. 10 Peso específico del agregado grueso

- Se llevó la muestra al horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ de temperatura por 24 horas pasado el tiempo de secado se procedió al pesaje de la muestra, se dejó enfriar y se realizó el pesaje del agregado en estado seco.

a. Peso específico de masa

Se determinó el peso específico de masa, realizando el cálculo con (3)

b. Porcentaje de absorción

Se realizaron los cálculos utilizando los datos obtenidos del ensayo realizado con (4).

E. Peso unitario suelto y compactado de los agregados

Se cuantificó estableciendo una relación entre el peso sobre el volumen de una masa de agregado que se llenó en un molde de volumen conocido, en tres capas que fueron compactadas insertando una varilla 25 veces por capa y dejando caer libremente desde cierta altura (5cm aproximadamente), finalmente se enrasó y pesó el molde con el agregado grueso seco compactado. En el caso del peso suelto, se vació agregado sin compactar en el volumen conocido.

a. Peso unitario compactado



Fig. 11 Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso



Fig. 12 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino

F. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto

Sus resultados fueron empleados como parámetro determinante en el cumplimiento de la resistencia específica requerida.

Primero se vació las probetas, siguiendo el diseño realizado por el método ACI para el concreto de 175 kg/cm² de resistencia a la compresión.

Se siguió lo indicado en la NTP 339.034 [39] sobre el ensayo:

Equipo

- Máquina de ensayo que permita una velocidad de carga sobre la probeta de 0.25±0.05 MPa/s

Muestra:

- Las probetas deben ser cilíndricas de un tamaño de 150 x 300 mm (6 x 12 pulgadas) o 100 x 200 mm (4 x 8 pulgadas). Para ensayar las probetas deben cumplir con tener un diámetro dentro del rango del cilindro del molde con hasta 2% de diferencia.

Procedimiento

- Ya verificado el slump y realizado el vaciado de las probetas, se desencofran pasando 24 horas y se procedió a dejar curando 7, 14 y 28 días para ensayarla.



Fig. 13 Vaciado de probetas de concreto

- Se taparon con tapas de almohadillas de neopreno para alcanzar una distribución uniforme al aplicarles la carga.



Fig. 14 Rotura de probetas

- Se colocaron las probetas centrándolas en la máquina de ensayo a compresión y se les cargó hasta conseguir su rotura. Se pusieron a prueba de 2 o 3 probetas cilíndricas según sus dimensiones de la misma edad para reportar el promedio de las resistencias obtenidas como el resultado de la prueba.



Fig. 15 Ensayo para la determinación de resistencia del concreto

- La resistencia a la compresión de las probetas se obtuvo al dividir la carga máxima soportada para producir fractura sobre el área de la sección promedio de la probeta ensayada dentro de los tiempos de tolerancia siguientes.

TABLA XII

TIEMPO DE TOLERANCIA PARA REALIZAR EL ENSAYO DE RESISTENCIA

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	$\pm 0,5$ h ó 2,1 %
3 d	± 2 h ó 2,8 %
7 d	± 6 h ó 3,6 %
28 d	± 20 h ó 3,0 %
90 d	± 48 h ó 2,2%

Fuente: NTP. 339.034 CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.

G. Mediciones electroquímicas de potenciales de corrosión del acero embebido en concreto

Aparatos

- Solución de saturada de sulfato de cobre.
- Media celda de sulfato de cobre consta de un recipiente de plástico, un tapón de plástico y una varilla de cobre que va inmersa en el recipiente en una solución saturada de sulfato de cobre, el extremo que se colocará sobre la superficie de concreto debe tener una esponja para que permita el contacto de la solución saturada hacia el concreto.
- Voltímetro de 3% de precisión final.
- Cables conductores eléctricos.

Procedimiento

- Primero se elaboraron los 72 especímenes a exponer para esto se vació el concreto con los aceros embebidos de la geometría propuesta para el siguiente día proceder a comenzar su periodo de curado (28 días).



Fig. 16 Vaciado de especímenes a exponer



Fig. 17 Curado de especímenes

- Pasado el curado se procedió a poner un código a cada uno de los 12 especímenes para poder identificarlos dentro del ambiente al que serán expuestos los días propuestos.

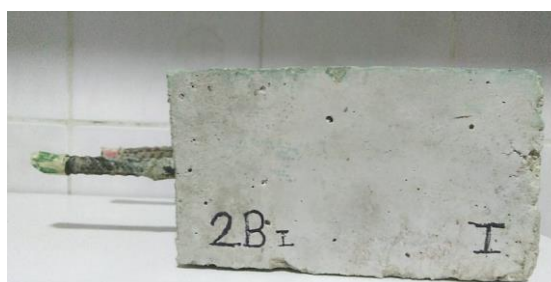


Fig. 18 Especimen con código de identificación dentro de su ambiente

- Pasado el tiempo de curado, se prepararon los 2 primeros ambientes para dar comienzo a la exposición de los especímenes seleccionados para el ambiente N°01 y N°02, el siguiente día se prepararon los ambientes para exponer los especímenes seleccionados para el ambiente N°03 y N°04 y un día después se realizó la exposición de los 2 últimos ambientes (ambiente N°05 y N°06)



Fig. 19 Exposición a ambiente N°01



Fig. 20 Exposición a ambiente N°02



Fig. 21 Exposición a ambiente N°03



Fig. 22 Exposición a ambiente N°04



Fig. 23 Exposición a ambiente N°05



Fig. 24 Exposición a ambiente N°06

- Llegado el quinto día de exposición de los especímenes se realizaron las primeras mediciones a los especímenes para esto se colocó la media celda sobre la superficie de concreto del espécimen, se conectó el terminal positivo del voltímetro al acero de refuerzo y el terminal negativo al cobre de la media celda.



Fig. 25 Medición electroquímica

- Cuando la variación en una medición prueba fluctuó más de 0.02V en 5 minutos, se pre humedecer los especímenes para disminuir la resistencia eléctrica del circuito. Se procedió a observar la medición presentada por el voltímetro y a registrar el potencial para digitarla en las tablas de datos y así poder compararlas.

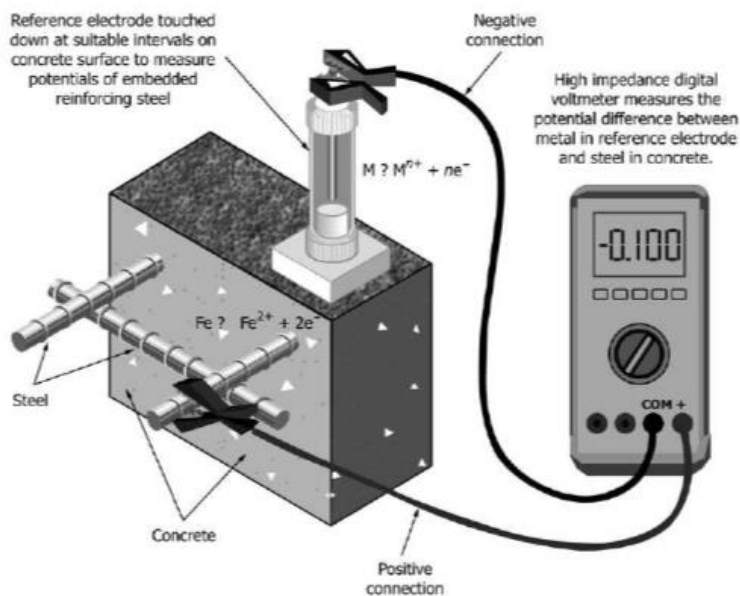


Fig. 26 Circuito de electrodo de referencia

Fuente: Tomado de [35]

H. Indicios de corrosión

Se evaluó la apariencia global del refuerzo embebido dañado por corrosión, determinándose el grado de los indicios de corrosión de los especímenes que presenten potenciales de corrosión que indiquen mayor probabilidad de corrosión de cada ambiente para así comprobar visualmente con la observación de los cambios que presenten las varillas de acero en cuanto a productos visibles de corrosión y posible pérdida de sección. Para clasificarlos según la siguiente escala:



Fig. 27 Escala de grado de presencia los indicios de corrosión

Tomado de [18]

I. Tipo de corrosión según su morfología

Para su registro se inspecciona visualmente con ayuda de un microscopio estereoscópico y se clasifica el estado de la corrosión pudiendo encontrarse sin corrosión activa (estado pasivo) o activa siendo así considerara como localizada o uniforme.



Fig. 28 Refuerzo, sin daños (izquierda) y dañado (derecha) por corrosión

Tomado de [18]

J. Adherencia aparente del sistema acero concreto

Se determinó luego de la rotura de los especímenes escogiendo el espécimen con mayor área aún con restos de pasta de concreto adherido al acero embebido como buena adherencia y en base a tal clasificar considerando los siguientes grados de evaluación.

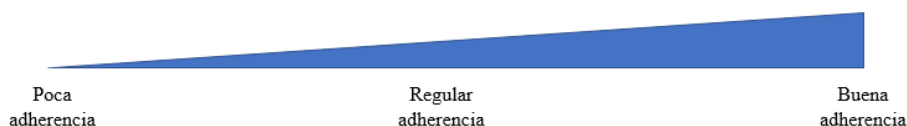


Fig. 29 Escala de evaluación de la adherencia aparente

Tomado de [18]

Resultados y discusión

A. Características de agregado fino

- *Granulometría*

Se puede observar en la TABLA XII que la granulometría del agregado fino se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la NTP 400.037 de los requisitos de los agregados para concreto, así como se ve evidenciado en su respectiva curva granulométrica del Gráfico 1.

*TABLA XIII
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO*

Malla	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acum.	% Que Pasa Acum	Especificaciones (NTP 400.037)	
1/2"	0	0	0	100	100.0	100.0
3/8"	2.23	0.2	0.2	99.8	100.0	100.0
Nº4	40.22	4.5	4.7	95.3	95.0	100.0
Nº8	87.31	9.7	14.4	85.6	80.0	100.0
Nº16	130.44	14.5	28.9	71.1	50.0	85.0
Nº30	171.74	19.1	48.0	52.0	25.0	60.0
Nº50	220.36	24.5	72.4	27.6	5.0	30.0
Nº100	163.53	18.2	90.6	9.4	0.0	10.0
FONDO	84.87	9.4	100.0	0.0		
TOTAL	900.7					

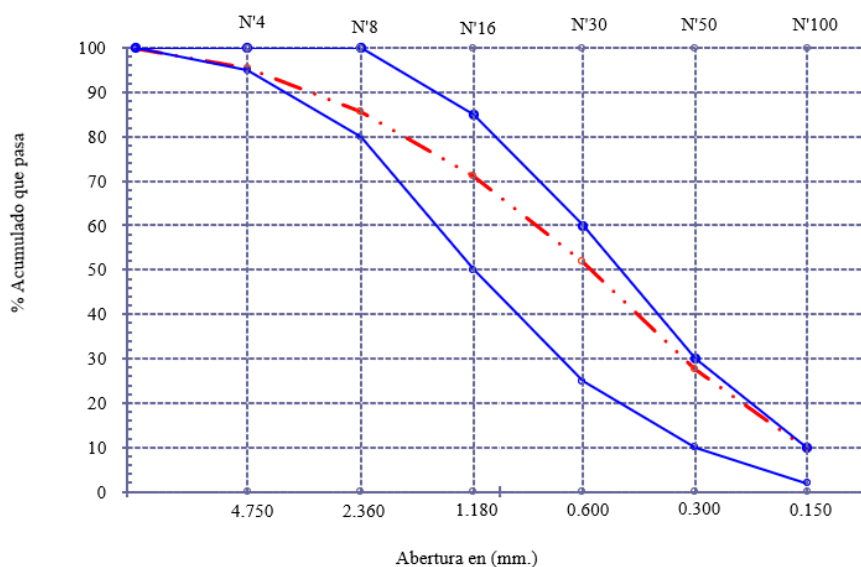


Fig. 30 Curva granulométrica del agregado fino

- **Peso específico de masa y porcentaje de absorción**

En la TABLA XIII, se recopilan los datos para el cálculo del peso específico de masa y porcentaje de absorción, los cuales resultaron 2.554 g/cm³ y 1.062% respectivamente para el agregado fino.

TABLA XIV

PESO ESPECÍFICO DE MASA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

I) DATOS

1.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca.	503.11 g
2.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso del frasco + Peso del agua.	1008.05 g
3.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso del frasco.	704.52 g
4.- Peso del Agua.	303.53 g
5.- Peso del Frasco	201.41 g
6.- Peso de la Muest. secada ahorno + Peso del frasco.	699.23 g
7.- Peso de la Muest. seca en el horno.	497.82 g
8.- Volumen del frasco.	500 cm ³

II) RESULTADOS

Peso específico de masa	$7/(8-4)$	2.554 g/cm ³
Peso esp. de masa saturado sup. seco	$7/(7-4)$	2.565 g/cm ³
Peso específico aparente	$7/((8-4)-(8-7))$	2.582 g/cm ³
Porcentaje de absorción	$((1-7)/7)*100$	1.062 %

- **Contenido de humedad**

El contenido de humedad con el que se usó del agregado fino es 0.96% .

TABLA XV

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

Agregado	Peso (g)		Contenido de humedad
	Estado natural	Seco	
Fino	2000.79	1981.85	0.96%

- **Peso unitario volumétrico seco suelto y compactado**

Los resultados obtenidos de la determinación del Peso unitario seco suelto y compactado del agregado fino se muestran en la TABLA XV.

TABLA XVI
PESO UNITARIO SECO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

I) SUELTO

Peso de la muestra húmeda	7000.00 kg
Volumen del molde	0.00548 m ³
Peso unitario suelto húmedo	1277.36 kg/m ³
- PESO UNITARIO SECO SUELTO	1265.27 kg/m³

II) COMPACTADO

Peso de la muestra húmeda	8846.00 kg
Volumen del molde	0.00548 m ³
Peso unitario suelto húmedo	1614.22 kg/m ³
- PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	1598.94 kg/m³

B. Características de agregado grueso

- **Granulometría**

Se puede observar en la TABLA XVI que la granulometría del agregado grueso se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la ASTM C-33, así como se ve evidenciado en su respectiva curva granulométrica del Gráfico 2.

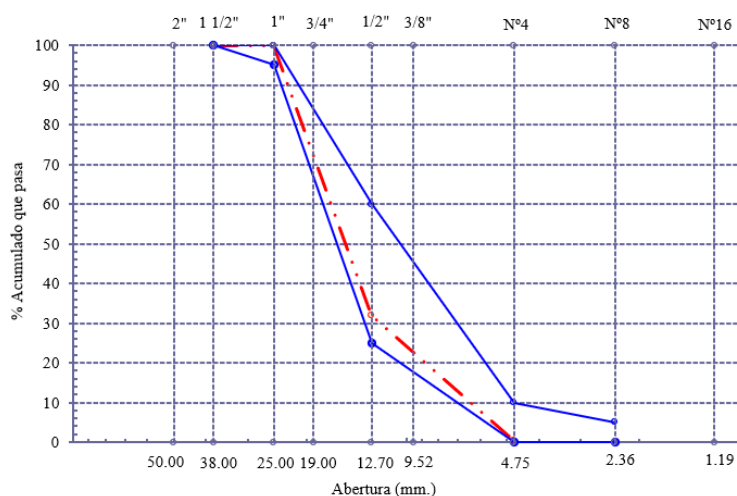


Fig. 31 Curva granulométrica del agregado grueso

TABLA XVII
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

Malla	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acum.	% Que Pasa Acum.	Especificaciones (HUSO 6)	
2"	0		0.0	100.0		
1 1/2"	0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	345.23	7.0	7.0	93.0	90.0	100.0
1/2"	3017.44	61.1	68.1	31.9	20.0	55.0
3/8"	853.59	17.3	85.4	14.6	0.0	15.0
Nº4	695.81	14.1	99.5	0.5	0.0	5.0
Nº8	15.8	0.3	99.8	0.2		
Nº16	0	0.0	99.8	0.2		
FONDO	8.13	0.2	100.0	0.0		
TOTAL	4936.0					

- *Peso específico de masa y porcentaje de absorción*

En la TABLA XVII, se recopilan los datos para el cálculo del peso específico de masa y porcentaje de absorción, los cuales resultaron 2.641 g/cm³ y 1.145% respectivamente para el agregado grueso.

TABLA XVIII
PESO ESPECÍFICO DE MASA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

I) DATOS

1.- Peso de la muestra seca al horno	2971 g
2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca	3005 g
3.- Peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	2760 g
4.- Peso de la canastilla	880 g
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	1880 g

II) RESULTADOS

Peso específico de masa	1/(2-5)	2.641 g/cm ³
Peso esp. de masa saturado sup. seco	2/(2-5)	2.672 g/cm ³
Peso específico aparente	1/(1-5)	2.724 g/cm ³
Porcentaje de absorción	((2-1)/1)*100	1.145 %

- **Contenido de humedad**

El contenido de humedad con el que se usó del agregado fino es 0.35%.

TABLA XIX
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

Agregado	Peso (g)		Contenido de humedad
	Estado natural	Seco	
Grueso	2000.95	1994.00	0.35%

- **Peso unitario volumétrico seco suelto y compactado**

Los resultados obtenidos de la determinación del Peso unitario seco suelto y compactado del agregado fino se muestran en la TABLA XIX.

TABLA XX
PESO UNITARIO SECO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO

I) SUELTO

Peso de la muestra húmeda	7686.00 kg
Volumen del molde	0.00544 m ³
Peso unitario suelto húmedo	1411.89 kg/m ³
- PESO UNITARIO SECO SUELTO	1406.99 kg/m³

II) COMPACTADO

Peso promedio de la muestra húmeda	8295.00 kg
Volumen del molde	0.00544 m ³
Peso unitario suelto húmedo	1523.76 kg/m ³
- PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	1518.47 kg/m³

C. DISEÑO DE MEZCLA

Una vez determinadas las características de los agregados a utilizar, se realizó el diseño de mezcla del concreto, para el cual se consideró un slump de 4" que les corresponderá a los especímenes a los cuales se les realizó mediciones electroquímicas. Se optó por

considerar un $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días para el diseño. Además, se tomó en cuenta los siguientes datos de los agregados:

TABLA XXI
CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

	Agregado fino	Agregado grueso
Tamaño máximo nominal	-	1/2 "
Peso específico de masa	2.534 g/cm ³	2.641 g/cm ³
Peso unitario seco suelto	1265.27 kg/m ³	1406.99 kg/m ³
Peso unitario seco compactado	1598.94 kg/m ³	1518.47 kg/m ³
Contenido de humedad	0.96 %	0.35 %
Porcentaje de absorción	1.06 %	1.14 %
Módulo de fineza	2.59	-

- **PASO 01: Determinar la resistencia requerida ($f'cr$)**

Resistencia a la compresión: $f'c \text{ diseño} = 175 \text{ kg/cm}^2$

$$f'cr = f'c + 40$$

$$f'cr = 175 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 40 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f'cr = 215 \text{ kg/cm}^2$$

- **PASO 02: Determinar el Tamaño máximo nominal del agregado grueso**

$$TMN = 1/2 "$$

- **PASO 03: Selección del asentamiento**

$$SLUMP = 4"$$

- **PASO 04: Determinación del volumen unitario de agua de diseño y aire atrapado**

TABLA XXII
DETERMINACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA [40]

SLUMP	Agua en lt/m ³ de concreto para los TMN de agregados gruesos y consistencia indicados							
1" = 25 mm	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	(9.5 mm.)	(12.5 mm.)	(19 mm)	(25 mm)	(37.5 mm)	(50 mm)	(75 mm)	(150 mm)
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
Porcentaje (%) de Aire Atrapado								
% Aire Atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Cantidad de agua: 216 lt/m³

- **PASO 05: Selección de la relación agua / cemento por resistencia y durabilidad**

TABLA XXIII
DETERMINACIÓN DE RELACIÓN A/C [40]

f 'cr a los 28 días (kg/cm ²)	C° sin aire incorporado	C° con aire incorporado
140	0.82	0.74
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	0.34
420	0.41	0.33
450	0.38	0.31

Según el f'cr = 215 kg/cm² y considerando concreto sin aire incorporado:

210 → 0.68

$$215 \rightarrow x$$

$$250 \rightarrow 0.62$$

$$\frac{x - 0.68}{215 - 210} = \frac{0.62 - 0.68}{250 - 210}$$

$$x = a/mc = 0.6725$$

- **PASO 06: DETERMINACIÓN DEL FACTOR CEMENTO (bls/m³)**

TABLA XXIV
DETERMINACIÓN DE FACTOR CEMENTO [40]

Tamaño máximo nominal del A.G.	Volumen del agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de C°, para diversos módulos de finura (b/b _o)			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8" (9.5 mm.)	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2" (12.5 mm.)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4" (19 mm.)	0.66	0.64	0.62	0.6
1" (25 mm.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2" (37.5 mm.)	0.75	0.73	0.71	0.69
2" (50.0 mm.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75.0 mm.)	0.82	0.8	0.78	0.76
6" (150 mm.)	0.87	0.85	0.83	0.81

Considerando el módulo de finura de 2.592 del agregado fino y que el tamaño máximo nominal del agregado grueso es 1/2". Se interpoló para así obtener el b/b_o y multiplicarlo por el PUSC del agregado grueso y así obtener el contenido de agregado grueso seco de la mezcla.

$$2.4 \rightarrow 0.59$$

$$2.59 \rightarrow x$$

$$2.6 \rightarrow 0.57$$

$$\frac{x - 0.59}{2.59 - 2.4} = \frac{0.57 - 0.59}{2.6 - 2.4}$$

$$x = b/b_o = 0.5708$$

$$PUSC = 1518.5 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Contenido de agregado: } b/b_o * PUSC = 866.7598 \text{ kg/m}^3$$

- **PASO 07: Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso**

- **Cemento:**

Volumen absoluto: Cantidad de agua / (a/mc) / γ_{cemento}

Volumen absoluto: 216 / 0.6725 / 3150

- **Volumen de cemento: 0.102 m³**

- **Agua:**

Volumen absoluto: Cantidad de agua / γ_{agua}

Volumen absoluto: 216/1000

- **Volumen de agua: 0.216 m³**

- **Agregado grueso:**

Volumen absoluto: Contenido de agregado grueso / $\gamma_{\text{agregado grueso}}$

Volumen absoluto: 866.7598 / 2641

- **Volumen de agregado grueso: 0.328 m³**

- **Aire atrapado:**

Volumen absoluto: 2.5/100

- **Volumen de aire: 0.025 m³**

- **Agregado fino:**

Cemento 0.102 m³

A. Fino	Vol. AF	m ³
A. Grueso	0.328	m ³
Agua	0.216	m ³
Aire	0.025	m ³
	<hr/>	
	0.671	m ³

Volumen absoluto: 1 – 0.671

- **Volumen de agregado fino: 0.329 m³**

- **PASO 08: Determinación aporte de humedad de los agregados**

Pesos húmedos:

Peso H AF: $\text{Peso AF Seco} * (1 + \%C. \text{Humedad AF})$ **847.92** kg/m³

Peso H AG: $\text{Peso AG Seco} * (1 + \%C. \text{Humedad AG})$ **869.79** kg/m³

Humedad superficial

Hum. Sup. AF: $(\% \text{Absorción AF} - \%C. \text{Humedad AF})$ **-0.10** %

Hum. Sup. AG: $(\% \text{Absorción AG} - \%C. \text{Humedad AG})$ **-0.79** %

Aporte de humedad

Aporte AF : $(\text{Peso AF Seco} * \text{Hum. Sup. AF})/100$ **-0.840** lts/m³

Aporte AG: $(\text{Peso AG Seco} * \text{Hum. Sup. AG})/100$ **-6.847** lts/m³

Agua efectiva:

(Agua de diseño + Σ Aporte Hum. de los agregados) 223.687 lts/m³

- **PASO 09: Determinación de la proporción de diseño**

Cemento : 321.190 kg/m³

A. Fino : 847.923 kg/m³

A. Grueso : 869.793 kg/m³

Agua : 223.687 lts/m³

➤ **Cemento:**

Proporción: Cantidad de cemento / Cantidad de cemento

Proporción: 321.190 / 321.190 = 1

➤ **Agregado fino:**

Proporción: Cantidad de AF / Cantidad de cemento

Proporción: $847.923 / 321.190 = 2.640$

➤ **Agregado grueso:**

Proporción: Cantidad de AG / Cantidad de cemento

Proporción: $869.793 / 321.190 = 2.708$

➤ **Agua:**

Proporción: Agua efectiva / Factor cemento

- Factor cemento: $321.190 / 42.5 = 7.557$

Proporción: $223.687 / 7.557 = 29.6$

Proporción de diseño → 1 : 2.640 : 2.708 : 29.6 lt

D. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

En la TABLA XXIV, se observan los resultados de la resistencia a la compresión de los 6 testigos de 15 x 30 cm a las edades correspondientes.

*TABLA XXV
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS EDAD - TIPO V*

TIPO V			
Día	Toma 1 (kg/cm²)	Toma 2 (kg/cm²)	Resistencia (kg/cm²)
0	-	-	0
7	173	184.8	178.9
14	205.5	188.0	196.8
28	246.0	242.2	244.1

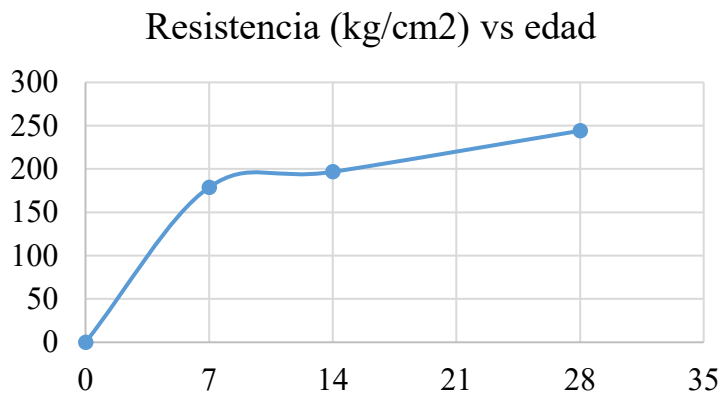


Fig. 32 Resistencia a la compresión vs edad de mezcla con cemento TIPO V

En la TABLA XXV, se observan los resultados de la resistencia a la compresión de los 9 testigos de 10 x 20 cm a las edades correspondientes de las probetas elaboradas con cemento tipo I.

*TABLA XXVI
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS EDAD - TIPO I*

TIPO I				
Día	Toma 1 (kg/cm²)	Toma 2 (kg/cm²)	Toma 3 (kg/cm²)	Resistencia (kg/cm²)
0	-	-	-	0
7	197.4	226.6	226.1	216.7
14	212.4	226.9	224.6	221.3
28	247.5	249.8	243.8	247.0

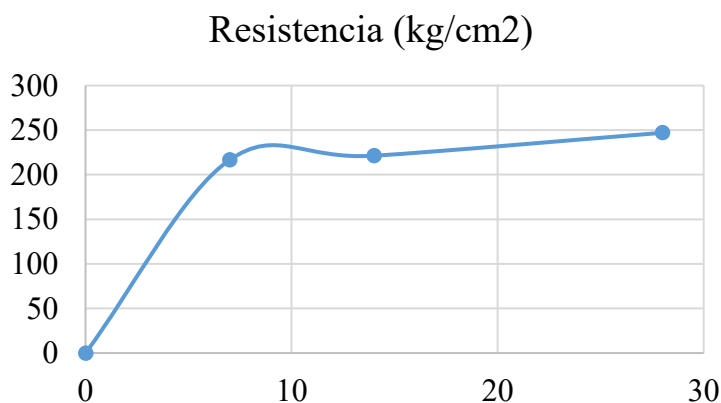


Fig. 33 Resistencia a la compresión vs edad de mezcla con cemento TIPO I

E. MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS

Los indicadores del potencial de corrosión corresponden a las mediciones electroquímicas tomadas cada 5 días durante el total de 140 días, de los aceros embebidos en los especímenes de cemento tipo I y tipo V, expuestos a su respectivo ambiente.

- **Ambiente 01 – Sin exposición a ambiente contaminado**

TABLA XXVII
RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO I - AMBIENTE 01

Medición (mV vs Cu/CuSO4)	Especímen		Tiempo de exposición (días)																												
	Grupo	Nº	Acero	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
	A	1	CEMEX	-59	-54	-48	-76	-57	-100	-125	-94	-123	-95	-176	-130	-201	-184	-143	-162	-204	-279	-225	-256	-221	-182	-207	-223	-144	-228	-169	-189
			ArcelorMittal	-52	-44	-58	-95	-77	-112	-134	-124	-81	-103	-225	-290	-148	-211	-256	-204	-261	-150	-209	-132	-173	-191	-188	-245	-276	-192	-246	-187
		2	CEMEX	-31	-46	-54	-105	-79	-113	-142	-160	-129	-83	-105	-204	-148	-195	-155	-173	-197	-168	-180	-141	-179	-164	-200	-238	-147	-175	-132	-186
			ArcelorMittal	-37	-48	-68	-102	-89	-118	-149	-138	-142	-90	-158	-172	-255	-237	-181	-167	-138	-234	-186	-81	-168	-155	-147	-219	-196	-232	-171	-186
		3	CEMEX	-49	-61	-40	-81	-64	-106	-147	-111	-154	-122	-181	-219	-277	-263	-152	-229	-136	-177	-253	-236	-195	-217	-172	-156	-211	-170	-189	-159
			ArcelorMittal	-59	-41	-63	-96	-81	-114	-157	-126	-145	-79	-204	-167	-196	-284	-140	-163	-122	-218	-245	-164	-220	-232	-256	-131	-186	-183	-157	-139
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-51	-27	-36	-79	-68	-107	-136	-124	-130	-107	-166	-283	-160	-264	-315	-306	-252	-183	-219	-140	-173	-248	-306	-259	-230	-176	-192	-276
			GERDAU	-23	-26	-58	-95	-79	-120	-143	-132	-117	-82	-159	-215	-248	-180	-256	-161	-194	-236	-201	-245	-260	-203	-182	-147	-184	-233	-161	-194
		2	ACEROS AREQUIPA	-33	-37	-46	-91	-71	-110	-162	-129	-98	-114	-175	-204	-159	-281	-333	-270	-229	-304	-373	-382	-251	-195	-246	-218	-263	-225	-186	-153
			GERDAU	-30	-35	-60	-112	-83	-126	-148	-139	-144	-106	-197	-181	-252	-304	-357	-288	-150	-203	-184	-309	-237	-274	-215	-166	-178	-278	-190	-147
		3	ACEROS AREQUIPA	-36	-67	-38	-84	-66	-105	-139	-167	-135	-171	-128	-152	-134	-197	-278	-245	-183	-217	-268	-302	-239	-206	-224	-151	-170	-272	-238	-189
			GERDAU	-55	-64	-66	-107	-88	-122	-99	-170	-141	-118	-143	-224	-199	-326	-432	-315	-259	-192	-217	-283	-258	-186	-211	-134	-269	-251	-184	-257

En la TABLA XXVI, se observa que según la ASTM C876 – 15, los potenciales de corrosión para los primeros 50 días corresponden a encontrarse dentro del 10% de probabilidad de corrosión. Desde la medición electroquímica del día 55 de exposición, se obtuvieron 2 valores menores a -200mV, pero mayores a -350mV, por lo que la probabilidad de la corrosión refiere incertidumbre en dichas mediciones. A los 75 días de exposición, surge un valor de -432 mV que indicaría probabilidad de corrosión del 90% pero al disminuir y no sostenerse, no resulta relevante.

Así se desarrollan los potenciales de corrosión hasta el día 140 de exposición y se observa mayor potencial es -139 mV correspondiendo al acero de la marca ArcelorMittal del espécimen 3A, a su vez, el menor potencial es -276 mV correspondiente al acero de la marca ACEROS AREQUIPA del espécimen 1B. Además, cabe destacar al grupo B pues es del cual en promedio se obtuvo valores de potenciales de corrosión más negativos.

En cuanto a la variación de mV entre las mediciones consecutivas, como eventos de mayor diferencia, se tiene el aumento de 144 mV y la disminución de 135 mV siendo esos el mayor rango de variación entre las mediciones resalta el porcentaje de disminución de valores es de 55.6%.

TABLA XXVIII
RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO V - AMBIENTE 01

Espécimen		Acero	Tiempo de exposición (días)																												
Grupo	Nº	Marca	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	
Medición (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-33	-61	-74	-83	-94	-107	-135	-120	-111	-158	-204	-269	-215	-387	-449	-306	-348	-457	-294	-319	-285	-237	-158	-221	-189	-124	-173	-135
			ArcelorMittal	-20	-53	-66	-87	-108	-129	-164	-143	-135	-177	-152	-221	-314	-320	-345	-237	-385	-423	-302	-293	-256	-245	-234	-293	-269	-111	-134	-157
		2	CEMEX	-30	-65	-82	-91	-100	-112	-146	-127	-118	-133	-156	-281	-228	-260	-305	-259	-293	-405	-386	-492	-381	-256	-152	-139	-166	-181	-205	-149
			ArcelorMittal	-25	-57	-72	-96	-111	-121	-158	-181	-102	-150	-244	-309	-253	-290	-362	-314	-299	-341	-425	-578	-439	-288	-197	-238	-149	-180	-208	-171
		3	CEMEX	-32	-68	-87	-95	-105	-113	-148	-151	-122	-140	-155	-174	-207	-242	-215	-180	-271	-234	-292	-203	-228	-261	-150	-192	-254	-135	-194	-194
			ArcelorMittal	-32	-61	-79	-99	-114	-130	-169	-149	-138	-156	-235	-217	-302	-254	-189	-303	-270	-296	-329	-401	-317	-252	-184	-166	-229	-115	-108	-116
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-19	-39	-57	-70	-84	-92	-159	-126	-104	-142	-201	-254	-197	-239	-195	-226	-270	-294	-258	-325	-282	-250	-233	-187	-125	-147	-123	-107
			GERDAU	-22	-36	-49	-65	-71	-82	-134	-112	-98	-123	-241	-202	-239	-184	-158	-190	-234	-203	-361	-442	-376	-297	-242	-173	-137	-126	-115	-158
		2	ACEROS AREQUIPA	-17	-41	-45	-62	-79	-85	-123	-105	-97	-118	-185	-153	-220	-256	-144	-161	-197	-245	-202	-119	-164	-182	-191	-215	-143	-126	-108	-84
			GERDAU	-43	-46	-42	-59	-68	-77	-115	-99	-85	-110	-159	-266	-145	-217	-121	-109	-138	-212	-207	-318	-179	-251	-270	-224	-152	-189	-158	-142
		3	ACEROS AREQUIPA	-28	-35	-56	-68	-73	-81	-111	-101	-93	-107	-134	-178	-152	-207	-115	-127	-206	-251	-308	-181	-203	-215	-186	-148	-113	-167	-155	-114
			GERDAU	-46	-45	-53	-67	-75	-86	-119	-106	-97	-115	-142	-198	-131	-103	-126	-174	-135	-269	-183	-218	-223	-204	-168	-246	-105	-183	-122	-132

En la TABLA XXVII, se observa que según la ASTM C876 – 15, los potenciales de corrosión para los primeros 50 días corresponden a encontrarse dentro del 10% de probabilidad de corrosión. Desde la medición electroquímica del día 55 de exposición, se obtuvieron 5 valores entre -200mV y -350mV, por lo que la probabilidad de la corrosión refiere incertidumbre en dichas mediciones. A los 75 días de exposición, surge un valor de -

387 mV que indicaría probabilidad de corrosión del 90% sosteniéndose algunos valores de dicho rango hasta la medición del día 105 para proceder a obtener valores dentro del rango de incertidumbre hasta la última medición.

Así se desarrollan los potenciales de corrosión hasta el día 140 de exposición y se observan los 3 mayores potenciales de -84, -107 y -114 mV correspondientes ACEROS AREQUIPA, a su vez, el menor potencial es -194 mV correspondiente al acero de la marca CEMEX del espécimen 3A. Además, cabe destacar al grupo A pues es del cual en promedio se obtuvo valores de potenciales de corrosión más negativos.

En cuanto a la variación de mV entre las mediciones consecutivas, como eventos de mayor diferencia, se tiene el aumento de 158 mV y la disminución de 158 mV siendo esos el mayor rango de variación entre las mediciones resalta el porcentaje de disminución de valores es de 60.2%.

- **Ambiente N°02 - Exposición a intemperie marina**

TABLA XXIX

RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO I - AMBIENTE 02

Espécimen		Acero	Tiempo de exposición (días)																												
Grupo	N°	Marca	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	
Medición (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-34	-52	-98	-66	-59	-74	-103	-85	-129	-176	-231	-148	-136	-153	-125	-157	-188	-206	-145	-169	-160	-183	-316	-249	-207	-212	-157	-157
			ArcelorMittal	-32	-54	-105	-83	-79	-90	-125	-109	-144	-142	-138	-187	-112	-139	-103	-182	-175	-169	-116	-223	-186	-170	-236	-270	-155	-257	-276	-204
		2	CEMEX	-36	-60	-103	-74	-91	-79	-157	-186	-240	-152	-105	-129	-135	-110	-110	-140	-288	-179	-206	-139	-255	-284	-177	-240	-269	-291	-182	-149
			ArcelorMittal	-47	-71	-128	-95	-86	-102	-181	-145	-208	-139	-221	-176	-144	-107	-129	-116	-323	-119	-171	-199	-201	-308	-208	-161	-229	-198	-124	-113
		3	CEMEX	-33	-47	-82	-68	-63	-98	-119	-168	-144	-214	-183	-165	-120	-137	-117	-169	-224	-143	-384	-185	-170	-219	-222	-189	-114	-259	-129	-173
			ArcelorMittal	-38	-68	-107	-92	-90	-106	-168	-157	-134	-157	-162	-214	-181	-169	-133	-205	-256	-107	-192	-257	-206	-247	-177	-206	-192	-253	-287	-164
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-28	-53	-84	-67	-63	-73	-168	-96	-145	-261	-177	-154	-190	-108	-110	-132	-194	-207	-236	-327	-293	-339	-371	-350	-279	-344	-342	-164
			GERDAU	-47	-75	-116	-92	-74	-98	-117	-153	-124	-148	-213	-185	-222	-51	-182	-96	-296	-168	-208	-175	-269	-284	-470	-370	-275	-351	-198	-198
		2	ACEROS AREQUIPA	-44	-71	-102	-89	-59	-90	-189	-107	-151	-235	-313	-202	-141	-109	-132	-163	-243	-189	-178	-196	-253	-238	-401	-250	-320	-232	-243	-179
			GERDAU	-38	-84	-125	-99	-103	-89	-110	-168	-132	-132	-169	-217	-231	-86	-208	-120	-284	-179	-237	-247	-257	-314	-447	-397	-228	-364	-310	-250
		3	ACEROS AREQUIPA	-24	-68	-111	-80	-115	-98	-122	-195	-271	-228	-186	-170	-153	-100	-96	-147	-251	-186	-269	-212	-249	-380	-386	-257	-174	-253	-240	-260
			GERDAU	-37	-57	-103	-77	-69	-84	-155	-121	-203	-287	-138	-206	-175	-161	-123	-153	-219	-158	-247	-307	-354	-234	-251	-371	-255	-383	-275	-296

En la TABLA XXVIII, se observa que según la ASTM C876 – 15, los potenciales de corrosión para los primeros 40 días corresponden a encontrarse dentro del 10% de probabilidad de corrosión. En la medición electroquímica del día 45 de exposición, se obtuvieron 4 valores menores a -200mV pero mayores a -350mV, por lo que la probabilidad de la corrosión refiere incertidumbre en dichas mediciones. De los 105 a 130 días de exposición en los aceros del grupo B, en su mayoría CEMEX, surgen valores entre -350 mV y -500 mV que indicarían probabilidad de corrosión del 90%.

Así se desarrollan los potenciales de corrosión hasta el día 140 de exposición y observan los 4 mayores potenciales de -113, -149, -157 y 164 mV correspondiendo a aceros del grupo A, a su vez, los 3 menores potenciales corresponden a aceros del grupo B, destacando pues en promedio (-225Mv) en este se obtuvo valores de potenciales de corrosión más negativos.

En cuanto a la variación de mV entre las mediciones consecutivas, como eventos de mayor diferencia, se tiene el aumento de 204 mV y la disminución de 241 mV siendo esos el mayor rango de variación entre las mediciones resalta el porcentaje de disminución de valores es de 54.9%.

TABLA XXX
RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO V - AMBIENTE 02

Especímen		Acero	Tiempo de exposición (días)																												
Grupo	N°	Marca	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	
Medición (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-54	-36	-37	-50	-76	-51	-118	-72	-81	-130	-102	-77	-146	-80	-81	-137	-185	-107	-162	-243	-140	-185	-190	-186	-261	-270	-195	-163
			ArcelorMittal	-56	-48	-69	-86	-123	-70	-94	-92	-155	-164	-102	-119	-155	-83	-92	-163	-178	-138	-219	-277	-190	-202	-234	-170	-129	-292	-231	-191
		2	CEMEX	-45	-60	-44	-47	-61	-54	-125	-162	-107	-144	-142	-95	-127	-126	-110	-144	-302	-117	-165	-141	-1112	-302	-301	-193	-169	-199	-124	-175
			ArcelorMittal	-72	-23	-30	-45	-82	-47	-13	-58	-193	-111	-134	-51	-100	-67	-85	-111	-217	-103	-168	-199	-196	-221	-247	-247	-347	-324	-188	-200
		3	CEMEX	-41	-46	-55	-64	-102	-77	-130	-83	-91	-159	-91	-64	-136	-74	-118	-159	-381	-172	-258	-193	-135	-381	-252	-276	-129	-243	-134	-133
			ArcelorMittal	-65	-25	-49	-64	-139	-81	-145	-196	-168	-209	-158	-172	-180	-143	-104	-209	-437	-149	-209	-248	-240	-437	-255	-351	-215	-294	-186	-194
B	1	ACEROS AREQUIPA	-28	-42	-63	-74	-97	-131	-102	-63	-74	-157	-91	-73	-141	-79	-132	-150	-128	-97	-130	-207	-154	-162	-170	-214	-181	-216	-164	-173	
		GERDAU	-42	-51	-82	-137	-79	-116	-163	-128	-80	-115	-127	-80	-123	-100	-107	-161	-174	-160	-237	-258	-359	-206	-393	-333	-219	-375	-235	-228	
	2	ACEROS AREQUIPA	-33	-39	-58	-102	-96	-104	-81	-79	-101	-142	-95	-58	-138	-91	-119	-148	-157	-127	-111	-158	-190	-174	-213	-175	-128	-258	-202	-112	
		GERDAU	-45	-43	-50	-55	-59	-93	-109	-147	-185	-149	-99	-187	-124	-79	-116	-149	-185	-180	-219	-187	-227	-185	-162	-263	-194	-307	-311	-169	
	3	ACEROS AREQUIPA	-31	-28	-51	-86	-135	-90	-115	-74	-114	-133	-101	-114	-103	-92	-95	-133	-125	-131	-164	-186	-132	-189	-249	-167	-208	-199	-158	-192	
		GERDAU	-47	-50	-76	-142	-128	-96	-143	-128	-105	-124	-132	-177	-111	-116	-106	-124	-133	-163	-110	-213	-278	-174	-220	-223	-160	-304	-222	-193	

En la TABLA XXIX, se observa que según la ASTM C876 – 15, los potenciales de corrosión para los primeros 45 días corresponden a encontrarse dentro del 10% de probabilidad de corrosión. En la medición electroquímica del día 50 de exposición, se obtuvo 1 valor entre -200mV y -350mV, por lo que la probabilidad de la corrosión refiere incertidumbre en dicha medición, que no vuelve a ocurrir hasta el día 80 de exposición. A los 85 y 110 días de exposición, en el grupo A, surgen -381 y -437mV que indicarían probabilidad de corrosión del 90%, relevantes comparándolos con los valores más cercanos al 0 del grupo B.

Así se desarrollan los potenciales de corrosión hasta el día 140 de exposición, observando que el promedio de cada grupo es -176 y -178 mV, para el grupo A y B correspondientemente, siendo su variación tan pequeña, tomándose en cuenta la tendencia de los potenciales a lo largo de las mediciones, el grupo A presentaría resultados más desfavorables.

En cuanto a la variación de mV entre las mediciones consecutivas, como eventos de mayor diferencia, se tiene el aumento de 288 mV y la disminución de 246 mV siendo esos el mayor rango de variación entre las mediciones resalta el porcentaje de disminución de valores es de 57.7%.

- **Ambiente N°03 - Exposición a arena contaminada con cloruro de sodio al 3.5%**

En la TABLA XXX, se observa que según la ASTM C876 – 15, los potenciales de corrosión para los primeros 40 días corresponden a encontrarse dentro del 10% de probabilidad de corrosión. En la medición electroquímica del día 45 de exposición, se obtuvo un valor entre -200mV y -350mV, por lo que la probabilidad de la corrosión refiere incertidumbre en dicha medición, abriendo camino para que a partir del día 55 de exposición surjan valores de probabilidad de corrosión del 90%, hasta la última medición. Cabe resaltar la medición de valores en el rango de corrosión severa se presentan el último día de medición (-554 y -508 mV).

TABLA XXXI
RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO I - AMBIENTE
03

Especímen		Acero		Tiempo de exposición (días)																											
Grupo	Nº	Marca	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	
Medición (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-43	-48	-94	-125	-107	-158	-120	-152	-131	-184	-222	-248	-263	-214	-238	-191	-149	-154	-183	-261	-209	-274	-158	-201	-256	-325	-474	-554
			ArcelorMittal	-34	-35	-77	-96	-78	-131	-134	-160	-125	-207	-184	-218	-297	-370	-386	-302	-361	-297	-256	-284	-173	-217	-283	-252	-308	-359	-273	-370
		2	CEMEX	-20	-46	-85	-93	-118	-135	-113	-176	-180	-235	-268	-300	-285	-269	-294	-305	-266	-317	-342	-286	-310	-259	-196	-267	-270	-193	-251	-189
			ArcelorMittal	-38	-35	-64	-82	-65	-127	-141	-154	-228	-199	-275	-249	-251	-223	-208	-255	-179	-289	-311	-297	-162	-255	-309	-344	-302	-367	-322	-246
		3	CEMEX	-25	-42	-72	-101	-89	-116	-97	-165	-148	-173	-142	-121	-169	-100	-187	-243	-288	-305	-199	-215	-136	-214	-298	-347	-385	-312	-393	-329
			ArcelorMittal	-45	-36	-60	-91	-84	-103	-119	-150	-196	-285	-369	-302	-276	-225	-160	-283	-244	-264	-320	-353	-272	-308	-291	-265	-331	-274	-329	-260
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-32	-36	-71	-102	-98	-133	-115	-174	-149	-160	-187	-212	-274	-381	-316	-288	-244	-287	-356	-405	-320	-354	-387	-303	-388	-296	-289	-245
			GERDAU	-22	-49	-62	-84	-67	-108	-129	-157	-164	-201	-256	-194	-252	-241	-283	-292	-209	-255	-320	-386	-415	-383	-361	-259	-376	-328	-240	-294
		2	ACEROS AREQUIPA	-24	-30	-68	-85	-74	-110	-67	-131	-183	-174	-220	-245	-187	-109	-205	-271	-314	-302	-363	-279	-200	-265	-199	-276	-385	-480	-394	-306
			GERDAU	-29	-37	-81	-97	-94	-83	-78	-155	-170	-222	-278	-165	-206	-117	-159	-244	-223	-279	-257	-205	-159	-202	-156	-240	-335	-277	-210	-154
		3	ACEROS AREQUIPA	-25	-33	-59	-80	-115	-121	-92	-168	-215	-386	-502	-498	-363	-280	-268	-297	-346	-366	-311	-404	-475	-421	-392	-258	-347	-413	-468	-508
			GERDAU	-35	-40	-73	-109	-134	-105	-86	-182	-159	-137	-124	-177	-190	-221	-279	-256	-227	-210	-248	-292	-168	-235	-278	-314	-258	-309	-348	-480

Así se desarrollan los potenciales de corrosión hasta el día 140 de exposición, observando que el promedio de cada grupo es -325 y -331 mV, para el grupo A y B correspondientemente, siendo su variación tan pequeña, tomándose en cuenta la tendencia de los potenciales a lo largo de las mediciones, el grupo B presentaría resultados más desfavorables.

En cuanto a la variación de mV entre las mediciones consecutivas, como eventos de mayor diferencia, se tiene el aumento de 135 mV y la disminución de 171 mV siendo esos el mayor rango de variación entre las mediciones resalta el porcentaje de disminución de valores es de 62.0%.

TABLA XXXII
RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO V - AMBIENTE 03

Medición (mV vs Cu/CuSO4)	Especímen		Tiempo de exposición (días)																													
	Grupo	Nº	Marca	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	
A	1		CEMEX	-24	-38	-57	-83	-149	-137	-128	-204	-272	-355	-290	-323	-279	-212	-305	-287	-213	-289	-324	-375	-419	-356	-384	-425	-371	-410	-484	-526	
			ArcelorMittal	-29	-33	-77	-115	-158	-161	-119	-216	-325	-259	-324	-375	-351	-328	-393	-222	-410	-355	-310	-409	-503	-527	-346	-375	-404	-369	-488	-521	
	2		CEMEX	-25	-34	-61	-85	-126	-140	-175	-198	-306	-417	-480	-453	-411	-209	-268	-386	-318	-391	-472	-408	-350	-319	-267	-346	-305	-342	-317	-261	
			ArcelorMittal	-34	-46	-82	-94	-133	-179	-206	-255	-283	-316	-232	-290	-337	-319	-291	-347	-259	-277	-226	-315	-256	-291	-382	-336	-369	-300	-357	-264	
	3		CEMEX	-29	-29	-68	-102	-150	-163	-182	-147	-291	-388	-479	-404	-466	-426	-354	-295	-348	-364	-484	-607	-731	-503	-364	-449	-385	-427	-500	-418	
			ArcelorMittal	-49	-41	-89	-120	-186	-192	-168	-234	-301	-395	-489	-361	-294	-253	-380	-355	-292	-349	-558	-431	-460	-369	-390	-358	-323	-433	-315	-260	
	B	1		ACEROS AREQUIPA	-37	-40	-63	-99	-124	-85	-167	-142	-291	-245	-178	-212	-186	-234	-301	-383	-345	-250	-147	-202	-195	-221	-332	-249	-306	-278	-313	-331
				GERDAU	-50	-59	-84	-112	-147	-118	-203	-234	-250	-219	-171	-220	-256	-321	-264	-208	-166	-387	-172	-233	-268	-293	-263	-209	-357	-296	-369	-402
		2		ACEROS AREQUIPA	-43	-47	-71	-107	-138	-159	-186	-160	-254	-382	-447	-393	-320	-277	-195	-162	-106	-273	-445	-289	-223	-258	-213	-307	-259	-342	-320	-276
				GERDAU	-62	-57	-73	-95	-122	-169	-170	-221	-298	-362	-414	-302	-273	-195	-170	-269	-151	-294	-419	-376	-350	-267	-239	-292	-318	-254	-301	-285
		3		ACEROS AREQUIPA	-22	-48	-75	-96	-113	-140	-162	-225	-286	-323	-488	-459	-431	-389	-276	-302	-355	-401	-485	-300	-206	-314	-259	-298	-233	-296	-502	-592
				GERDAU	-19	-39	-66	-80	-121	-133	-194	-187	-270	-336	-405	-427	-384	-328	-293	-344	-436	-402	-375	-321	-362	-274	-218	-255	-285	-392	-363	-290

En la TABLA XXXI, se observa que según la ASTM C876 – 15, los potenciales de corrosión para los primeros 30 días corresponden a encontrarse dentro del 10% de probabilidad de corrosión. En la medición electroquímica del día 35 de exposición, se obtuvo un valor entre -200mV y -350mV, por lo que la probabilidad de la corrosión refiere incertidumbre en dicha medición, abriendo camino para que a partir del día 50 de exposición surjan valores de probabilidad de corrosión del 90%, hasta la última medición. Cabe resaltar se presentan valores en el rango de corrosión severa el día 105, 110 y 140 de exposición coincidiendo ser todos representativos de aceros del grupo A.

Los potenciales de corrosión hasta el día 140 de exposición, observando que el promedio de cada grupo es -375 y -363 mV, para el grupo A y B correspondientemente, siendo su variación tan pequeña, tomándose en cuenta la tendencia de los potenciales a lo largo de las mediciones, el grupo A presentaría resultados más desfavorables.

En cuanto a la variación de mV entre las mediciones consecutivas, como eventos de mayor diferencia, se tiene el aumento de 228 mV y la disminución de 221 mV siendo esos el mayor rango de variación entre las mediciones resalta el porcentaje de disminución de valores es de 61.1%.

- **Ambiente N°04 - Exposición a agua de mar**

TABLA XXXIII
RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO I - AMBIENTE 04

Medición (mV vs Cu/CuSO4)	Especimen		Tiempo de exposición (días)																												
	Grupo	N°	Acero	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
	A	1	CEMEX	-23	-26	-94	-165	-112	-126	-270	-273	-309	-271	-255	-227	-187	-253	-291	-222	-374	-526	-617	-542	-469	-538	-605	-523	-596	-610	-574	-452
			ArcelorMittal	-38	-41	-136	-221	-309	-385	-427	-448	-312	-297	-226	-144	-268	-220	-175	-273	-388	-469	-527	-426	-396	-474	-580	-473	-539	-565	-518	-584
		2	CEMEX	-66	-54	-102	-180	-237	-298	-263	-234	-285	-253	-302	-269	-205	-229	-264	-278	-395	-540	-503	-482	-527	-583	-559	-519	-482	-537	-559	-566
			ArcelorMittal	-60	-44	-89	-158	-215	-190	-163	-145	-330	-294	-269	-243	-292	-276	-373	-329	-471	-536	-458	-391	-487	-603	-550	-607	-628	-604	-539	-563
		3	CEMEX	-34	-25	-81	-154	-218	-249	-163	-221	-248	-317	-269	-240	-305	-352	-307	-264	-371	-459	-422	-373	-494	-537	-615	-468	-507	-551	-483	-569
			ArcelorMittal	-41	-30	-72	-145	-214	-171	-129	-213	-271	-252	-305	-360	-349	-284	-355	-289	-350	-549	-476	-405	-474	-542	-598	-471	-546	-617	-513	-552
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-51	-55	-109	-173	-224	-197	-152	-181	-243	-317	-395	-558	-449	-405	-497	-513	-532	-468	-601	-557	-416	-649	-695	-733	-648	-584	-520	-579
			GERDAU	-62	-65	-129	-184	-253	-227	-265	-235	-217	-405	-380	-458	-407	-489	-594	-652	-590	-545	-519	-604	-573	-525	-602	-579	-613	-658	-594	-565
		2	ACEROS AREQUIPA	-70	-57	-124	-205	-166	-213	-142	-199	-265	-290	-231	-276	-304	-331	-276	-390	-486	-393	-479	-542	-584	-630	-688	-631	-659	-607	-592	-423
			GERDAU	-75	-62	-153	-186	-248	-195	-124	-240	-239	-301	-297	-354	-456	-503	-566	-601	-579	-534	-512	-456	-627	-551	-584	-602	-645	-622	-581	-537
		3	ACEROS AREQUIPA	-61	-42	-85	-157	-201	-289	-393	-254	-288	-252	-329	-397	-318	-342	-293	-358	-437	-515	-456	-438	-409	-510	-593	-706	-634	-571	-608	-545
			GERDAU	-54	-51	-117	-179	-303	-268	-241	-273	-343	-422	-368	-484	-419	-431	-318	-234	-341	-427	-498	-403	-485	-543	-576	-513	-539	-567	-685	-634

En la TABLA XXXII, se observa que según la ASTM C876 – 15, los potenciales de corrosión para los primeros 15 días corresponden a encontrarse dentro del 10% de probabilidad de corrosión. En la medición electroquímica del día 20 de exposición, se obtuvo 2 valores entre -200mV y -350mV, por lo que la probabilidad de la corrosión refiere incertidumbre en dichas mediciones, abriendo camino para que del día 30 a 120 de exposición surjan valores de probabilidad de corrosión del 90%. Cabe resaltar la medición de valores en el rango de corrosión severa inician el día 60 de exposición para el grupo B de aceros (-558mV), mientras que para el grupo A, inician el día 90 de exposición (-526, -540, -536 y -549mV).

En cuanto a la variación de mV entre las mediciones consecutivas, como eventos de mayor diferencia, se tiene el aumento de 169 mV y la disminución de 233 mV siendo esos el mayor rango de variación entre las mediciones resalta el porcentaje de disminución de valores es de 58.6%.

Así se desarrollan los potenciales de corrosión hasta el día 140 de exposición, observando que el promedio de cada grupo es -548 y -547 mV, para el grupo A y B correspondientemente, siendo su variación no tan representativa, se toma en cuenta la cantidad de potenciales menores que -500mV de cada marca de acero:

TABLA XXXIV
CANTIDAD DE POTENCIALES DE CORROSIÓN (<-500MV) - AMBIENTE 04 (TIPO I)

Marca de acero	Tiempo de exposición (días)														Total	Ranking														
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70			75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
Cantidad de mediciones (<-500mV)																														
CEMEX																		2	2	1	1	3	3	2	2	3	2	2	23	3
ArcelorMittal																		2	1			2	3	1	3	3	3	3	21	4
ACEROS AREQUIPA											1			1	1	1	1	2	1		3	3	3	3	3	3	3	2	28	2
GERDAU													1	2	2	2	2	2	2	1	2	3	3	3	3	3	3	3	35	1

Se observa de la TABLA XXXIII, la primera medición del rango indicador de corrosión severa para cada marca se da en el siguiente orden: ACEROS AREQUIPA, GERDAU, CEMEX y ArcelorMittal, aunque al evaluar los potenciales de corrosión de GERDAU en los días 60 y 65 de exposición con los de ACEROS AREQUIPA, se observa que las mediciones de GERDAU en ese periodo son potenciales de corrosión que indican 90% de probabilidad de corrosión, mientras el 50% de las mediciones de ese periodo en ACEROS AREQUIPA son potenciales de corrosión que refieren incertidumbre. Por lo que se considerará el orden como el siguiente: GERDAU, ACEROS AREQUIPA, CEMEX y ArcelorMittal.

Se hizo un recuento del total de las mediciones del rango -500mV, resultando el siguiente orden de las marcas de mayor a menor número de potenciales indicadores de corrosión severa presentan: GERDAU, ACEROS AREQUIPA, CEMEX y ArcelorMittal, por lo que se considera GERDAU presenta mayor tendencia a valores menores que -500 mV entre sus mediciones.

TABLA XXXV
RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO V - AMBIENTE
04

Especímen		Acero	Tiempo de exposición (días)																												
Grupo	N°	Marca	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	
Medición (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-36	-66	-106	-152	-198	-239	-193	-245	-248	-271	-239	-304	-299	-307	-283	-166	-259	-381	-405	-443	-536	-418	-491	-418	-518	-544	-562	-587
			ArcelorMittal	-48	-53	-117	-203	-258	-346	-288	-300	-277	-321	-315	-287	-261	-305	-356	-383	-524	-493	-372	-483	-519	-572	-490	-356	-566	-527	-525	-491
		2	CEMEX	-90	-36	-91	-175	-124	-207	-142	-170	-207	-294	-365	-413	-385	-294	-277	-168	-283	-322	-419	-495	-547	-614	-581	-447	-496	-508	-553	-541
			ArcelorMittal	-66	-66	-95	-152	-124	-211	-198	-202	-129	-183	-304	-268	-248	-317	-409	-482	-600	-561	-524	-507	-418	-486	-513	-423	-579	-550	-528	-543
		3	CEMEX	-56	-43	-112	-139	-220	-265	-332	-294	-265	-312	-378	-426	-302	-358	-319	-270	-397	-410	-468	-327	-476	-504	-495	-537	-502	-610	-631	-606
			ArcelorMittal	-44	-54	-88	-161	-135	-207	-258	-283	-305	-349	-236	-221	-194	-252	-301	-336	-498	-633	-549	-520	-596	-647	-415	-513	-562	-633	-584	-519
	B	1	ACEROS AREOLIPA	-35	-59	-84	-126	-202	-175	-264	-254	-305	-270	-233	-261	-359	-294	-268	-249	-375	-493	-446	-461	-482	-559	-605	-617	-691	-618	-577	-492
			GERDAU	-78	-50	-92	-185	-138	-210	-269	-288	-210	-322	-285	-295	-335	-498	-461	-364	-406	-467	-484	-459	-602	-644	-637	-477	-628	-595	-535	-468
		2	ACEROS AREOLIPA	-85	-60	-71	-112	-169	-137	-256	-248	-261	-297	-245	-326	-305	-266	-231	-217	-335	-449	-424	-408	-517	-455	-546	-455	-682	-605	-559	-461
			GERDAU	-27	-34	-97	-129	-246	-283	-350	-296	-215	-203	-157	-222	-257	-294	-305	-391	-484	-608	-501	-485	-549	-677	-656	-688	-569	-544	-522	-598
		3	ACEROS AREOLIPA	-25	-62	-73	-105	-194	-276	-242	-273	-259	-314	-276	-311	-327	-285	-219	-123	-248	-429	-503	-465	-504	-679	-627	-518	-645	-588	-540	-519
			GERDAU	-45	-26	-80	-134	-257	-302	-274	-259	-208	-252	-291	-236	-261	-376	-502	-472	-507	-548	-426	-373	-412	-521	-575	-528	-557	-630	-591	-627

En la TABLA XXXIV, se observa que según la ASTM C876 – 15, los potenciales de corrosión para los primeros 15 días corresponden a encontrarse dentro del 10% de probabilidad de corrosión. En la medición electroquímica del día 20 de exposición, se obtuvo el primer valor entre -200mV y -350mV, por lo que la probabilidad de la corrosión refiere incertidumbre en dicha medición. Desde el día 55 de exposición surgen valores de probabilidad de corrosión del 90%. Cabe resaltar la medición de valores en el rango de corrosión severa inician el día 75 de exposición (-502 mV).

En cuanto a la variación de mV entre las mediciones consecutivas, como eventos de mayor diferencia, se tiene el aumento de 232 mV y la disminución de 227 mV siendo esos el mayor rango de variación entre las mediciones resalta el porcentaje de disminución de valores es de 59.0%.

Así se desarrollan los potenciales de corrosión hasta el día 140 de exposición, observando que el promedio de cada grupo es -548 y -528 mV, para el grupo A y B respectivamente, siendo su variación no tan representativa, se toma en cuenta la cantidad de potenciales menores que -500mV de cada marca de acero:

TABLA XXXVI
CANTIDAD DE POTENCIALES DE CORROSIÓN (<-500MV) - AMBIENTE 04 (TIPO V)

Marca de acero	Tiempo de exposición (días)														Total	Ranking											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70			75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
Cantidad de mediciones (<-500mV)	CEMEX														17	4											
	ArcelorMittal														25	2											
	ACEROS AREQUIPA														20	3											
	GERDAU														26	1											

Se observa de la TABLA XXXV, la primera medición del rango indicador de corrosión severa para cada marca se da en el siguiente orden: GERDAU, Arcelor Mittal, ACEROS AREQUIPA y CEMEX, a pesar de ArcelorMittal presentar con 10 días pasada la presentación del primer valor menor a -500mV con respecto a los aceros de GERDAU, se compararon los promedios de sus mediciones siendo mayores los de ArcelorMittal (-291 mV < -389 mV y -355 mV < -423 mV) mereciéndose el segundo lugar de aparición.

Se hizo un recuento del total de las mediciones del rango -500mV, resultando el siguiente orden de las marcas de mayor a menor número de potenciales indicadores de corrosión severa presentan: GERDAU, Arcelor Mittal, ACEROS AREQUIPA y CEMEX, considerando a GERDAU en primer puesto a pesar de que la diferencia de cantidad de valores con su consecuente sea 1, por la misma razón por la que se le consideró primero en presentar valores menor a -500mV, explicado en el anterior párrafo, por lo que presenta mayor tendencia a valores mayores -500 mV entre sus mediciones.

- **Ambiente N°05 - Exposición a agua contaminada con 3.5% de cloruro de sodio.**

En la TABLA XXXVI, se observa que según la ASTM C876 – 15, los potenciales de corrosión para los primeros 5 días corresponden a encontrarse dentro del 10% de probabilidad de corrosión. En la medición electroquímica del día 10 de exposición, se obtuvo el primer valor entre -200mV y -350mV, por lo que la probabilidad de la corrosión refiere incertidumbre en dicha medición de acero marca ACEROS AREQUIPA del espécimen

3. Además, el día 30 de exposición surgió los primeros valores de probabilidad de corrosión del 90% (-351 y -382mV), para los grupos A y B respectivamente.

TABLA XXXVII
RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO I - AMBIENTE
05

Especímen		Acero		Tiempo de exposición (días)																											
Grupo	Nº	Marca	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	
Medición (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-55	-146	-232	-207	-215	-239	-422	-501	-425	-469	-406	-312	-325	-396	-459	-378	-487	-415	-506	-593	-718	-659	-627	-601	-563	-525	-614	-661
			ArcelorMittal	-42	-160	-259	-294	-258	-302	-479	-443	-337	-391	-430	-398	-406	-457	-482	-505	-529	-554	-485	-521	-648	-602	-659	-698	-737	-706	-685	-654
		2	CEMEX	-27	-108	-193	-242	-169	-227	-321	-313	-410	-482	-453	-488	-527	-402	-470	-384	-501	-404	-455	-528	-578	-640	-583	-617	-649	-682	-653	-616
			ArcelorMittal	-43	-152	-264	-311	-269	-185	-140	-156	-173	-305	-412	-484	-495	-516	-498	-511	-607	-580	-500	-577	-706	-635	-607	-580	-649	-728	-693	-571
		3	CEMEX	-66	-121	-207	-218	-227	-313	-345	-301	-286	-357	-402	-454	-351	-428	-375	-433	-512	-556	-512	-534	-421	-496	-564	-522	-608	-571	-519	-549
			ArcelorMittal	-74	-182	-230	-257	-305	-351	-403	-458	-216	-304	-287	-489	-529	-461	-413	-589	-544	-439	-605	-693	-781	-708	-643	-610	-674	-572	-589	-604
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-38	-123	-206	-264	-298	-257	-305	-383	-259	-308	-416	-451	-301	-367	-394	-420	-506	-455	-512	-568	-673	-620	-661	-680	-645	-619	-652	-703
			GERDAU	-40	-131	-158	-209	-254	-382	-345	-360	-318	-267	-389	-353	-376	-478	-421	-452	-389	-426	-488	-535	-626	-590	-624	-653	-602	-564	-705	-691
		2	ACEROS AREQUIPA	-44	-145	-207	-239	-304	-289	-252	-274	-347	-295	-421	-160	-192	-222	-313	-387	-458	-568	-517	-603	-691	-634	-672	-508	-537	-601	-675	-694
			GERDAU	-67	-176	-239	-196	-238	-313	-291	-310	-294	-251	-202	-173	-213	-205	-289	-345	-393	-430	-416	-492	-670	-533	-589	-565	-599	-628	-733	-796
		3	ACEROS AREQUIPA	-80	-204	-257	-228	-266	-241	-288	-365	-263	-414	-370	-272	-319	-356	-315	-394	-471	-502	-569	-581	-729	-647	-625	-590	-676	-798	-711	-803
			GERDAU	-84	-170	-245	-283	-202	-290	-327	-442	-368	-450	-401	-488	-566	-497	-403	-460	-435	-357	-431	-568	-731	-644	-605	-556	-578	-647	-692	-769

Cabe resaltar la medición de valores en el rango de corrosión severa inician el día 40 de exposición para el grupo A de aceros (-501mV), volviendo a aparecer para mantenerse en ese rango el día 65 de exposición (-527 y -529mV), mientras que para el grupo B, inician el día 65 de exposición (-566mV), volviendo a aparecer (-506mV), el día 85 de exposición observándose desde ese punto la aparición de los valores de corrosión severa en mayor medida.

En cuanto a la variación de mV entre las mediciones consecutivas, como eventos de mayor diferencia, se tiene el aumento de 261 mV y la disminución de 202 mV siendo esos el mayor rango de variación entre las mediciones resalta el porcentaje de disminución de valores es de 65.1%.

Así se desarrollan los potenciales de corrosión hasta el día 140 de exposición, observando que el promedio de cada grupo es -609 y -743 mV, para el grupo A y B respectivamente, siendo considerable su variación de 134mV, tomándose en cuenta los promedios de las tres últimas mediciones

de los potenciales, el grupo B presentaría resultados más desfavorables. Además, se toma en cuenta la cantidad de potenciales menores que -500mV de cada marca de acero:

TABLA XXXVIII
CANTIDAD DE POTENCIALES DE CORROSIÓN (<-500MV) - AMBIENTE 05 (TIPO I)

Marca de acero	Tiempo de exposición (días)																								Total	Ranking			
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120			125	130	135
Cantidad de mediciones (<-500mV)																													
CEMEX							1						1				2	1	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	32
ArcelorMittal												1	1			3	3	2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	38
ACEROS AREQUIPA																1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	33	
GERDAU												1								2	3	3	3	3	3	3	3	27	

Se observa de la TABLA XXXVII, la primera medición del rango indicador de corrosión severa para cada marca se da en el siguiente orden: CEMEX, Arcelor Mittal, GERDAU y ACEROS AREQUIPA, a pesar de que GERDAU presenta su primer valor menor a -500mV y se ausentan dichos valores en las siguientes 6 mediciones, no se consideró ACEROS AREQUIPA en tercer lugar de aparición aunque se haya dado en el periodo de ausencia mencionado se CEMEX su primera aparición, debido a la comparación de los promedios de las mediciones realizadas en CEMEX son menores en comparación a las de ACEROS AREQUIPA (-393 mV <-315 mV;-371 mV <-341 mV y -419 mV <-400 mV). Se hizo un recuento del total de las mediciones del rango -500mV, resultando el siguiente orden de las marcas de mayor a menor número de potenciales indicadores de corrosión severa presentan: ArcelorMittal, ACEROS AREQUIPA, CEMEX y GERDAU, considerando a ACEROS AREQUIPA en segundo puesto a pesar de que la diferencia de cantidad de valores con su consecuente sea 1, pues comparando los valores del días 45 al 80 de exposición, los de CEMEX el 79.2% de las mediciones tomadas en ese periodo, están dentro del rango de indicador de 90% probabilidad de corrosión, mientras el 45.8% de las mediciones en ACEROS AREQUIPA, por lo que presenta menor tendencia a valores mayores -500 mV entre sus mediciones.

TABLA XXXIX
RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO V - AMBIENTE
05

Especímen		Acero		Tiempo de exposición (días)																											
Grupo	Nº	Marca	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	
Medición (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-76	-157	-198	-242	-305	-394	-370	-438	-386	-463	-325	-379	-402	-484	-513	-441	-358	-297	-374	-462	-628	-531	-615	-546	-589	-613	-678	-636
			ArcelorMittal	-54	-146	-229	-294	-361	-437	-475	-368	-425	-334	-410	-492	-516	-591	-524	-482	-405	-367	-444	-560	-663	-597	-642	-567	-611	-534	-558	-606
		2	CEMEX	-50	-120	-176	-265	-311	-402	-379	-452	-501	-534	-582	-519	-551	-575	-607	-586	-523	-452	-528	-603	-719	-656	-687	-624	-648	-705	-687	-664
			ArcelorMittal	-72	-182	-268	-305	-372	-454	-420	-392	-466	-478	-521	-455	-497	-530	-575	-648	-612	-575	-552	-629	-713	-701	-683	-654	-591	-684	-613	-642
		3	CEMEX	-71	-184	-231	-319	-373	-438	-406	-445	-517	-556	-453	-406	-448	-462	-509	-420	-364	-425	-496	-551	-703	-625	-679	-632	-688	-559	-626	-594
			ArcelorMittal	-61	-177	-250	-214	-306	-351	-403	-377	-429	-405	-333	-274	-382	-353	-439	-494	-406	-383	-428	-505	-637	-574	-618	-550	-647	-525	-679	-606
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-48	-137	-184	-236	-288	-250	-323	-396	-445	-402	-319	-248	-326	-410	-477	-524	-562	-531	-576	-655	-658	-604	-629	-565	-597	-673	-655	-628
			GERDAU	-64	-156	-207	-294	-263	-305	-251	-249	-301	-395	-476	-397	-448	-502	-460	-501	-594	-678	-583	-510	-671	-629	-541	-473	-522	-631	-695	-603
		2	ACEROS AREQUIPA	-23	-109	-192	-218	-302	-344	-415	-487	-423	-509	-531	-487	-497	-548	-582	-491	-409	-314	-402	-489	-628	-547	-614	-566	-621	-652	-689	-643
			GERDAU	-60	-171	-215	-266	-329	-408	-487	-563	-482	-548	-602	-531	-563	-619	-540	-465	-383	-346	-435	-526	-681	-608	-620	-644	-678	-657	-526	-651
		3	ACEROS AREQUIPA	-55	-148	-225	-251	-337	-273	-402	-329	-374	-420	-398	-479	-499	-565	-602	-654	-689	-617	-690	-662	-572	-613	-586	-520	-554	-608	-574	-636
			GERDAU	-69	-186	-249	-270	-241	-324	-476	-410	-507	-459	-370	-499	-547	-476	-531	-603	-572	-506	-591	-647	-608	-679	-646	-612	-584	-665	-609	-636

En la TABLA XXXVIII, se observa que según la ASTM C876 – 15, los potenciales de corrosión para los primeros 10 días corresponden a encontrarse dentro del 10% de probabilidad de corrosión. En las mediciones electroquímicas del día 15 de exposición, se obtuvieron los primeros valores entre -200mV y -350mV, por lo que la probabilidad de la corrosión refiere incertidumbre en dichas mediciones de los aceros de los grupos A y B.

Además, el día 25 de exposición surgieron los primeros valores de probabilidad de corrosión del 90% (entre -350 mV y -500 mV), en el grupo A de acero, mientras para el grupo B, el primer valor surgió el día 30 de exposición (-408mV).

Cabe resaltar la medición de valores en el rango de corrosión severa inician el día 45 de exposición (-501y -517mV) para el grupo A de aceros, manteniéndose en ese rango las siguientes mediciones, mientras que para el grupo B, inician el día 40 de exposición (-563mV).

En cuanto a la variación de mV entre las mediciones consecutivas, como eventos de mayor diferencia, se tiene el aumento de 138 mV y la disminución de 166 mV siendo esos el mayor rango de variación entre las mediciones resalta el porcentaje de disminución de valores es de 63.9%.

Así se desarrollan los potenciales de corrosión hasta el día 140 de exposición, observando que el promedio de cada grupo es -625 y -633 mV, para el grupo A y B respectivamente, siendo su variación tan pequeña, se toma en cuenta la cantidad de potenciales menores que -500mV de cada marca de acero:

TABLA XL
CANTIDAD DE POTENCIALES DE CORROSIÓN (<-500MV) - AMBIENTE 05 (TIPO V)

Cantidad de mediciones (<-500mV)	Marca de acero	Tiempo de exposición (días)																								Total	Ranking				
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120			125	130	135	140
	CEMEX								2	2	1	1	1	1	3	1	1		1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	40	3
	ArcelorMittal										1		1	2	2	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	37	4	
	ACEROS AREQUIPA									1	1			2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	40	2	
	GERDAU								1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	45	1	

Se observa de la TABLA XXXIX, la primera medición del rango indicador de corrosión severa para cada marca se da en el siguiente orden: GERDAU, CEMEX, ACEROS AREQUIPA y Arcelor Mittal, apareciendo en la medición consecutiva en dicho orden. Se hizo un recuento del total de las mediciones del rango -500mV, resultando el siguiente orden de las marcas de mayor a menor número de potenciales indicadores de corrosión severa presentan: GERDAU, ACEROS AREQUIPA, CEMEX y ArcelorMittal, considerando a ACEROS AREQUIPA en segundo puesto a pesar de tener la misma cantidad que su consecuente, pues el periodo de aparición de potenciales indicadores de corrosión severa es más corto que su consecuente y a pesar de ello, se obtuvo la misma cantidad de mediciones, por lo que podría decirse hay menor tendencia a valores mayores -500 mV entre sus mediciones.

- **Ambiente N.º06 - Exposición a agua contaminada con 3.5% de cloruro de sodio con periodos de secado.**

En la TABLA XL, se observa que según la ASTM C876 – 15, los potenciales de corrosión para los primeros 10 días corresponden a encontrarse dentro del 10% de probabilidad de corrosión. En las mediciones electroquímicas del día 15 de exposición, se obtuvieron los primeros valores entre -200mV y -350mV, por lo que la probabilidad de la corrosión refiere incertidumbre en dichas mediciones de los aceros de los grupos A y B.

*TABLA XLI
RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO I - AMBIENTE 06*

Medición (mV vs Cu/CuSO4)	Especimen		Tiempo de exposición (días)																												
	Grupo	Nº	Acero	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
A	1	CEMEX	-78	-182	-263	-231	-274	-362	-446	-235	-495	-417	-461	-429	-518	-484	-397	-516	-622	-510	-594	-498	-406	-581	-659	-710	-611	-637	-705	-689	
		ArcelorMittal	-78	-135	-187	-226	-319	-377	-342	-392	-453	-506	-439	-514	-573	-462	-371	-426	-549	-585	-631	-563	-478	-534	-615	-692	-659	-611	-664	-640	
	2	CEMEX	-60	-149	-221	-172	-258	-345	-383	-337	-416	-364	-321	-405	-372	-433	-309	-425	-534	-611	-567	-583	-629	-688	-484	-561	-643	-624	-587	-563	
		ArcelorMittal	-50	-121	-234	-219	-274	-358	-429	-400	-463	-497	-438	-392	-333	-418	-352	-477	-583	-621	-664	-705	-678	-639	-547	-638	-745	-699	-673	-643	
	3	CEMEX	-83	-154	-275	-339	-407	-471	-413	-468	-520	-589	-432	-487	-449	-415	-337	-453	-578	-617	-709	-654	-711	-683	-713	-687	-652	-719	-755	-772	
		ArcelorMittal	-79	-162	-248	-280	-183	-262	-351	-275	-347	-424	-511	-436	-350	-445	-364	-419	-509	-597	-635	-680	-661	-628	-505	-573	-648	-674	-612	-586	
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-60	-154	-221	-254	-306	-287	-319	-222	-310	-398	-437	-483	-464	-501	-394	-479	-518	-553	-602	-567	-531	-639	-676	-715	-743	-794	-737	-782
			GERDAU	-80	-178	-252	-333	-428	-390	-357	-279	-356	-414	-511	-535	-442	-470	-385	-561	-622	-573	-549	-625	-577	-639	-714	-668	-721	-705	-649	-672
		2	ACEROS AREQUIPA	-56	-149	-225	-195	-258	-323	-404	-515	-561	-549	-474	-508	-566	-412	-328	-493	-547	-631	-682	-574	-525	-635	-670	-702	-763	-749	-721	-688
			GERDAU	-60	-121	-277	-373	-342	-401	-394	-466	-473	-422	-480	-434	-438	-527	-423	-549	-674	-597	-648	-713	-609	-611	-705	-756	-712	-768	-770	-727
		3	ACEROS AREQUIPA	-74	-193	-312	-429	-362	-394	-275	-252	-317	-403	-466	-549	-518	-485	-363	-527	-602	-646	-714	-658	-603	-660	-728	-771	-739	-685	-733	-682
			GERDAU	-57	-105	-296	-382	-411	-356	-270	-298	-349	-436	-382	-473	-556	-511	-409	-520	-638	-577	-669	-705	-576	-584	-640	-703	-629	-725	-854	-938

Además, el día 25 de exposición surgió el primer valor de probabilidad de corrosión del 90% (entre -350 mV y -500 mV), en el grupo A de acero (-407 mV), mientras para el grupo B, los primeros valores surgieron el día 20 de exposición (-254, -333, -373, -429 y -382mV).

Cabe resaltar la medición de valores en el rango de corrosión severa inician el día 45 de exposición (-520mV) para el grupo A de aceros, manteniéndose en ese rango las siguientes mediciones, mientras que para el grupo B, inician el día 40 de exposición (-515mV).

En cuanto a la variación de mV entre las mediciones consecutivas, como eventos de mayor diferencia, se tiene el aumento de 212 mV y la disminución de 260 mV siendo esos el mayor rango de variación entre las mediciones resalta el porcentaje de disminución de valores es de 63.6%.

Así se desarrollan los potenciales de corrosión hasta el día 140 de exposición, observando que el promedio de cada grupo es -649 y -748 mV, para el grupo A y B respectivamente, notando su diferencia es de 99mV, también se toma en cuenta la cantidad de potenciales menores que -500mV de cada marca de acero:

TABLA XLII
CANTIDAD DE POTENCIALES DE CORROSIÓN (<-500MV) - AMBIENTE 06 (TIPO I)

	Marca de acero	Tiempo de exposición (días)																								Total	Ranking				
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120			125	130	135	140
Cantidad de mediciones (<-500mV)	CEMEX								1	1			1			1	3	3	3	2	2	3	2	3	3	3	3	3	37	4	
	ArcelorMittal									1	1	1	1					3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	39	3	
	ACEROS AREQUIPA								1	1	1		2	2	1		1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	45	1
	GERDAU											1	1	1	2		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	44	2	

Se observa de la TABLA XLI, la primera medición del rango indicador de corrosión severa para cada marca se da en el siguiente orden: ACEROS AREQUIPA, CEMEX, ArcelorMittal y GERDAU, apareciendo en la medición consecutiva en dicho orden. Se hizo un recuento del total de las mediciones del rango -500mV, resultando el siguiente orden de las marcas de mayor a menor número de potenciales indicadores de corrosión severa presentan: ACEROS AREQUIPA, GERDAU, ArcelorMittal y CEMEX, considerando a ACEROS AREQUIPA en primer lugar aunque la diferencia de cantidad de valores con su consecuente sea 1, pues la aparición de potenciales indicadores de corrosión severa se dio 15 días antes que su consecuente el cual en ese punto aún presentaba valores de incertidumbre de corrosión, por lo que podría decirse ACEROS AREQUIPA presenta menor tendencia a valores mayores -500 mV entre sus mediciones.

TABLA XLIII
RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ACEROS EMBEBIDOS EN ESPECÍMENES DE CEMENTO TIPO V - AMBIENTE 06

Medición (mV vs Cu/CuSO4)	Especimen		Acero		Tiempo de exposición (días)																										
	Grupo	Nº	Marca	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
	A	1	CEMEX	-57	-199	-268	-306	-484	-415	-568	-704	-669	-597	-508	-462	-517	-426	-337	-403	-455	-521	-464	-542	-433	-598	-625	-704	-666	-639	-615	-624
			ArceclorMittal	-80	-138	-212	-231	-319	-425	-562	-536	-408	-362	-423	-567	-419	-365	-273	-325	-396	-439	-522	-574	-618	-587	-641	-683	-574	-655	-693	-642
		2	CEMEX	-92	-143	-220	-258	-272	-325	-406	-432	-507	-573	-529	-498	-464	-369	-278	-342	-427	-543	-504	-550	-578	-568	-601	-624	-653	-595	-569	-657
			ArceclorMittal	-86	-174	-291	-263	-305	-213	-173	-307	-439	-374	-448	-491	-522	-418	-301	-376	-453	-521	-617	-534	-629	-591	-637	-574	-552	-638	-671	-709
		3	CEMEX	-80	-167	-154	-275	-216	-248	-337	-363	-425	-514	-571	-461	-385	-402	-345	-426	-518	-569	-601	-584	-635	-659	-703	-642	-607	-631	-668	-624
			ArceclorMittal	-65	-159	-276	-304	-382	-417	-368	-395	-407	-451	-523	-442	-479	-395	-288	-339	-420	-543	-589	-631	-576	-499	-567	-621	-678	-684	-591	-648
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-89	-162	-247	-226	-279	-347	-405	-459	-526	-484	-541	-487	-345	-402	-313	-359	-405	-472	-518	-494	-457	-535	-564	-600	-578	-596	-621	-537
			GERDAU	-86	-174	-268	-342	-391	-342	-425	-470	-501	-539	-577	-552	-538	-493	-318	-392	-465	-533	-594	-531	-601	-566	-532	-573	-604	-638	-616	-569
		2	ACEROS AREQUIPA	-99	-153	-234	-288	-321	-406	-320	-390	-427	-503	-452	-529	-404	-361	-298	-364	-421	-577	-532	-506	-498	-579	-545	-576	-615	-543	-562	-588
			GERDAU	-79	-185	-259	-321	-253	-317	-360	-449	-405	-393	-472	-518	-425	-333	-296	-340	-413	-501	-479	-426	-517	-540	-521	-608	-545	-512	-497	-562
		3	ACEROS AREQUIPA	-44	-141	-216	-190	-268	-234	-289	-318	-385	-442	-529	-401	-320	-385	-310	-407	-549	-590	-622	-586	-553	-516	-598	-632	-541	-620	-574	-616
			GERDAU	-72	-116	-205	-287	-334	-299	-385	-367	-416	-478	-431	-489	-510	-428	-336	-425	-483	-524	-581	-532	-579	-557	-645	-617	-570	-608	-632	-653

En la TABLA XLII, se observa que según la ASTM C876 – 15, los potenciales de corrosión para los primeros 10 días corresponden a encontrarse dentro del 10% de probabilidad de corrosión. En las mediciones electroquímicas del día 15 de exposición, se obtuvieron los primeros valores entre -200mV y -350mV, por lo que la probabilidad de la corrosión refiere incertidumbre en dichas mediciones de los aceros de los grupos A y B.

Además, el día 25 de exposición surgieron los primeros valores de probabilidad de corrosión del 90% (entre -350 mV y -500 mV), en el grupo A de acero (--484 y 382 mV), así como también para el grupo B, el primer valor surgió el día 25 de exposición (-391mV).

Cabe resaltar la medición de valores en el rango de corrosión severa inician el día 35 de exposición (-520mV) para el grupo A de aceros, manteniéndose en ese rango las siguientes mediciones, mientras que para el grupo B, inician el día 45 de exposición (-501 y -526mV).

En cuanto a la variación de mV entre las mediciones consecutivas, como eventos de mayor diferencia, se tiene el aumento de 175 mV y la disminución de 178 mV siendo esos el mayor rango de variación entre las mediciones resalta el porcentaje de disminución de valores es de 64.2%.

Así se desarrollan los potenciales de corrosión hasta el día 140 de exposición, observando que el promedio de cada grupo es -651 y -588 mV, para el grupo A y B respectivamente, notando su diferencia es de 63mV, también se toma en cuenta la cantidad de potenciales menores que -500mV de cada marca de acero:

TABLA XLIV
CANTIDAD DE POTENCIALES DE CORROSIÓN (<-500MV) - AMBIENTE 06 (TIPO V)

	Marca de acero	Tiempo de exposición (días)																								Total	Ranking								
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120			125	130	135	140				
Cantidad de mediciones (<-500mV)	CEMEX							1	1	2	3	3		1				1	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	43	1	
	ArcelorMittal								1	1			1	1	1				2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36	3	
	ACEROS AREQUIPA										1	1	2	1					1	2	3	2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	35	4
	GERDAU											1	1	1	2	2				3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	37	2	

Se observa de la TABLA XLIII, la primera medición del rango indicador de corrosión severa para cada marca se da en el siguiente orden: CEMEX, ArcelorMittal, ACEROS AREQUIPA y GERDAU, a pesar de que en las marcas de los 2 primeros se da en el mismo día, se consideró CEMEX primero el promedio de las mediciones ese día fue más negativa con respecto a ArcelorMittal (-437mV <-368 mV) y lo mismo con las 2 últimas marcas (-390mV <-338 mV). Se hizo un recuento del total de las mediciones del rango -500mV, resultando el siguiente orden de las marcas de mayor a menor número de potenciales indicadores de corrosión severa presentan: CEMEX, GERDAU, ArcelorMittal y ACEROS AREQUIPA, considerando a GERDAU en segundo lugar aunque la diferencia de cantidad de valores con su consecuente sea 1 y la aparición del primer potencial indicador de corrosión severa de ArcelorMittal haya dado 10 días antes que su consecuente, también se tomó en cuenta que mientras GERDAU presentaba las mediciones de ese día dentro del rango de 90% de probabilidad de corrosión, ArcelorMittal presentaba una de sus tres mediciones un potencial de corrosión en el rango de 10% de probabilidad de corrosión (-173 mV).

F. INSPECCIÓN VISUAL

Se compararon las mediciones promedio del día 140 de exposición por espécimen, de los 3 ambientes con menor cantidad de valores en el rango de potenciales indicadores de corrosión severa, se escogieron 2 especímenes, 1 espécimen de cada tipo de cemento utilizado en cada uno de los 3 ambientes (Patrón, intemperie marina y Arena contaminada con NaCl al 3.5%), considerando también los 2 especímenes escogidos de cada tipo de cemento sean de diferente grupo de acero embebido.

Mientras de los 3 ambientes que presentaron mayor cantidad de valores en el rango de potenciales indicadores de corrosión severa (exposición a agua de mar, agua contaminada con NaCl al 3.5% y agua contaminada con NaCl al 3.5% con periodos de secado), para de ellos escoger los 3 especímenes hechos con cemento tipo I y 3 de tipo V que hayan presentado el día 140 de exposición los menores valores en promedio.

- **Selección de especímenes a romper para posterior inspección visual por ambiente**

TABLA XLV
PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 01
(TIPO I)

	Espécimen		Acero	Tiempo de exposición (días)	Promedio
	Grupo	Nº	Marca	140	
Medición (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-189	-188
			ArcelorMittal	-187	
		2	CEMEX	-186	-186
			ArcelorMittal	-186	
		3	CEMEX	-159	-149
			ArcelorMittal	-139	
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-276	-235
			GERDAU	-194	
		2	ACEROS AREQUIPA	-153	-150
			GERDAU	-147	
		3	ACEROS AREQUIPA	-189	-223
			GERDAU	-257	

De la TABLA XLIV para los especímenes de cemento tipo I, se escoge el espécimen 1BI.

TABLA XLVI
PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 01
(TIPO V)

	Espécimen		Acero	Tiempo de exposición (días)	Promedio	
	Grupo	Nº	Marca	140		
Medición (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-135	-146	
			ArcelorMittal	-157		
		2	CEMEX	-149		-160
			ArcelorMittal	-171		
		3	CEMEX	-194		-155
			ArcelorMittal	-116		
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-107	-133	
			GERDAU	-158		
		2	ACEROS AREQUIPA	-84		-113
			GERDAU	-142		
		3	ACEROS AREQUIPA	-114		-123
			GERDAU	-132		

De la TABLA XLV para los especímenes de cemento tipo V, se escoge el espécimen 2AV.

TABLA XLVII
PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 02
(TIPO I)

	Espécimen		Acero	Tiempo de exposición (días)	Promedio	
	Grupo	Nº	Marca	140		
Medición (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-157	-181	
			ArcelorMittal	-204		
		2	CEMEX	-149		-131
			ArcelorMittal	-113		
		3	CEMEX	-173		-169
			ArcelorMittal	-164		
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-164	-181	
			GERDAU	-198		
		2	ACEROS AREQUIPA	-179		-215
			GERDAU	-250		
		3	ACEROS AREQUIPA	-260		-278
			GERDAU	-296		

De la TABLA XLVI para los especímenes de cemento tipo I, se escoge el espécimen 3BI.

TABLA XLVIII
PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 02
(TIPO V)

	Espécimen		Acero	Tiempo de exposición (días)	Promedio
	Grupo	Nº	Marca	140	
Mediciones (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-163	-177
			ArcelorMittal	-191	
		2	CEMEX	-175	-188
			ArcelorMittal	-200	
		3	CEMEX	-133	-164
			ArcelorMittal	-194	
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-173	-201
			GERDAU	-228	
		2	ACEROS AREQUIPA	-112	-141
			GERDAU	-169	
		3	ACEROS AREQUIPA	-192	-193
			GERDAU	-193	

De la TABLA XLVII para los especímenes de cemento tipo V, se escoge el espécimen 2AV.

TABLA XLIX
PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 03
(TIPO I)

	Espécimen		Acero	Tiempo de exposición (días)	Promedio
	Grupo	Nº	Marca	140	
Medición (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-554	-462
			ArcelorMittal	-370	
		2	CEMEX	-189	-218
			ArcelorMittal	-246	
		3	CEMEX	-329	-295
			ArcelorMittal	-260	
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-245	-270
			GERDAU	-294	
		2	ACEROS AREQUIPA	-306	-230
			GERDAU	-154	
		3	ACEROS AREQUIPA	-508	-494
			GERDAU	-480	

De la TABLA XLVIII para los especímenes de cemento tipo I, se escoge el espécimen 3BI.

TABLA L
PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 03
(TIPO V)

	Espécimen		Acero	Tiempo de exposición (días)	Promedio
	Grupo	Nº	Marca	140	
Medición (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-526	-524
			ArcelorMittal	-521	
		2	CEMEX	-261	-263
			ArcelorMittal	-264	
		3	CEMEX	-418	-339
			ArcelorMittal	-260	
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-331	-367
			GERDAU	-402	
		2	ACEROS AREQUIPA	-276	-281
			GERDAU	-285	
		3	ACEROS AREQUIPA	-592	-441
			GERDAU	-290	

De la TABLA XLIX para los especímenes de cemento tipo V, se escoge el espécimen 1AV.

TABLA LI
PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 04
(TIPO I)

	Espécimen		Acero	Tiempo de exposición (días)	Promedio
	Grupo	Nº	Marca	140	
Promedio de mediciones (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-542	-563
			ArcelorMittal	-584	
		2	CEMEX	-566	-565
			ArcelorMittal	-563	
		3	CEMEX	-569	-561
			ArcelorMittal	-552	
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-579	-572
			GERDAU	-565	
		2	ACEROS AREQUIPA	-423	-480
			GERDAU	-537	
		3	ACEROS AREQUIPA	-545	-590
			GERDAU	-634	

De la TABLA L para los especímenes de cemento tipo I en exposición a agua de mar se escogieron los especímenes 2AI, 1BI y 3BI para romperlos y así poder extraer los aceros a inspeccionar bajo el microscopio estereoscópico.

TABLA LII
PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 04
(TIPO V)

	Especímen		Acero	Tiempo de exposición (días)	Promedio
	Grupo	Nº	Marca	140	
Promedio de mediciones (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-587	-539
			ArcelorMittal	-491	
		2	CEMEX	-541	-542
			ArcelorMittal	-543	
		3	CEMEX	-606	-563
			ArcelorMittal	-519	
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-492	-480
			GERDAU	-468	
		2	ACEROS AREQUIPA	-461	-530
			GERDAU	-598	
		3	ACEROS AREQUIPA	-519	-573
			GERDAU	-627	

De la TABLA LI para los especímenes de cemento tipo V en exposición a agua de mar se escogieron los especímenes 2AV, 3AV y 3BV para romperlos y así poder extraer los aceros a inspeccionar bajo el microscopio estereoscópico.

TABLA LIII
PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 04
(TIPO I)

	Especímen		Acero	Tiempo de exposición (días)	Promedio
	Grupo	Nº	Marca	140	
Promedio de mediciones (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-661	-658
			ArcelorMittal	-654	
		2	CEMEX	-616	-594
			ArcelorMittal	-571	
		3	CEMEX	-549	-577
			ArcelorMittal	-604	
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-703	-697
			GERDAU	-691	
		2	ACEROS AREQUIPA	-694	-745
			GERDAU	-796	
		3	ACEROS AREQUIPA	-803	-786
			GERDAU	-769	

De la TABLA LII para los especímenes de cemento tipo I en exposición a agua contaminada con NaCl al 3.5% se escogieron los especímenes 1AI, 2BI y 3BI para romperlos y así poder extraer los aceros a inspeccionar bajo el microscopio estereoscópico.

TABLA LIV
PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 04
(TIPO V)

	Especímen		Acero	Tiempo de exposición (días)	Promedio
	Grupo	Nº	Marca	140	
Promedio de mediciones (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-636	-621
			ArcelorMittal	-606	
		2	CEMEX	-664	-653
			ArcelorMittal	-642	
		3	CEMEX	-594	-600
			ArcelorMittal	-606	
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-628	-616
			GERDAU	-603	
		2	ACEROS AREQUIPA	-643	-647
			GERDAU	-651	
		3	ACEROS AREQUIPA	-636	-636
			GERDAU	-636	

De la TABLA LIII para los especímenes de cemento tipo V en exposición a arena contaminada con NaCl al 3.5%, se escogieron los especímenes 2AV, 2BV y 3BV para romperlos y así poder extraer los aceros a inspeccionar bajo el microscopio estereoscópico.

TABLA LV
PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 06
(TIPO I)

	Especímen		Acero	Tiempo de exposición (días)	Promedio
	Grupo	Nº	Marca	140	
Promedio de mediciones (mV vs Cu/CuSO4)	A	1	CEMEX	-689	-665
			ArcelorMittal	-640	
		2	CEMEX	-563	-603
			ArcelorMittal	-643	
		3	CEMEX	-772	-679
			ArcelorMittal	-586	
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-782	-727
			GERDAU	-672	
		2	ACEROS AREQUIPA	-688	-708
			GERDAU	-727	
		3	ACEROS AREQUIPA	-682	-810
			GERDAU	-938	

De la TABLA LIV para los especímenes de cemento tipo I en exposición a agua contaminada con NaCl al 3.5% se escogieron los especímenes 3BI, 1BI y 3AI para romperlos y así poder extraer los aceros a inspeccionar bajo el microscopio estereoscópico.

TABLA LVI
PROMEDIO DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS POR ESPÉCIMEN - AMBIENTE 06
(TIPO V)

Promedio de mediciones (mV vs Cu/CuSO4)	Especimen		Acero	Tiempo de exposición (días)	Promedio
	Grupo	Nº	Marca	140	
	A	1	CEMEX	-624	-633
			ArcelorMittal	-642	
		2	CEMEX	-657	-683
			ArcelorMittal	-709	
		3	CEMEX	-624	-636
			ArcelorMittal	-648	
	B	1	ACEROS AREQUIPA	-537	-553
			GERDAU	-569	
		2	ACEROS AREQUIPA	-588	-575
			GERDAU	-562	
		3	ACEROS AREQUIPA	-616	-635
			GERDAU	-653	

De la TABLA LV para los especímenes de cemento tipo V en exposición a arena contaminada con NaCl al 3.5%, se escogieron los especímenes 2AV, 3AV y 3BV.

- **Cualificación del proceso de corrosión**

De los especímenes escogidos a inspeccionar, primero se procedió a romperlos y así poder extraer los aceros a cualificar el proceso de corrosión que presenten bajo el microscopio estereoscópico.

TABLA LVII
CUALIFICACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN - AMBIENTE 01

Especimen	Corrosión		Adherencia aparente
	Indicios	Tipo	
1BI	Ausencia	-	Buena
2AV	Ausencia	-	Regular

TABLA LVIII
CUALIFICACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN - AMBIENTE 02

Especimen	Corrosión		Adherencia aparente
	Indicios	Tipo	
3BI	Ausencia	-	Poca
2AV	Ausencia	-	Regular

TABLA LIX
CUALIFICACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN - AMBIENTE 03

Especimen	Corrosión		Adherencia aparente
	Indicios	Tipo	
3BI	Ausencia	-	Poca
1AV	Leve	Pasivo	Poca

TABLA LX
CUALIFICACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN - AMBIENTE 04

Especimen	Corrosión		Adherencia aparente
	Indicios	Tipo	
2AI	Leve	Pasivo	Buena
1BI	Ausencia	-	Poca
3BI	Leve	Pasivo	Regular
2AV	Leve	Pasivo	Buena
3AV	Leve	Pasivo	Poca
3BV	Ausencia	-	Poca

TABLA LXI
CUALIFICACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN - AMBIENTE 05

Espécimen	Corrosión		Adherencia aparente
	Indicios	Tipo	
1AI	Leve	Pasivo	Regular
2BI	Leve	Pasivo	Buena
3BI	Leve	Pasivo	Buena
2AV	Leve	Pasivo	Regular
2BV	Ausencia	-	Regular
3BV	Leve	Pasivo	Poca

TABLA LXII
CUALIFICACIÓN DEL PROCESO DE CORROSIÓN - AMBIENTE 06

Espécimen	Corrosión		Adherencia aparente
	Indicios	Tipo	
3AI	Leve	Pasivo	Buena
1BI	Severa	Activa	Regular
3BI	Leve	Pasivo	Buena
2AV	Moderada	Activa	Poca
3AV	Leve	Pasivo	Poca
3BV	Leve	Pasivo	Poca

G. DETERMINACIÓN MARCA DE VARILLAS

La TABLA LXIII, se muestra el orden las marcas estudiadas que presentan mayor cantidad de mediciones de valores dentro del rango de potenciales indicadores de corrosión severa (menores a -500 mV vs Cu/CuSO₄) en los 3 ambientes en que se presentaron mayor cantidad de potenciales indicadores de corrosión severa (exposición a agua de mar, agua contaminada con NaCl al 3.5% y agua contaminada con NaCl al 3.5% con periodos de secado).

TABLA LXIII
RECUENTO DE ORDEN DE CANTIDAD DE POTENCIALES (<-500MV)- AMBIENTE 04, 05 Y 06

	N° Ambiente	4		5		6	
	Cemento	Tipo I	Tipo V	Tipo I	Tipo V	Tipo I	Tipo V
Orden de mayor cantidad de potenciales indicadores de corrosión severa	1ro	GERDAU	GERDAU	ArcelorMittal	GERDAU	A.A.	CEMEX
	2do	A.A.	ArcelorMittal	A.A.	A.A.	GERDAU	GERDAU
	3ro	CEMEX	A.A.	CEMEX	CEMEX	ArcelorMittal	ArcelorMittal
	4to	ArcelorMittal	CEMEX	GERDAU	ArcelorMittal	CEMEX	A.A.

De los datos presentados en las TABLAS XXXIII, XXXV, XXXVII, XXXIX, XLI y XLIII, se sacó un acumulado del número de ocasiones en el que cada marca apareció en el primer, segundo, tercer y cuarto lugar para proceder a determinar la marca que más número de veces presentó mayor cantidad de potenciales indicadores de corrosión severa (menores a -500 mV vs Cu/CuSO₄) para tomarlo en cuenta en la determinación de la marca que presenta mayor facilidad de corrosión.

TABLA LXIV
ACUMULADO DEL ORDEN DE CANTIDAD DE POTENCIALES (<-500MV)- AMBIENTE 04, 05 Y 06

	Marca de acero	GERDAU	ACEROS AREQUIPA	CEMEX	Arcelor Mittal	Ranking
Acumulado de mayor cantidad de primer medición menor a -500 mV	1ro	3	1	1	1	GERDAU
	2do	5	4	1	2	ACEROS AREQUIPA
	3ro	5	5	4	4	ArcelorMittal
	4to	6	6	6	6	CEMEX

La TABLA LXIV muestra el orden de primera medición de potenciales indicadores de corrosión severa (menores a -500 mV vs Cu/CuSO₄) para cada marca de acero estudiada en los 3 ambientes que se presentó mayor cantidad de potenciales indicadores de corrosión severa (exposición a agua de mar, agua contaminada con NaCl al 3.5% y agua contaminada con NaCl al 3.5% con periodos de secado).

TABLA LXV
RECUENTO DE ORDEN DE PRIMER POTENCIAL (<-500MV)- AMBIENTE 04, 05 Y 06

	N° Ambiente	4		5		6	
	Cemento	Tipo I	Tipo V	Tipo I	Tipo V	Tipo I	Tipo V
Orden de primera medida de potencial indicador de corrosión severa	1ro	GERDAU	GERDAU	CEMEX	GERDAU	A.A.	CEMEX
	2do	A.A.	ArcelorMittal	ArcelorMittal	CEMEX	CEMEX	ArcelorMittal
	3ro	CEMEX	A.A.	GERDAU	A.A.	ArcelorMittal	A.A.
	4to	ArcelorMittal	CEMEX	A.A.	ArcelorMittal	GERDAU	GERDAU

De los datos presentados en las TABLAS XXXIII, XXXV, XXXVII, XXXIX, XLI y XLIII, se sacó un acumulado del número de ocasiones en el que cada marca apareció en el primer, segundo, tercer y cuarto lugar para proceder a determinar la marca que más número de veces presentó primero potenciales indicadores de corrosión severa (menores a -500 mV vs Cu/CuSO₄) como la marca que presenta mayor facilidad de corrosión.

TABLA LXVI
ACUMULADO DE ORDEN DE PRIMER POTENCIAL (<-500MV)- AMBIENTE 04, 05 Y 06

Marca de acero	GERDAU	ACEROS AREQUIPA	CEMEX	Arcelor Mittal	Ranking	
Acumulado de aparición de primer medición menor a -500 mV	1ro	3	1	2	0	GERDAU
	2do	3	2	4	3	CEMEX
	3ro	4	5	5	4	ACEROS AREQUIPA
	4to	6	6	6	6	ArcelorMittal

De las TABLAS LXIII y LXV se determinó GERDAU como la marca de acero que se corroe con mayor facilidad pues presentó mayor número de cantidad de datos dentro del potenciales indicadores de corrosión severa (menores a -500 mV vs Cu/CuSO₄), además de aquellos se presentaron en las mediciones más cercanas al inicio de la exposición de los especímenes a los ambientes contaminados con cloruros.

H. UTILIZACIÓN DE CEMENTO TIPO V

Para determinar si el uso de cemento tipo V en el concreto al que se embebieron los aceros minimiza la probabilidad de corrosión, solo se utilizarán los datos de los 3 ambientes que presentaron mayor cantidad de resultados dentro del rango de corrosión severa según la ASTM 876 -15 (< -500 mV).

En los resultados de las mediciones electroquímicas de la presente investigación, se observa los ambientes que presentan mayor cantidad de resultados dentro del rango de corrosión severa (< -500 mV) son los de exposición a agua de mar, agua contaminada con NaCl al 3.5% y exposición a agua contaminada con NaCl al 3.5% con periodos de secado.

Considerando las mediciones realizadas en los ambientes de exposición a agua de mar, agua contaminada con NaCl al 3.5% y agua contaminada con NaCl al 3.5% con periodos de secado, se compara por cada ambiente, los potenciales de corrosión en 4 intervalos de 35 días, promediando potenciales de corrosión de las varillas embebidas en mezcla realizada con cemento tipo I frente al promedio de las mediciones a varillas embebidas en mezcla realizada con cemento tipo V.

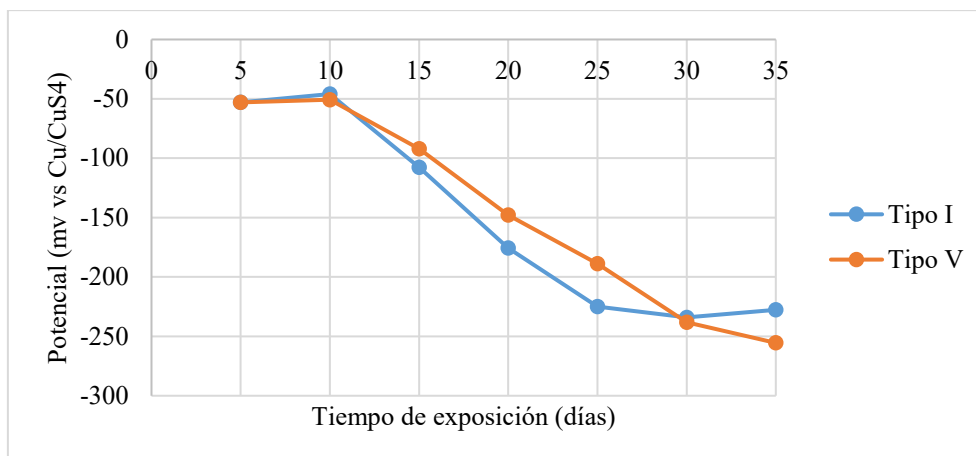


Fig. 34 Primer intervalo de mediciones - Ambiente 04

En la figura 34, se observa de las 7 comparaciones de los 14 promedios (7 de tipo I y 7 de tipo V), de las mediciones realizadas cada 5 días en todos los especímenes expuestos a este ambiente, en el primer intervalo, el 42.9 % de veces los promedios de los especímenes de cemento tipo V presentan valores menores en comparación a los de tipo I, en exposición a agua de mar.

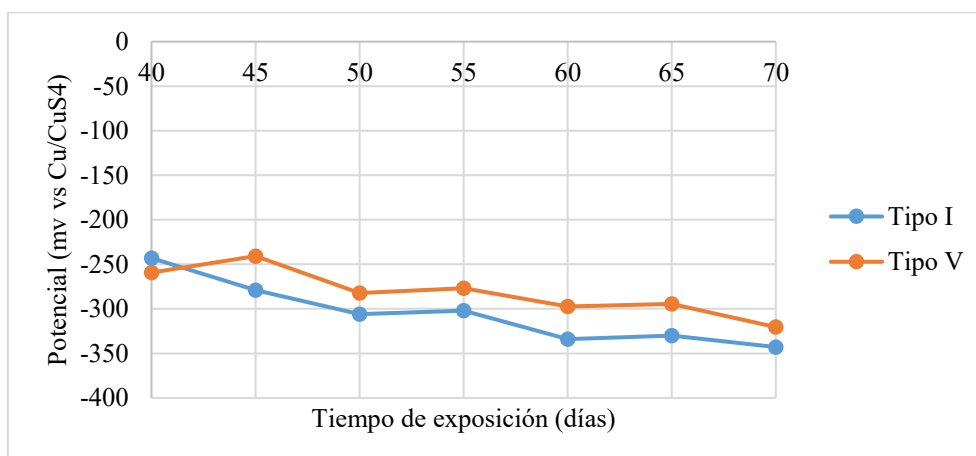


Fig. 35 Segundo intervalo de mediciones - Ambiente 04

En la figura 35, se observa de las 7 comparaciones de los 14 promedios (7 de tipo I y 7 de tipo V), de las mediciones realizadas cada 5 días en todos los especímenes expuestos a este ambiente, en el segundo intervalo, el 14.3 % de veces los promedios de los especímenes de cemento tipo V presentan valores menores en comparación a los de tipo I, en exposición a agua de mar.

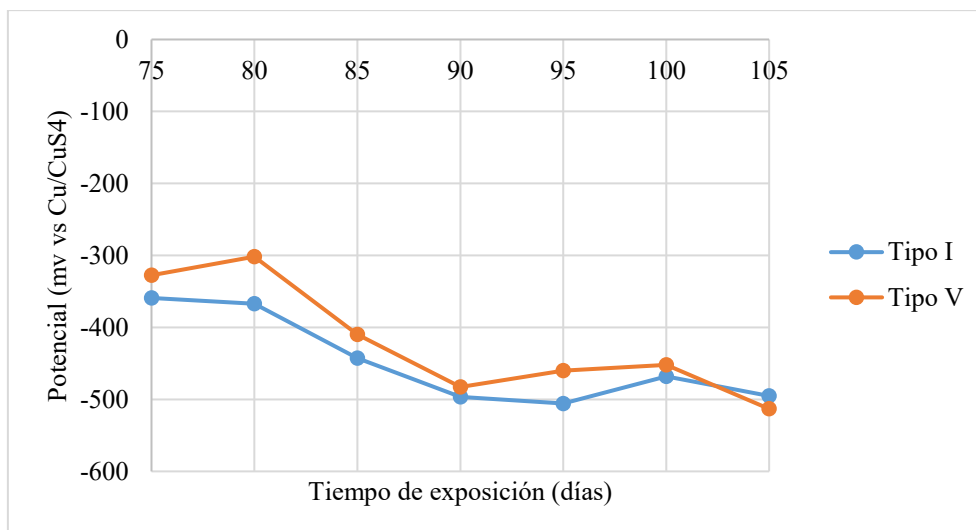


Fig. 36 Tercer intervalo de mediciones - Ambiente 04

En la figura 36, se observa de las 7 comparaciones de los 14 promedios (7 de tipo I y 7 de tipo V), de las mediciones realizadas cada 5 días en todos los especímenes expuestos a este ambiente, en el tercer intervalo, el 14.3 % de veces los promedios de los especímenes de cemento tipo V presentan valores menores en comparación a los de tipo I, en exposición a agua de mar.

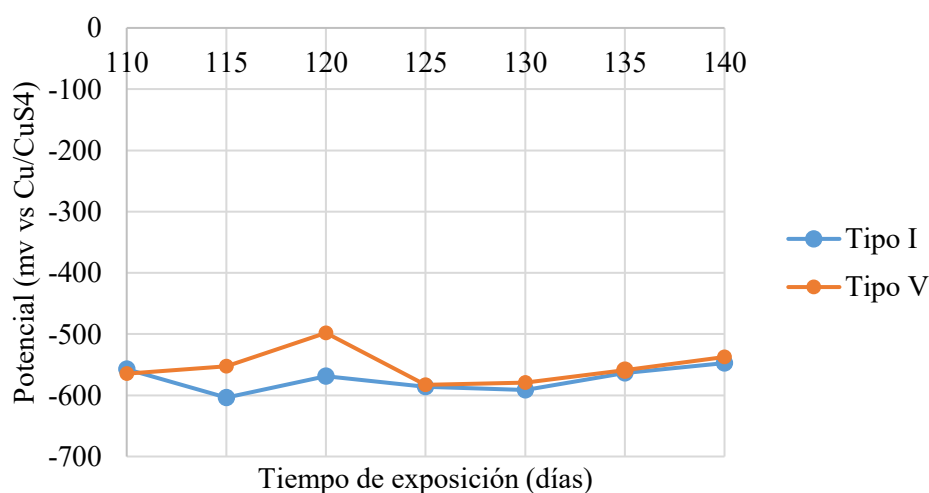


Fig. 37 Cuarto intervalo de mediciones - Ambiente 04

En la figura 37, se observa de las 7 comparaciones de los 14 promedios (7 de tipo I y 7 de tipo V), de las mediciones realizadas cada 5 días en todos los especímenes expuestos a este ambiente, en el cuarto intervalo, el 14.3 % de veces los promedios de los especímenes de cemento tipo V presentan valores menores en comparación a los de tipo I, en exposición a agua de mar.

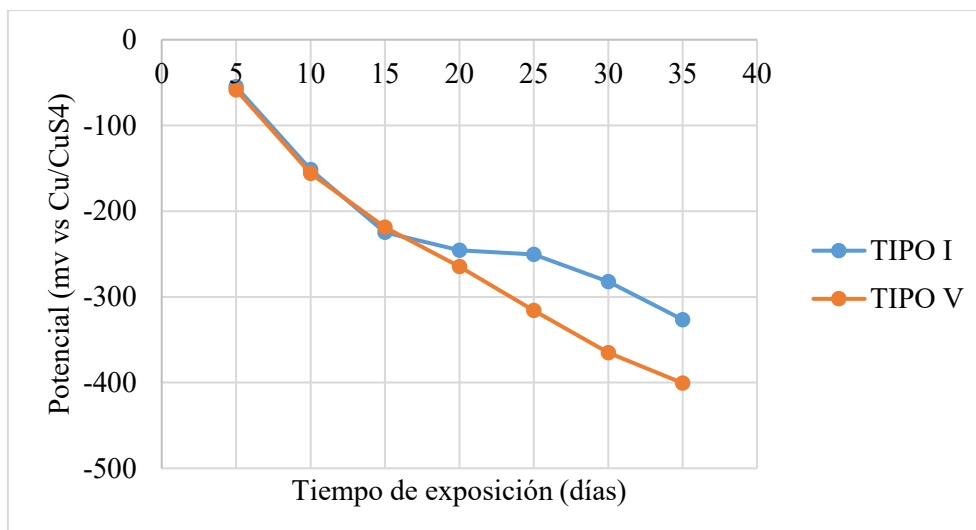


Fig. 38 Primer intervalo de mediciones - Ambiente 05

En la figura 38, se observa de las 7 comparaciones de los 14 promedios (7 de tipo I y 7 de tipo V), de las mediciones realizadas cada 5 días en todos los especímenes expuestos a este ambiente, en el primer intervalo, el 85.7 % de veces los promedios de los especímenes de cemento tipo V presentan valores menores en comparación a los de tipo I, en exposición a agua contaminada con NaCl al 3.5%.

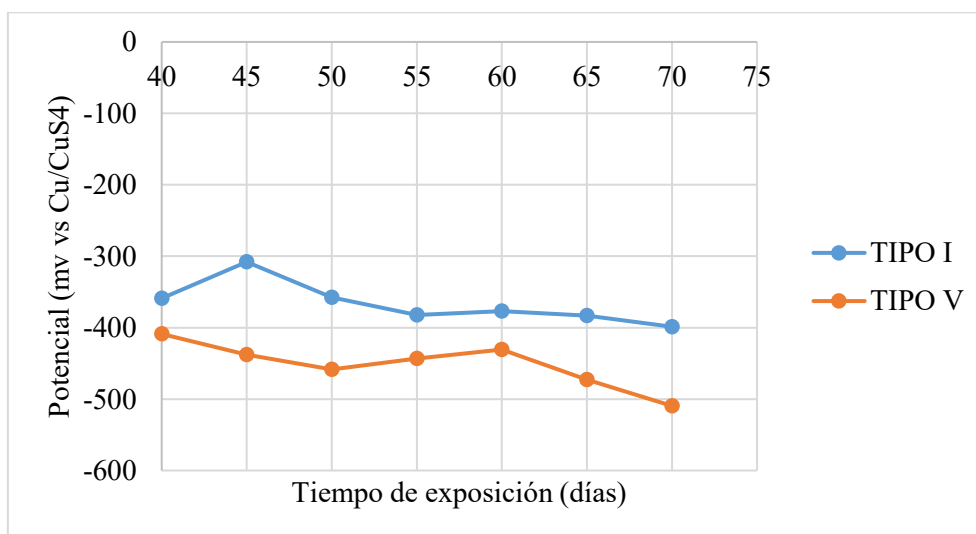


Fig. 39 Segundo intervalo de mediciones - Ambiente 05

En la figura 39, se observa de las 7 comparaciones de los 14 promedios (7 de tipo I y 7 de tipo V), de las mediciones realizadas cada 5 días en todos los especímenes expuestos a este ambiente, en el segundo intervalo, el 100.0 % de veces los promedios de los especímenes de cemento tipo V presentan valores menores en comparación a los de tipo I, en exposición a agua contaminada con NaCl al 3.5%.

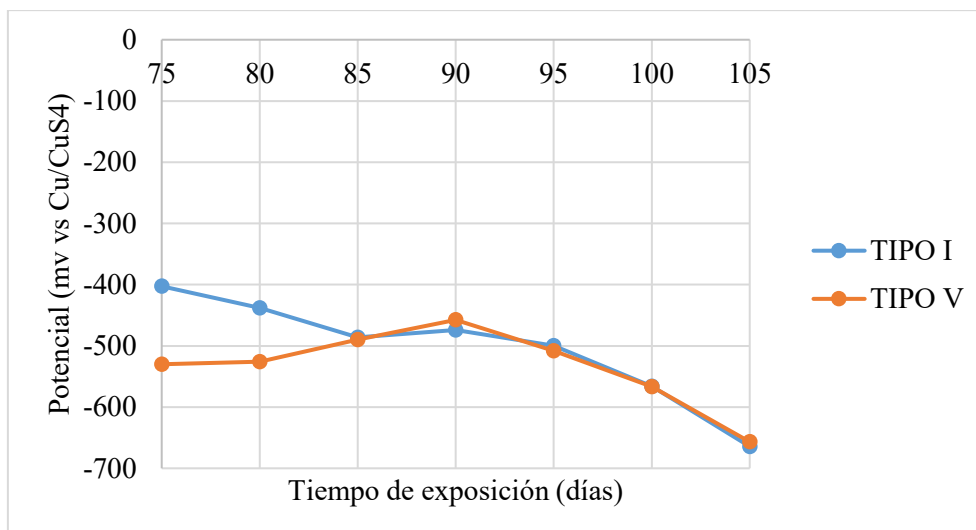


Fig. 40 Tercer intervalo de mediciones - Ambiente 05

En la figura 40, se observa de las 7 comparaciones de los 14 promedios (7 de tipo I y 7 de tipo V), de las mediciones realizadas cada 5 días en todos los especímenes expuestos a este ambiente, en el tercer intervalo, el 71.4 % de veces los promedios de los especímenes de cemento tipo V presentan valores menores en comparación a los de tipo I, en exposición a agua contaminada con NaCl al 3.5%.

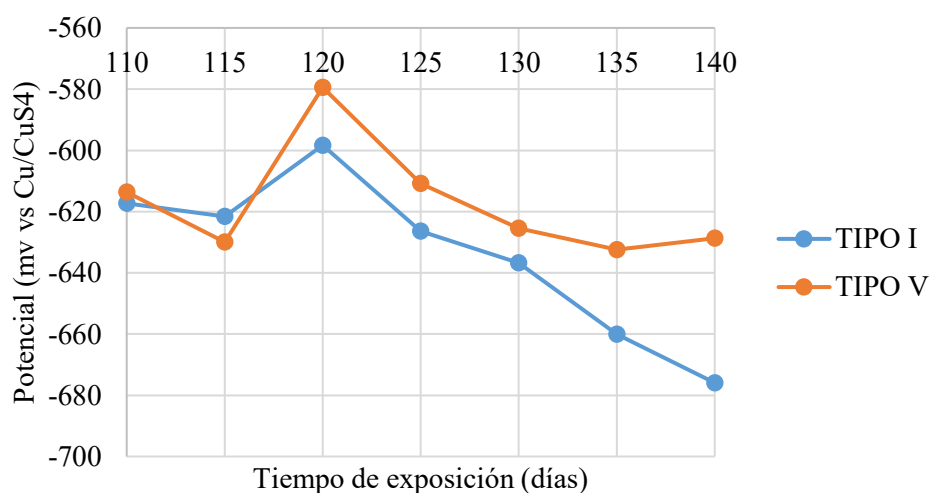


Fig. 41 Cuarto intervalo de mediciones - Ambiente 05

En la figura 41, se observa de las 7 comparaciones de los 14 promedios (7 de tipo I y 7 de tipo V), de las mediciones realizadas cada 5 días en todos los especímenes expuestos a este ambiente, en el cuarto intervalo, el 14.3 % de veces los promedios de los especímenes de cemento tipo V presentan valores menores en comparación a los de tipo I, en exposición a agua contaminada con NaCl al 3.5%.

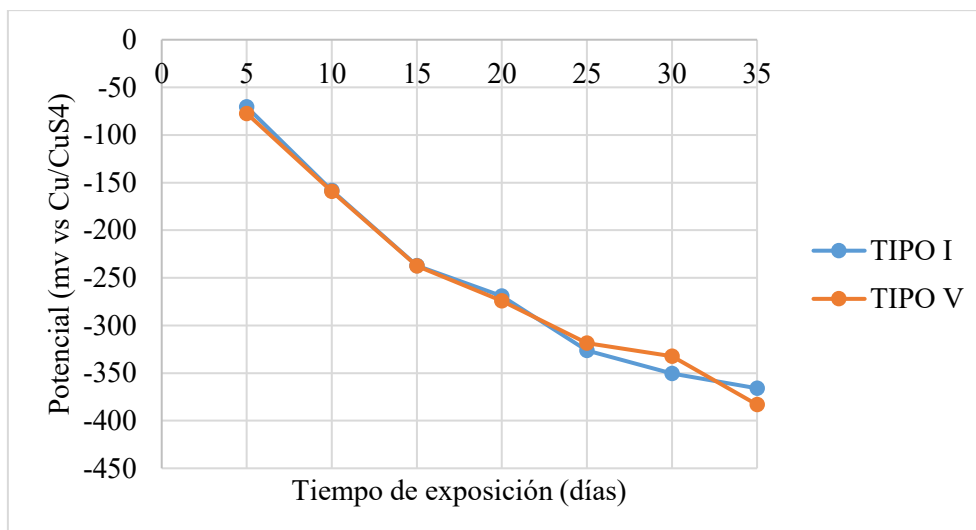


Fig. 42 Primer intervalo de mediciones - Ambiente 06

En la figura 42, se observa de las 7 comparaciones de los 14 promedios (7 de tipo I y 7 de tipo V), de las mediciones realizadas cada 5 días en todos los especímenes expuestos a este ambiente, en el cuarto intervalo, el 71.4 % de veces los promedios de los especímenes de cemento tipo V presentan valores menores en comparación a los de tipo I, en exposición a agua contaminada con NaCl al 3.5% con periodos de secado.

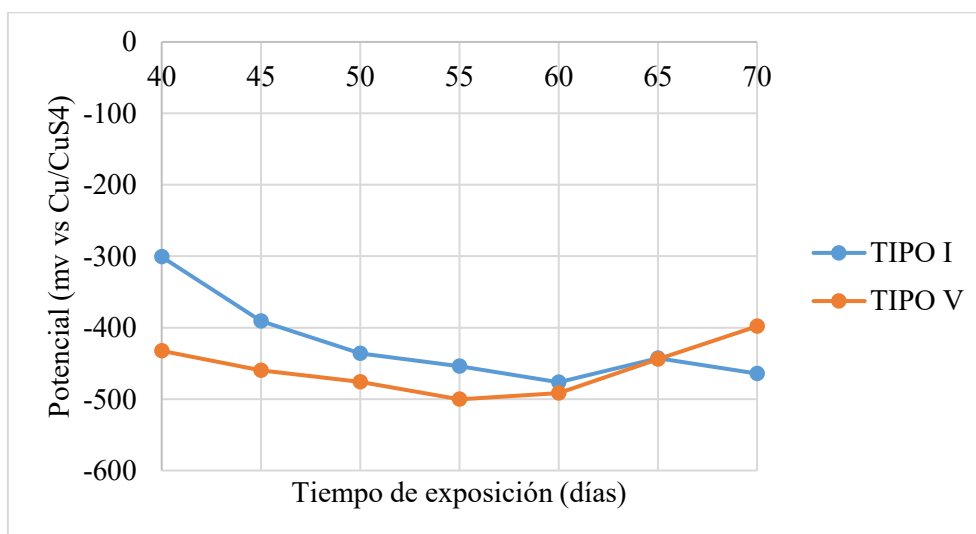


Fig. 43 Segundo intervalo de mediciones - Ambiente 06

En la figura 43, se observa de las 7 comparaciones de los 14 promedios (7 de tipo I y 7 de tipo V), de las mediciones realizadas cada 5 días en todos los especímenes expuestos a este ambiente, en el segundo intervalo, el 85.7 % de veces los promedios de los especímenes de cemento tipo V presentan valores menores en comparación a los de tipo I, en exposición a agua contaminada con NaCl al 3.5% con periodos de secado.

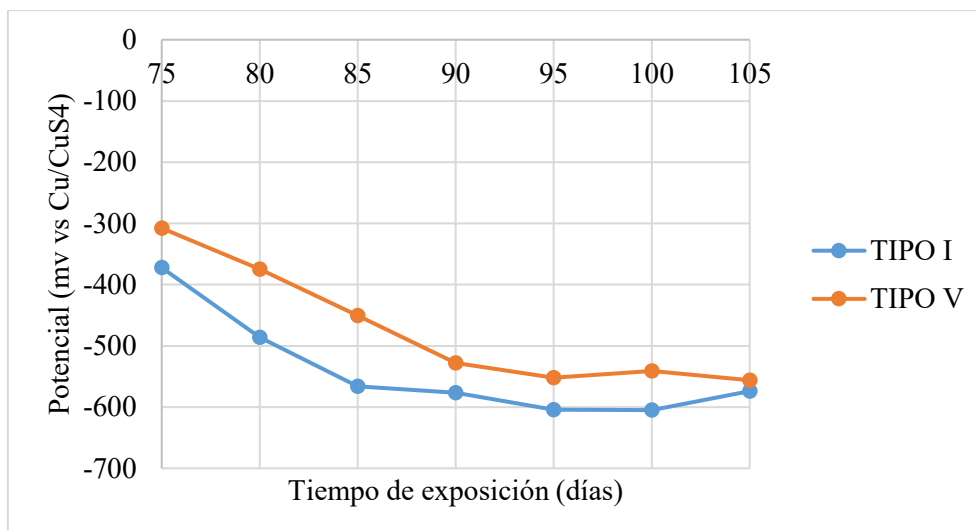


Fig. 44 Tercer intervalo de mediciones - Ambiente 06

En la figura 44, se observa de las 7 comparaciones de los 14 promedios (7 de tipo I y 7 de tipo V), de las mediciones realizadas cada 5 días en todos los especímenes expuestos a este ambiente, en el tercer intervalo, el 0.0 % de veces los promedios de los especímenes de cemento tipo V presentan valores menores en comparación a los de tipo I, en exposición a agua contaminada con NaCl al 3.5% con periodos de secado.

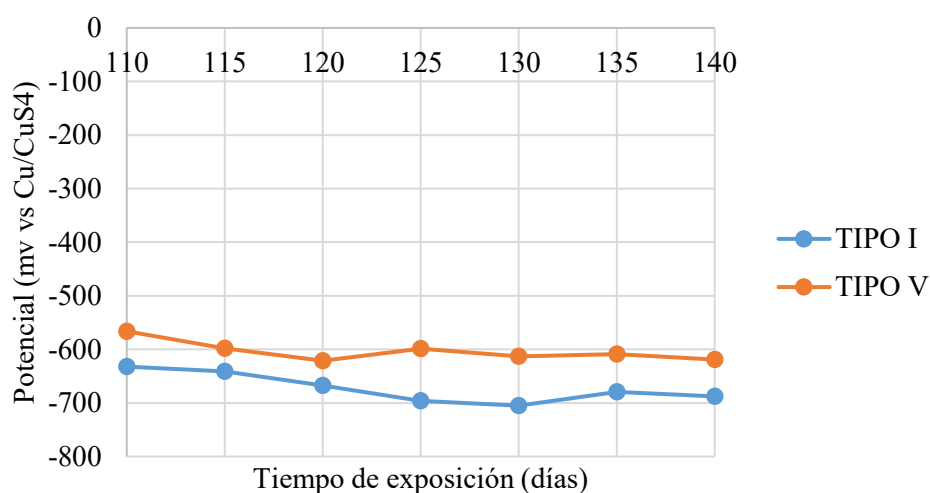


Fig. 45 Cuarto intervalo de mediciones - Ambiente 06

En la figura 45, se observa de las 7 comparaciones de los 14 promedios (7 de tipo I y 7 de tipo V), de las mediciones realizadas cada 5 días en todos los especímenes expuestos a este ambiente, en el cuarto intervalo, el 0.0 % de veces los promedios de los especímenes de cemento tipo V presentan valores menores en comparación a los de tipo I, en exposición a agua contaminada con NaCl al 3.5% con periodos de secado.

TABLA LXVII
PORCENTAJE DE VECES DE MENOR PROMEDIO DE MEDICIONES POR INTERVALO -
AMBIENTE 04, 05 Y 06

Ambiente	Veces de menor promedio (%)			
	0 a 35 días	40 a 70 días	75 a 105 días	110 a 140 días
04	57.1	14.3	14.3	14.3
05	85.7	100.0	71.4	14.3
06	71.4	85.7	0.0	0.0

Entonces, en los primeros 70 días, los aceros embebidos en los especímenes hechos con cemento tipo V, presentan valores menores en comparación a los especímenes de cemento tipo I, por lo que no minimizaría la probabilidad de corrosión ya que en tanto menores sean los valores, mayor probabilidad de corrosión hay. Mientras que en los 70 siguientes días se observa que la tendencia en los 3 ambientes considerados para comparar los potenciales de corrosión promedio, señalan los especímenes de cemento tipo V presentan valores mayores en comparación a los especímenes de cemento tipo I, de modo que minimizaría la probabilidad de corrosión.

I. COMPARACIÓN DE POTENCIALES

Se realizaron mediciones en 4 aceros de un elemento de 5 estructuras ubicadas en la zona costera de distintas edades y se obtuvieron los siguientes potenciales de corrosión:

TABLA LXVIII
MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS A ESTRUCTURAS DE LA ZONA COSTERA

N.º Estructura	Edad (años)	Mediciones (mV vs Cu/CuSO4)			
1	8	-590	-399	-418	-424
2	10	-762	-655	-644	-537
3	12	-586	-544	-581	-623
4	17	-605	-585	-560	-576
5	25	-580	-593	-596	-559

En la TABLA LXVII se observan las mediciones de la estructura N°1 se encontraban en su mayoría dentro del rango indicador de 90% de corrosión, mientras los aceros del resto de estructuras en su totalidad arrojaron potenciales dentro del rango de indicador corrosión severa.

TABLA LXIX
RESULTADOS DE MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS - AMBIENTE 02 (GERDAU- TIPO I)

Marca de acero	GERDAU		
Espécimen	1BI	2BI	3BI
Exposición a intemperie marina (140 días)	-198	-250	-296

Se observa que los potenciales obtenidos en las mediciones realizadas en la presente investigación se encuentran dentro de los rangos de 10% de probabilidad de corrosión (estado pasivo) y de incertidumbre de corrosión, dando señalamiento este último de transición de estado pasivo a activo de corrosión. Además, al medir potenciales de corrosión en estructuras de gran tiempo de exposición, aunado la aparición de fisuras en especial de la estructura N°5 en la que los potenciales indicaban corrosión severa, respalda lo indicado por el intervalo de probabilidad de corrosión.

Discusión

Al interpretar los potenciales de corrosión obtenidos en la investigación se tiene que para el ambiente N°01, el 91.7% de los potenciales de corrosión de las mediciones realizadas el día 140 de exposición, según la TABLA IV, se encontraban dentro del rango indicador de 10% de probabilidad de corrosión, refiriendo corrosión en estado pasivo. Estos resultados son correspondientes pues una investigación [4], muestra que los potenciales hasta el quinto mes de exposición a atmósfera urbana de sus especímenes tienden más hacia los valores positivos, es decir, mayores a -200 mV, coincidiendo con el rango de los resultados de la presente investigación.

En el ambiente N°02, el 79.2% de los potenciales medidos corresponden al rango de 10% de probabilidad de corrosión, indicando corrosión en estado pasivo, mientras el 20.8% refieren incertidumbre como las mediciones a exposición marina de [4], su tendencia se dirige hacia los valores más negativos y a diferencia de la exposición urbana muestra más mediciones de menor valor y algunas de ellas hasta dentro del rango indicador de incertidumbre de corrosión.

En el caso del ambiente N°03 para los especímenes en general, en el día 140 de exposición, se midieron el 54.2% de potenciales indicadores de incertidumbre de corrosión, el 16.7% de potenciales dentro del rango de 90% de probabilidad de corrosión y el 20.8% de indicadores de corrosión severa o en estado activo, entonces su tendencia se encuentra en la transición a la corrosión activa, aunque no en ella. Contrarrestando con los resultados de [2], estos son ligeramente

menores a -500 mV por lo que se indicaría corrosión activa, esta ligera diferencia podría deberse a factores como el porcentaje de sal en estado natural de la arena de exposición o la manera en la que se contaminó la misma pues no indican si solo se mezcló la arena con el cloruro de sodio o se hizo una solución de agua con cloruro de sodio y esa fue vertida en la arena de exposición.

Para el ambiente N°04, el 79.2% de las mediciones realizadas el último día de exposición indicaban potencial de corrosión severa según la TABLA IV ya que eran menores que - 500 mV, mientras [5] que utilizó como medio de exposición el agua contaminada con 3% de NaCl, acercándose a los valores de agua de mar, en sus especímenes patrón de relación a/mc=0.59, obtuvo para 140 días de exposición, potenciales dentro del rango de incertidumbre, pero a su vez cercanos al rango de 90% de probabilidad de corrosión. Por lo que se observa la variable entre las investigaciones es la relación agua/cemento pues se asocia a que mientras menor sea, los potenciales tienden al rango de menor probabilidad de corrosión [4].

Respecto al ambiente N°05 el total de los potenciales del día 140 de exposición se encontraban en el rango indicador de corrosión severa según la TABLA IV, al igual [6] presenta valores dentro del rango de corrosión severa siendo su primera medición el día 30 de exposición (cemento tipo II) mientras que en la presente investigación se dan dichos potenciales a los 40 días de exposición (cemento tipo V), entonces los resultados tendrían coherencia con respecto a la primera aparición de potenciales de corrosión indicadores de corrosión severa. Comparando con las mediciones (cemento tipo I) de los especímenes de 4cm de recubrimiento de [7], los cuales pasados los 110 días de exposición indican corrosión severa, siendo coincidente con nuestra investigación debido a que como se observa en la TABLA XXXVII, desde el día 115 de exposición se midieron potenciales dentro del mismo rango a todos los especímenes de la presente investigación.

Respecto al ambiente N°06 el 100% de los potenciales del día 140 de exposición (28 ciclos de inmersión y secado) se encuentran en el rango indicador de corrosión severa según la TABLA IV, al igual que [9] pues presenta valores dentro del rango de corrosión severa aunque su presencia se da antes que en nuestra investigación, pues las altas temperaturas incrementan la velocidad de corrosión debido a que favorecen el movimiento de los iones agresivos [24], observado en las diferencias de temperatura de los periodos de secado pues en la presente investigación los periodos de secado estuvieron a temperaturas del cercado de Chiclayo, Perú que dentro del periodo de investigación y fluctuaron entre los 19 a 33°C, lo cual a los 2 días de exposición no tuvo la misma acción en el proceso de corrosión que los 3 días a temperatura de 60°C constante de [9].

Luego de cualificar los aceros de los especímenes escogidos, correspondiente a los potenciales de corrosión, los especímenes escogidos a inspeccionar de cada ambiente de exposición estudiado tuvieron el estado correspondiente a su probabilidad de corrosión, siendo que en los aceros de los especímenes que presentaron valores mayores a -200mV no se encontraron signos de corrosión activa. Para el caso de los especímenes que demostraban estar dentro al rango de 10% de probabilidad de corrosión o estado pasivo de corrosión, hubo ausencia de indicios de corrosión, mientras que para los aceros con potenciales de incertidumbre de corrosión se encontró una ligera picadura en un acero inspeccionado perteneciente a los expuestos al ambiente N°03 y con respecto a los ambientes N°04, 05 y 06 donde las mediciones electroquímicas indicaban corrosión severa, se encontraron durante la inspección bajo microscopio mayor incidencia de picaduras de corrosión y productos de tonalidad naranja color representativo de los productos de corrosión, además, en uno de los aceros de esta población, perteneciente a los expuestos al ambiente N°06, se encontraron indicios de corrosión activa en una extensión de 2cm de la longitud del acero embebido en el concreto del espécimen, indicando corrosión severa como refiere el rango en el que se encuentran sus potenciales.

La marca que presentó más veces primero los potenciales indicadores de corrosión severa en los 3 ambientes con mayor número de mediciones dentro de ese rango, fue GERDAU la cual no cuenta con una ficha técnica disponible y solo indica cumplir con los valores máximos de la TABLA II como también ocurre con la marca ACEROS AREQUIPA, mientras, las marcas consideraras en el grupo A de aceros sí cuentan con una ficha técnica en la que exponen los valores promedio de la composición química de acero en la cuchara, expuestos en la TABLA II, según [10] el silicio propicia la corrosión en aceros con influencia de cloruros, por lo que al comparar los valores de las marcas del grupo A en cuanto a sus porcentajes de silicio, resulta proporcional que la marca ArcelorMittal de 0.22% de contenido de silicio, en la presente investigación, sea el último en manifestar sus primeros valores de potenciales indicadores de corrosión severa, al menos en comparación al porcentaje de 0.44% de la marca CEMEX. Entonces al GERDAU ser la marca de aceros que se determinó se corroen con mayor facilidad pues en su mayoría las mediciones de sus potenciales indicadores de corrosión severa (menores a $-500\text{ mV vs Cu/CuSO}_4$) se dieron más cercanas al inicio de la exposición de los especímenes a los ambientes contaminados con cloruros y en mayor cantidad con respecto a las demás marcas estudiadas. Entonces se puede decir que al solo conocerse el máximo de 0.5% de contenido de silicio en los aceros de la marca GERDAU, se estima es mayor su porcentaje que el presentado en los aceros de marca ArcelorMittal.

Al evaluar el desempeño en cuanto al tipo de cemento utilizado para los especímenes, la tendencia cada 35 días de exposición, de los promedios por día, de las mediciones realizadas para todos los aceros embebidos en los especímenes expuestos a los tres ambientes que refieren mayor probabilidad de corrosión en los 140 días de exposición, como se muestra en la TABLA LXVI (veces de menor promedio) se determina que los aceros de los especímenes de cemento tipo V, de los días 0 a 70 de exposición refieren mayor la probabilidad de corrosión en comparación a los de cemento tipo I, no obstante comparados en los días 70 a 140 de exposición la utilización del cemento tipo V demuestra menor probabilidad de corrosión de los aceros embebidos, resultados que al ser comparados con lo encontrado por [2] referidos a que la utilización de cemento tipo II en el concreto al que se embebe acero, favorece su protección, pues disminuye la probabilidad de corrosión demostrado en sus mediciones pues están dentro del rango indicador de corrosión severa pero muy cercanos al intervalo de 90% de probabilidad de corrosión mientras que los potenciales de aceros embebidos en especímenes de cemento tipo I tienden a ser menores denotando mayor probabilidad de corrosión. Dicho comportamiento se debe al contenido de aluminato tricálcico pues reacciona con los iones cloruro químicamente uniéndose a la pasta de cemento, inmovilizándolos [37], sin embargo, el producto de esa unión, el cloro aluminato cálcico, llega a propiciar la corrosión pues provoca un medio ácido al disminuir el pH, por lo que la probabilidad de corrosión en etapas iniciales, el cemento tipo V mostraría valores de mayor probabilidad de corrosión, hasta que los cloruros no reaccionen con el aluminato tricálcico, lo cual a largo plazo no será tan perjudicial pues no se habrá formado gran cantidad de cloro aluminato cálcico al este tipo de cemento contener del 1 a 5%, señalado en la TABLA I.

Al realizar las mediciones de los potenciales de corrosión obtenidos de las estructuras de la zona costera, se considera que contaban con aceros notablemente corroídos en las partes visibles, aunque no fue posible ver los aceros en la parte embebida al concreto, los potenciales medidos indican corrosión severa influyendo en gran medida el tiempo de exposición puesto que en los resultados obtenidos por [4] a los 5 años de exposición se encuentran en 10% de probabilidad de corrosión, pero su tendencia al pasar del tiempo si ha tenido picos dentro del rango de incertidumbre de corrosión, coherente considerando su exposición a intemperie marina no fue tan agresiva al no estar ubicados tan cerca al mar pues las estructuras escogidas para esta investigación se encontraban a pocos metros de las orillas del mar por lo que el ambiente es más agresivo por la misma brisa marina, su humedad, presencia de cloruros y los cambios agresivos de temperatura.

Conclusiones

La interpretación de potenciales nos dejó observar el comportamiento de la probabilidad de corrosión en diferentes ambientes con presencia de contaminación de cloruros, en su mayoría en un porcentaje de 3.5%, siendo que los 3 ambientes donde ocurre mayor facilidad de corrosión del acero embebido en concreto fueron los que contaban con agua contaminada con cloruros como medio de exposición.

Cualificando el proceso de corrosión, se respaldan las mediciones electroquímicas pues en los ambientes donde los potenciales de los especímenes indicaban corrosión severa, se encontraron indicios de corrosión como picaduras y en un caso de un acero del ambiente N°06 una zona de 2cm en la que se había producido daño por corrosión.

Se determinó la marca de varillas de acero dentro de las estudiadas que presenten mayor facilidad de corrosión en exposición a los ambientes contaminados con cloruros fue GERDAU, perteneciente al grupo de varillas B de producción peruana, puesto que presentó potenciales de corrosión más rápido y en mayor cantidad que las otras marcas, dentro de los 3 ambientes donde ocurre mayor facilidad de corrosión del acero embebido en concreto.

Realizando una comparación entre el desempeño de los aceros según el tipo de cemento utilizado para el concreto al que están embebidos, frente a los 3 ambientes donde ocurre mayor facilidad de corrosión, se identificó el cemento tipo V tiende a minimizar la probabilidad de corrosión del acero embebido pues debido a su bajo contenido de aluminato tricálcico que en presencia de cloruros forma poco cloro aluminato cálcico no habrá cantidades significativas de dicho producto que posteriormente afecte el pH a comparación de la utilización de alto contenido de aluminato tricálcico como lo es el cemento tipo I.

Comparados los resultados de la investigación con potenciales de estructuras ubicadas en zonas costeras, se observa que aún transcurridos 8 años se cuenta con potenciales dentro del 90% de probabilidad de corrosión, mientras que en las estructuras más cercanas a la orilla del mar con 10 años ya se cuenta con mediciones dentro del rango indicadores de corrosión severa, puesto que las condiciones de exposición son más agresivas ubicadas más cerca al mar.

Se determinó el ambiente con presencia de contaminación de cloruros en el cual ocurre con mayor facilidad la corrosión del acero embebido en concreto es el ambiente N°6 correspondiente a la exposición a agua contaminada con NaCl al 3.5% en peso con periodos de secado, debido a sus características pues a largo plazo llegan a afectar factores como la carbonatación del concreto al disminuir el pH del medio propicia la corrosión del acero embebido.

Recomendaciones

Incentivar la implementación de equipos para realizar métodos de ensayo sobre corrosión del acero embebido en concreto como potenciostatos para determinar velocidad de corrosión.

Tener presente no dejar áreas del acero expuestas a la intemperie, especialmente en la construcción de estructuras cercanas al mar, debido a que desde allí se puede iniciar la corrosión de este, provocando al pasar de los años la aparición de fisuras del concreto y con ello propiciar el medio para la corrosión del acero.

Se recomienda el empleo de varillas de porcentajes bajos de sílice sin que comprometan otras propiedades del acero especialmente en estructuras expuestas a ambientes con presencia de cloruros.

Incitar a investigaciones enfocadas en aportes sobre el pH del concreto de tipos de cemento según su porcentaje de aluminato tricálcico en exposición a cloruros de sodio.

Tomar en cuenta en investigaciones con propósito de evaluar corrosión de acero embebido en concreto tomar como medio contaminado con cloruros, la exposición de sus especímenes a agua contaminada con NaCl al 3.5% en peso con periodos de secado.

Referencias

- [1] Association for Materials Protection and Performance, «ASSESSMENT OF THE GLOBAL COST OF CORROSION», NACE International. Disponible en: <http://impact.nace.org/economic-impact.aspx>
- [2] G. Santiago-Hurtado, F. J. Olgún-Coca, y M. A. Baltazar-Zamora, «EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN DE CONCRETO REFORZADO EMBEBIDO EN UN SUELO FRICCIONANTE CONTAMINADO CON CLORUROS», ALCONPAT, pp. 218-226, nov. 2012.
- [3] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, «Perfil ambiental del Perú». 2008. Disponible en: <https://www.midagri.gob.pe/portal/datero/60-sector-agrario/introduccion/343-perfil-ambiental-del-peru>
- [4] R. Vera, M. Villarroel, D. Delgado, A. M. Carvajal, F. D. Barbieri, y O. Troconis, «DURACON: Influencia de la Acción del Medio Ambiente en la Durabilidad del Concreto. Parte 2. Resultados de Chile después de 5 años de Exposición», Revista de la Construcción, vol. 8, n.º 1, pp. 13-23, 2009.
- [5] A. Flores-Nicolás, M. Flores-Nicolás, y J. Uruchurtu-Chavarán, «Corrosion effect on reinforced concrete with the addition of graphite powder and its evaluation on physical-electrochemical properties», *Revista ALCONPAT*, vol. 11, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2021, doi: [10.21041/ra.v11i1.501](https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.501).
- [6] E. Voulgari, A. Zacharopoulou, N. Chousidis, y G. Batis, «Corrosion Behavior of Reinforcement Steel Embedded in Cement Mortars Using Different Protection Systems», *Materials Sciences and Applications*, vol. 10, n.º 6, Art. n.º 6, jun. 2019, doi: [10.4236/msa.2019.106034](https://doi.org/10.4236/msa.2019.106034).
- [7] L. Landa Ruiz *Et Al.*, «Comportamiento De La Corrosión Del Acero Aisi 304 Embebido En Concretos Ecológicos Con Base Cbca Y Hs Expuestos A Cloruros», nov. 2019. Doi: [10.21041/Conpat2019/V2pat174](https://doi.org/10.21041/Conpat2019/V2pat174).
- [8] M. Barrios-Fontalvo, C. Tejada-Tovar, Á. Villabona-Ortíz, F. Castillo-Mercado, y B. Ramírez-Arenilla, «Use of Cedrela odorata Linnaeus Exudate for Inhibiting Corrosion by Chlorides in Reinforced Concrete*», *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 30, n.º 2, pp. 9-20, 2020.

- [9] R. Vera, J. Román, M. Puentes, M. Bagnara, A. M. Carvajal, y P. Rojas, «Efecto de la difusión de ión cloruro en el comportamiento de acero galvanizado en estructuras de hormigón armado: Resultados preliminares», *Revista de la construcción*, vol. 12, n.o 1, pp. 30-40, abr. 2013, doi: [10.4067/S0718-915X2013000100004](https://doi.org/10.4067/S0718-915X2013000100004).
- [10] O. C. Alvarado y P. R. López, «Propiedades de resistencia a la corrosión de aceros aleados al Si embebidos en mortero», *Ciencia UANL*, vol. IV, n.º 2, 2001.
- [11] M. Ospina García, C. Gaviria, y R. Castro, «Effect of corrosion of steel on the durability of reinforced concrete», en *Desarrollo e Innovación en Ingeniería*, Editorial IAI, 2018, p. 722.
- [12] Norma E.060 concreto armado. Lima, Perú: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, 2009.
- [13] L. Uriarte-Herrera y E. Cieza-Sánchez, «Evaluación de concreto elaborado con agregados de canteras de río y de cerro de los Andes del norte de Perú: Evaluation of concrete made with aggregates from river quarries and hill from the Andes in northern Perú», *Revista Ciencia Nor@ndina*, vol. 4, n.º 2, Art. n.º 2, sep. 2021, doi: [10.37518/2663-6360X2021v4n2p4](https://doi.org/10.37518/2663-6360X2021v4n2p4).
- [14] ASTM C150-07, Standard Specification for Portland Cement, American Society for Testing and Materials, USA, 2012.
- [15] J. L. Pérez, «Evaluación de macroceldas de corrosión en vigas de concreto reforzado bajo ambiente salino», Posgrado, Centro de investigación en materiales avanzados, Chihuahua, 2008. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/599/1/Tesis%20Jose%20Luis%20P%C3%A9rez%20D%C3%ADaz.pdf>
- [16] F. Martínez-Pérez, «Corrosión. Tipos. Prevención», *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 32, n.º 2, jun. 2023. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542023000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- [17] M. A Pedro Nicolás, «Estudio electroquímico comparativo de aceros al carbono utilizados como acero de refuerzo embebidos en concreto y expuestos en un ambiente marino-tropical: Efecto del tratamiento térmico», Tesis de título, Universidad Veracruzana, 2018.
- [18] L. S. Ancori Torobeo y M. G. Tenorio Palomino, «Estudio de la efectividad de tres tipos de inhibidores de corrosión para la protección de estructuras de concreto armado», Tesis de título, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2021.
- [19] D. I. Aguilar Coro, «Variación de la resistencia a compresión de un concreto compactado $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ al usar agregado grueso reciclado.», Título profesional de ingeniero civil, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, 2019. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3487>
- [20] L. Cechin *et al.*, «Efecto de los tratamientos sobre la compatibilidad entre el bambú moso y el cemento Portland de alta resistencia inicial», *Revista ingeniería de construcción*, vol. 33, n.º 2, pp. 127-136, ago. 2018, doi: [10.4067/S0718-50732018000200127](https://doi.org/10.4067/S0718-50732018000200127).
- [21] N. Y. Catari Falcón, «Evaluación del proceso de carbonatación y cambio de pH del concreto en el Canal del túnel - Río Asana, 2018», Título profesional de ingeniero civil, Universidad José Carlos Mariategui, Moquegua, Perú, 2021. Disponible en: <https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/1022>
- [22] M. H. Eftekhari, T. HajiBabaie, M. S. Zadeh, y A. T. Vahdat, «A Review on Reinforcement Corrosion Mechanism and Measurement Methods in Concrete», *CERJ*, vol. 5, n.º 3, pp. 1-11, jun. 2018, doi: [10.19080/CERJ.2018.05.555661](https://doi.org/10.19080/CERJ.2018.05.555661).
- [23] A. C. Rolandi, «Películas formadas en presencia de iones silicato para mitigar la corrosión de acero de construcción», Thesis, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina, 2020. Disponible en: <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/handle/123456789/492>
- [24] P. S. Gómez *et al.*, «Carbonation-Induced Corrosion of Reinforced Concrete Elements according to Their Positions in the Buildings», *Corrosion and Materials Degradation*, vol. 4, n.º 3, 2023, doi: [10.3390/cmd4030018](https://doi.org/10.3390/cmd4030018).
- [25] S. von Greve-Dierfeld *et al.*, «Understanding the carbonation of concrete with supplementary cementitious materials: a critical review by RILEM TC 281-CCC», *Mater Struct*, vol. 53, n.º 6, p. 136, oct. 2020, doi: [10.1617/s11527-020-01558-w](https://doi.org/10.1617/s11527-020-01558-w).

- [26] I.-S. Yoon y C.-H. Chang, «Time Evolution of CO₂ Diffusivity of Carbonated Concrete», *Applied Sciences*, vol. 10, n.º 24, Art. n.º 24, ene. 2020, doi: [10.3390/app10248910](https://doi.org/10.3390/app10248910).
- [27] V. A. Franco Luján, «Efecto de la corrosión por ión cloruro en las propiedades mecánicas de acero de refuerzo embebido en concretos ternarios CP-CV-CBC», Doctorado en ciencia en conservación y a provechamiento de recursos naturales, Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México, 2020. Disponible en: http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/496
- [28] Donadio, M., Capacho, J., Santander, L. (2023), “Gestión integral de la corrosión. Análisis documental”, *Revista ALCONPAT*, 13 (2), pp. 235 – 253, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i2.690>
- [29] B. Duarte y M. Ángel, «Análisis de las corrientes de macrocelda en estructuras de hormigón armado», Máster en edificación, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2021. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/164458>
- [30] M. Barrios-Fontalvo, C. Tejada-Tovar, Á. Villabona-Ortíz, F. Castillo-Mercado, y B. Ramírez-Arenilla, «Use of *Cedrela odorata* Linnaeus Exudate for Inhibiting Corrosion by Chlorides in Reinforced Concrete*», *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, vol. 30, n.º 2, pp. 9-20, 2020, doi: [10.18359/rcin.4423](https://doi.org/10.18359/rcin.4423).
- [31] E. F. Felix, R. Carrazedo, E. Possan, y E. S. Ramos, «Development and analysis of a numerical model of the reinforced concrete expansion due to uniform corrosion», *Revista ALCONPAT*, vol. 10, n.º 3, Art. n.º 3, sep. 2020, doi: [10.21041/ra.v10i3.395](https://doi.org/10.21041/ra.v10i3.395).
- [32] Y. Yi, D. Zhu, S. Guo, Z. Zhang, y C. Shi, «A review on the deterioration and approaches to enhance the durability of concrete in the marine environment», *Cement and Concrete Composites*, vol. 113, p. 103695, oct. 2020, doi: [10.1016/j.cemconcomp.2020.103695](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103695).
- [33] D. Peña, J. Rodríguez, D. Salcedo, y M. S. Pereira, «Estimación de daños ocasionados por la carbonatación en estructuras de concreto armado en la ciudad de Nirgua», *Gaceta Técnica*, vol. 23, n.º 2, Art. n.º 2, jul. 2022, doi: [10.51372/gacetatecnica232.7](https://doi.org/10.51372/gacetatecnica232.7).
- [34] Á. T. López, «EVALUACIÓN EN EL TRANSPORTE DE CLORUROS EN HORMIGÓN», Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Cartagena, España, 2017.

- [35] J. A. Salazar-Jiménez, «Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica)», *TM*, vol. 28, n.º 3, pp. pág. 127–136, sep. 2015. <https://doi.org/10.18845/tm.v28i3.2417>
- [36] ASTM C876 - 15, Standar Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, American Society for Testing and Materials, USA, 2017
- [37] H.-W. Song y V. Saraswathy, «Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures – A Review», *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 2, n.º 1, pp. 1-28, ene. 2007, doi: [10.1016/S1452-3981\(23\)17049-0](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)17049-0).
- [38] Norma Técnica Peruana 400.012, «Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª Edición», Lima, Perú, 2018.
- [39] Norma Técnica Peruana 339.034, «Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas», INACAL, Lima, Perú, 2015.
- [40] American Concrete Institute. (1991). ACI 211.1 Manual para el Diseño de Mezclas de Concreto. Comité ACI 211.

Anexos

TÍTULO	OBJETIVOS	PREGUNTA DE PLANTEAMIENTO	HIPÓTESIS	VARIABLES	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES
Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros	<p>Objetivo General</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar el ambiente con presencia de contaminación de cloruros en el cual ocurre con mayor facilidad la corrosión del acero embebido en concreto <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Interpretar los potenciales de corrosión del acero de las muestras expuestas a diferentes ambientes contaminados de cloruros. Cualificar el proceso de corrosión que presente el acero luego del procedimiento de inducción de corrosión debido a la exposición a los ambientes contaminados. Determinar la marca de las varillas de acero de las muestras que presenten mayor facilidad de corrosión en exposición a los ambientes contaminados con cloruros. Comparar los potenciales de corrosión obtenidos de mediciones realizadas a aceros embebidos en concreto de estructuras ubicadas en zonas costeras con los potenciales de los especímenes de la investigación 	¿Qué ambiente contaminado con cloruros al que puede estar expuesto el concreto armado puede causar mayor probabilidad de la corrosión del acero?	La corrosión del acero embebido en concreto sucede con mayor facilidad al estar expuesto a agua contaminada con cloruros con periodos de secado.	<p>Variable independiente</p> <p>Ambientes contaminados con cloruros.</p>	Se expondrán los especímenes a condiciones de intemperie marina, agua de mar, agua y arena contaminados con NaCl al 3.5% en peso y agua con periodos de secado contaminados con NaCl al 3.5% en peso.
	<p>Variable dependiente</p> <p>Corrosión del acero embebido en concreto.</p>			Se realizarán mediciones de potenciales de corrosión según la ASTM C876 al acero embebido en concreto para luego interpretar las mediciones y así ubicar el estado de la corrosión, además inspeccionar visualmente el proceso corrosivo con respecto a tipo de corrosión según morfología y adherencia aparente del sistema acero concreto para así cualificarlo.	
	<p>Variable interviniente</p>			Serán el diámetro (3/8") y marcas de varillas de acero (CEMEX, ArcelorMittal, GERDAU y ACEROS AREQUIPA), tipo de cemento (I y V), resistencia a la compresión del concreto (210kg/cm ²) y la frecuencia de las 28 mediciones del potencial electroquímico (cada 5 días)	

Anexo 1 Matriz de consistencia



FICHA TECNICA

SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO

ESPECIFICACIONES	
Pureza (CUSO ₄ 5H ₂ O)	99.0 – 99.80%
Cobre	25.20 – 25.40 %
Cadmio	<0,001 ppm
Arsénico	<0,01 ppm
Plomo	<25 ppm

CARACTERISTICAS	
Ph	3.5 – 4.5 (al 5% en agua)
Color	Polvo celeste
Granulometría	Malla <0.8 mm
Presentación	Sacos de polipropileno de 25 kg

Almacenaje: Conservar en su envase original, en un lugar seco y ventilado.
Lejos de la luz directa del sol, calor y materiales incompatibles como ácidos y bases

Usos: En la agricultura como micro nutriente en el riego tecnificado, en el tratamiento de aguas como agente alguicida, en la minería como reactivo en el proceso de flotación de minerales, en la industria en sistemas de pozo a tierra, entre otros.

En la Agricultura como micro nutriente en el riego tecnificado
En la minería como reactivo en el proceso de flotación de minerales
En la Industria en sistemas de pozo a tierra

**Información técnica proporcionada por el fabricante.*

Atentamente,

Eduardo Santa Cruz
Ing. Químico

MULTITESTER DIGITAL		
PR-301		
SPECIFICATIONS		
Basic Functions	Range	Best Accuracy
DC Voltage	200mV/2000mV/20V/200V/500V	$\pm(0.5\%+2)$
AC Voltage	200V/500V	$\pm(1.2\%+10)$
DC Current	2000mA/ 20mA/ 200mA/10A	$\pm(1\%+2)$
Resistance	200 OHM/2kOHM/20kOHM/ 200kOHM/20MOHM	$\pm(0.8\%+2)$
Temperature (°C)	-40°C-1000°C	$\pm(1\%+3)$
Special Functions		
Diode	✓	
Continuity Buzzer	✓	
Transistor	✓	
Square Wave Output	✓	
Data Hold	✓	
Display Backlight*	✓	
Low Battery Display	✓	
Input Impedance for Voltage Measurement	✓	
Max. Display	1999	

GENERAL CHARACTERISTICS	
Power	9V Battery (6F22)
LCD Size	48 x 16mm
Product Colour	Body - Grey, Holster - Red
Product Net Weight	160g
Product Size	130 x 74 x 41mm
Standard Accessories	Test Lead, Battery, English Manual, Holster
Optional Accessories	Clip-On Test Lead Light (PR-13), Built-in Test Lead Light (PR-15), Built-In Test Lead Light Plus (PR-14)
Standard Individual Packing	Gift Box
Standard Quantity Per Carton	60pcs
Standard Carton Measurement	536x 310 x 305mm (0.051 CBM Per Standard Carton)
Standard Carton Gross Weight	Around 15.86kg

Anexo 3 Especificaciones técnicas de multímetro



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS

INFORME N° LEM USAT 046-2024-I

FECHA: 24 de Mayo 2024

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Shalem Altair Gertrud Saldaña Díaz

TITULO DE LA TESIS: Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros.

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Contenido de humedad
- Granulometría
- Peso volumétrico
- Peso específico
- Compresión
- Mediciones electroquímicas


Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental



(Handwritten signature)
 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



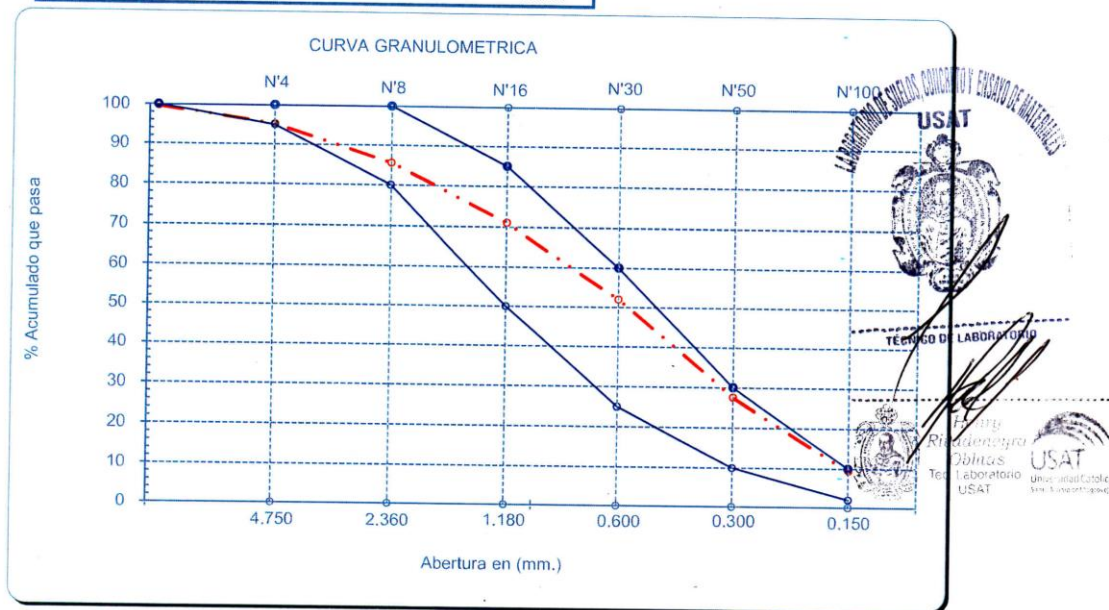
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

Tesista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 24 de Mayo del 2024

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino
 Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo. **P. Inicial Muestra (g) =** 900.7 **% de Humedad =** 0.96

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	2.23	0.2	0.2	99.8	100	100
Nº 04	4.750	40.22	4.5	4.7	95.3	95	100
Nº 08	2.360	87.31	9.7	14.4	85.6	80	100
Nº 16	1.180	130.44	14.5	28.9	71.1	50	85
Nº 30	0.600	171.74	19.1	48.0	52.0	25	60
Nº 50	0.300	220.36	24.5	72.4	27.6	10	30
Nº 100	0.150	163.53	18.2	90.6	9.4	2	10
Fondo		84.87	9.4	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				2.592			
Abertura de malla de referencia				9.500			



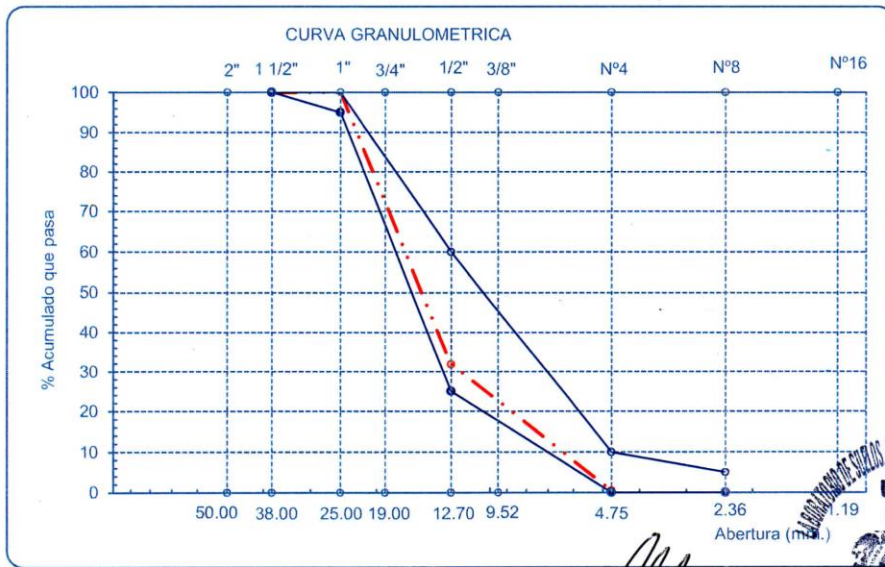
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERILES



Tesista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 24 de Mayo del 2024
Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-136 6 N.T.P. 400.012

Cantera : Cantera de Ferreñafe. **P. Inicial Muestra (g)=** 4936 **% de Humedad =** 0.30

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones HUSO 6	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.00	345.2	7.0	7.0	93.0	90.0	100.0
1/2"	12.70	3017.4	61.1	68.1	31.9	20.0	55.0
3/8"	9.52	853.6	17.3	85.4	14.6	0.0	15.0
Nº 04	4.75	695.8	14.1	99.5	0.5	0.0	5.0
Nº 08	2.36	15.8	0.3	99.8	0.2	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	99.8	0.2	0.0	0.0
Fondo		8.1	0.2	100.0	0.0		
Tamaño Maximo		3/4"		7.0			
Tamaño Maximo Nominal		1/2"		68.13			



Henry
Rivadeneira
Obitas
Tec. Laboratorio
USAT



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

Fecha de emisión : Chiclayo, 24 de Mayo del 2024

Ensayo : Peso unitario del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Canetra : Cantera La Victoria-Pátapo.

1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	7000	7000
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7000	7000
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1277	1277
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1265	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO


1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8846	8846
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8846	8846
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1614	1614
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1599	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	2000.79	2000.79
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1981.85	1981.85
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.0	1.0
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.96	


 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

Tesista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 24 de Mayo del 2024

Ensayo : Peso unitario del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : Cantera de Ferreñafe.

A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	7686	7686
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7686	7686
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1412	1412
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1408	

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8380	8210
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8380.0	8210.0
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1539	1508
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1519	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	2000	2000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1994	1994
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.3	0.3
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.30	


 Henry Rivadeneira Obitias
 Tec. Laboratorio USAT



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 24 de Mayo del 2024

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	1008.1	1008.1
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	704.52	701.4
3.- Peso del Agua	(g)	303.5	306.6
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	699	699.3
5.- Peso del Frasco	(g)	201.4	201.4
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	498	498
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.554
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.565
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.582
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.43

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Cantera de Ferreñafe.

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	2971	2971
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	3005	3005
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	2760	2760
4.- Peso de la canastilla	(g)	880	880
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1880	1880

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.641
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.672
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.728
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	1.44

Henry Rivadeneira Obllitas
Tec. Laboratorio
USAT
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
TECNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 24 de Mayo del 2024

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	2000.79	2000.79
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1981.85	1981.85
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.96	0.96
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.96	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Cantera de Ferreñafe.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	2000	2000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1994	1994
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.3	0.3
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.30	


 Henry Rivadeneira Obitas
 Tec. Laboratorio USAI


 TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Pag. 1 de 2

Tesista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

DISEÑO DE MEZCLA MÉTODO ACI

DATOS PREVIOS

f_c = 175 kg/cm² Resistencia a la compresión
TMN= 1/2 " Tamaño máximo nominal
SLUMP= 4 " Revenimiento

M.F.= 2.592 Módulo de finura
PUSC= 1518.5 kg/m³ Peso unitario seco compactado
P. esp. C 3150 kg/m³

Agregado	P. específico	CH	ABS
FINO	2.554	0.96	0.43
GRUESO	2.641	0.35	1.14

RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA

f_{cr} = 215 kg/cm²

Resistencia especificada a la	Resistencia promedio
$f_c < 210$	$f_{cr} = f_c + 70$
$210 \leq f_c \leq 350$	$f_{cr} = f_c + 85$
$f_c > 350$	$f_{cr} = 1,1 f_c + 50$

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AG (TMN)

TMN= 1/2 "

SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO (Slump Recomendado por estructura)

SLUMP= 4 "

Tipo de Construcción	Máxima	Minima
Zapatas y Muros de Cimentaciones simples,	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

INCORPORADO POR TEMAS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Agua= 216 l/m³

SLUMP	l/m ³ de concreto para los TMN de agregados gruesos y consistencia l							
1" = 25 mm	3 / 8 "	1 / 2 "	3 / 4 "	1"	1 1 / 2 "	2"	3"	6"
	(9.5 mm)	12.5 mm	(19 mm)	(25 mm)	(37.5 mm)	(50 mm)	(75 mm)	(150 mm)
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
Porcentaje (%) de Aire Atrapado								
% Aire Atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO								
1" a 2" (25 a 50 mm)	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4" (75 a 100 mm)	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7" (150 a 175 mm)	216	205	197	184	174	166	154	---
Porcentaje (%) de Aire incorporado según el grado de exposición (Congelamiento) **								
Exposición Leve	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición Moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición Severa	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4

Pag. 1 de 2

Henry Rivadeneira
Omnitécnicos de Laboratorio
Tec. Laboratorio
USAT

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Pag. 2 de 2

Tesista
Solicitante
Tesis
Lugar

: Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
: Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
: Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con
: Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

DISEÑO DE MEZCLA MÉTODO ACI

SELECCIÓN DE LA RELACION AGUA / CEMENTO POR RESISTENCIA Y DURABILIDAD

a. Por resistencia

$f_{cr} = 215 \text{ kg/cm}^2$
 $a/mc = 0.6725$

f_{cr} A LOS 28 DIAS (kg/cm^2) ^a	C° S/ AIRE INCORPORADO	C° CIAIRE INCORPORADO
140	0.82	0.74
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	0.34
420	0.41	0.33
450	0.38	0.31

DETERMINACIÓN DEL FACTOR CEMENTO (bls/m³)Factor cemento = 321.1896 bls/m³

DETERMINACION DEL CONTENIDO DEL AGREGADO GRUESO

mf= 2.592
b/bo= 0.5708
PUSC= 1518.5 kg/m³
Peso del agregado grueso : 866.7598 kg/m³

Tamaño máximo nominal del A.G.	Volumen del agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de C°, para diversos módulos de finura (b/b _s)			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8" (9.5)	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2" (12.5)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4" (19)	0.66	0.64	0.62	0.6
1" (25 mm.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2" (37.5)	0.75	0.73	0.71	0.69
2" (50.0)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75.0)	0.82	0.8	0.78	0.76
6" (150 mm.)	0.87	0.85	0.83	0.81

DETERMINACION DE LA SUMA DE LOS VOLUMENES ABSOLUTOS DE CEMENTO, AGUA DE DISEÑO, AIRE Y AGREGADO GRUESO

Cemento	0.102	m ³	321.19 kg/m ³
A. Fino	Vol. AF	m ³	839.86 kg/m ³
A. Grueso	0.328	m ³	866.76 kg/m ³
Agua	0.216	m ³	216 lts/m ³
Aire	0.025	m ³	
	0.671	m ³	
Vol. AF=	0.329	m ³	

DETERMINACIÓN APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Pesos húmedos:
Peso H AF: Peso AF Seco * (1+ %C. Humedad AF) 847.92 kg/m³
Peso H AG: Peso AG Seco * (1+ %C. Humedad AG) 869.79 kg/m³

Humedad superficial

Hum. Sup. AF: (% Absorción AF - %C. Humedad AF) 0.53 %
Hum. Sup. AG: (% Absorción AG - %C. Humedad AG) -0.79 %

Aporte de humedad

Aporte AF: (Peso AF Seco * Hum. Sup. AF)/100 4.451 lts/m³
Aporte AG: (Peso AG Seco * Hum. Sup. AG)/100 -6.847 lts/m³

Agua efectiva: Agua de diseño + Aporte Hum. de ag: 218.3961414 lts/m³

DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN EN PESO

Cemento : 321.19 kg/m³
A. Fino : 847.92 kg/m³
A. Grueso : 869.79 kg/m³
Agua : 218.40 lts/m³

Proporción: 1 : 2.640 : 2.708 : 28.90 lt



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Pag. 1 de 7

Tesista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
 Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Req. Lambayeque.

MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS (mV vs Cu/CuSO4) - Sin exposición a ambiente contaminado con cloruros

Tipo de cemento	Tipo I											
Grupo de acero	A						B					
N° Bloque	1		2		3		1		2		3	
Marca de acero	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
Tiempo expuesto (día)	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
5	-59	-52	-31	-37	-49	-59	-51	-23	-33	-30	-36	-55
10	-54	-44	-46	-48	-61	-41	-27	-26	-37	-35	-67	-64
15	-48	-58	-54	-68	-40	-63	-36	-58	-46	-60	-38	-66
20	-76	-95	-105	-102	-81	-96	-79	-95	-91	-112	-84	-107
25	-57	-77	-79	-89	-64	-81	-68	-79	-71	-83	-66	-88
30	-100	-112	-113	-118	-106	-114	-107	-120	-110	-126	-105	-122
35	-125	-134	-142	-149	-147	-157	-136	-143	-162	-148	-139	-99
40	-94	-124	-160	-138	-111	-126	-124	-132	-129	-139	-167	-170
45	-123	-81	-129	-142	-154	-145	-130	-117	-98	-144	-135	-141
50	-95	-103	-83	-90	-122	-79	-107	-82	-114	-106	-171	-118
55	-176	-225	-105	-158	-181	-204	-166	-159	-175	-197	-128	-143
60	-130	-290	-204	-172	-219	-167	-283	-215	-204	-181	-152	-224
65	-201	-148	-148	-255	-277	-196	-160	-248	-159	-252	-134	-199
70	-184	-211	-195	-237	-263	-284	-264	-180	-281	-304	-197	-326
75	-143	-256	-155	-181	-152	-140	-315	-256	-333	-357	-278	-432
80	-162	-204	-173	-167	-229	-163	-306	-161	-270	-288	-245	-315
85	-204	-261	-197	-138	-136	-122	-252	-194	-229	-150	-183	-259
90	-279	-150	-168	-234	-177	-218	-183	-236	-304	-203	-217	-192
95	-225	-209	-180	-186	-253	-245	-219	-201	-373	-184	-268	-217
100	-256	-132	-141	-81	-236	-164	-140	-245	-382	-309	-302	-283
105	-221	-173	-179	-168	-195	-220	-173	-260	-251	-237	-239	-258
110	-182	-191	-164	-155	-217	-232	-248	-203	-195	-274	-206	-186
115	-207	-188	-200	-147	-172	-256	-306	-182	-246	-215	-224	-211
120	-223	-245	-238	-219	-156	-131	-259	-147	-218	-166	-151	-134
125	-144	-276	-147	-196	-211	-186	-230	-184	-263	-178	-170	-269
130	-228	-192	-175	-232	-170	-183	-176	-233	-225	-278	-272	-251
135	-169	-246	-132	-171	-189	-157	-192	-161	-186	-190	-238	-184
140	-189	-187	-186	-186	-159	-139	-276	-194	-153	-147	-189	-257

Tipo de cemento	Tipo V											
Grupo de acero	A						B					
N° Bloque	1		2		3		1		2		3	
Marca de acero	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
Tiempo expuesto (día)	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
5	-33	-20	-30	-25	-32	-32	-19	-22	-17	-43	-28	-46
10	-61	-53	-65	-57	-68	-61	-39	-36	-41	-46	-35	-45
15	-74	-66	-82	-72	-87	-79	-57	-49	-45	-42	-56	-53
20	-83	-87	-91	-96	-95	-99	-70	-65	-62	-59	-68	-67
25	-94	-108	-100	-111	-105	-114	-84	-71	-79	-68	-73	-75
30	-107	-129	-112	-121	-113	-130	-92	-82	-85	-77	-81	-86
35	-135	-164	-146	-158	-148	-169	-159	-134	-123	-115	-111	-119
40	-120	-143	-127	-181	-151	-149	-126	-112	-105	-99	-101	-106
45	-111	-135	-118	-102	-122	-138	-104	-98	-97	-85	-93	-97
50	-158	-177	-133	-150	-140	-156	-142	-123	-118	-110	-107	-115
55	-204	-152	-156	-244	-155	-235	-201	-241	-185	-159	-134	-142
60	-269	-221	-281	-309	-174	-217	-254	-202	-153	-266	-178	-198
65	-309	-314	-228	-253	-207	-302	-197	-239	-220	-145	-152	-131
70	-387	-320	-260	-290	-242	-254	-239	-184	-256	-217	-207	-103
75	-449	-345	-305	-362	-215	-189	-195	-158	-144	-121	-115	-126
80	-306	-237	-259	-314	-180	-303	-226	-190	-161	-109	-127	-174
85	-348	-385	-293	-299	-271	-270	-270	-234	-197	-138	-206	-195
90	-457	-423	-405	-341	-234	-296	-294	-203	-245	-212	-251	-269
95	-364	-302	-386	-425	-292	-329	-258	-361	-202	-207	-308	-183
100	-319	-293	-492	-578	-203	-401	-325	-442	-219	-318	-184	-218
105	-285	-256	-381	-439	-228	-317	-282	-376	-164	-179	-203	-223
110	-237	-245	-256	-288	-261	-252	-250	-297	-182	-251	-215	-204
115	-158	-234	-152	-197	-150	-184	-233	-242	-191	-270	-186	-168
120	-189	-269	-166	-149	-254	-229	-125	-137	-143	-152	-113	-103
130	-124	-111	-181	-180	-135	-115	-147	-126	-126	-189	-167	-184
135	-173	-134	-205	-208	-194	-108	-123	-115	-108	-158	-155	-122
140	-135	-157	-149	-171	-194	-116	-107	-158	-84	-142	-114	-132



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

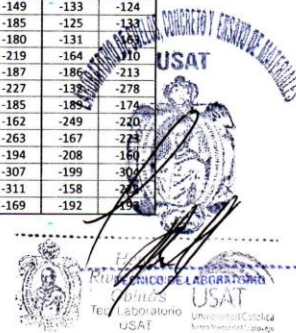
Tesista :
 Solicitante :
 Tesis :
 Lugar :

Sakafña Díaz Shalem Altair Getrud
 Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros
 Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS (mV vs Cu/CuSO4) - Exposición a intemperie marina

Tipo de cemento	Tipo I											
Grupo de acero	A						B					
Nº Bloque	1		2		3		1		2		3	
Marca de acero	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
Tiempo expuesto (día)	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
5	-34	-32	-36	-47	-33	-38	-28	-47	-44	-38	-24	-37
10	-52	-54	-60	-71	-47	-68	-53	-75	-71	-84	-68	-57
15	-98	-105	-103	-128	-82	-107	-84	-116	-102	-125	-111	-103
20	-66	-83	-74	-95	-68	-92	-67	-92	-89	-99	-80	-77
25	-59	-79	-91	-86	-63	-90	-63	-74	-59	-103	-115	-69
30	-74	-90	-79	-102	-98	-106	-73	-98	-90	-89	-98	-84
35	-103	-125	-157	-181	-119	-168	-168	-117	-189	-110	-122	-155
40	-85	-109	-186	-145	-168	-157	-96	-153	-107	-168	-195	-121
45	-129	-144	-240	-208	-144	-134	-145	-124	-151	-132	-271	-203
50	-176	-142	-152	-139	-214	-157	-261	-148	-235	-132	-228	-287
55	-231	-138	-105	-221	-183	-162	-177	-213	-313	-169	-186	-138
60	-148	-187	-129	-176	-165	-214	-154	-185	-202	-217	-170	-206
65	-136	-112	-135	-144	-120	-181	-190	-222	-141	-231	-153	-175
70	-153	-139	-110	-107	-137	-169	-108	-51	-109	-86	-100	-161
75	-125	-103	-110	-129	-117	-133	-110	-182	-132	-208	-96	-123
80	-157	-182	-140	-116	-169	-205	-132	-96	-163	-120	-147	-153
85	-188	-175	-288	-323	-224	-256	-194	-296	-243	-284	-251	-219
90	-206	-169	-179	-119	-143	-107	-207	-168	-189	-179	-186	-158
95	-145	-116	-206	-171	-384	-192	-236	-208	-178	-237	-269	-247
100	-169	-223	-139	-199	-185	-257	-327	-175	-196	-247	-212	-307
105	-160	-186	-255	-201	-170	-206	-293	-269	-253	-257	-249	-354
110	-183	-170	-284	-308	-219	-247	-339	-284	-238	-314	-380	-234
115	-316	-236	-177	-208	-222	-177	-371	-470	-401	-447	-386	-251
120	-249	-270	-240	-161	-189	-206	-350	-370	-250	-397	-257	-371
125	-207	-155	-269	-229	-114	-192	-279	-275	-320	-228	-174	-255
130	-212	-257	-291	-198	-259	-253	-344	-351	-232	-364	-253	-383
135	-157	-276	-182	-124	-129	-287	-342	-198	-243	-310	-240	-275
140	-157	-204	-149	-113	-173	-164	-164	-198	-179	-250	-260	-296

Tipo de cemento	Tipo V											
Grupo de acero	A						B					
Nº Bloque	1		2		3		1		2		3	
Marca de acero	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
Tiempo expuesto (día)	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
5	-54	-56	-45	-72	-41	-65	-28	-42	-33	-45	-31	-47
10	-36	-48	-60	-23	-46	-25	-42	-51	-39	-43	-28	-50
15	-37	-69	-44	-30	-55	-49	-63	-82	-58	-50	-51	-76
20	-50	-86	-47	-45	-64	-64	-74	-137	-102	-55	-86	-142
25	-76	-123	-61	-82	-102	-139	-97	-79	-96	-59	-135	-128
30	-51	-70	-54	-47	-77	-81	-131	-116	-104	-93	-90	-96
35	-118	-94	-125	-13	-130	-145	-102	-163	-81	-109	-115	-143
40	-72	-92	-162	-58	-83	-196	-63	-128	-79	-147	-74	-128
45	-81	-155	-107	-193	-91	-168	-74	-80	-101	-185	-114	-105
50	-130	-164	-144	-111	-159	-209	-157	-115	-142	-149	-133	-124
55	-102	-102	-142	-134	-91	-158	-91	-127	-95	-99	-101	-132
60	-77	-119	-95	-51	-64	-172	-73	-80	-58	-187	-114	-177
65	-146	-155	-127	-100	-136	-180	-141	-123	-138	-124	-103	-111
70	-80	-83	-126	-67	-74	-143	-79	-100	-91	-79	-92	-116
75	-81	-92	-110	-85	-118	-104	-132	-107	-119	-116	-95	-106
80	-137	-163	-144	-111	-159	-209	-150	-161	-148	-149	-133	-124
85	-185	-178	-302	-217	-381	-437	-128	-174	-157	-185	-125	-133
90	-107	-138	-117	-103	-172	-149	-97	-160	-127	-180	-131	-141
95	-162	-219	-165	-168	-258	-209	-130	-237	-111	-219	-164	-194
100	-243	-277	-141	-199	-193	-248	-207	-258	-158	-187	-186	-213
105	-140	-190	-112	-196	-135	-240	-154	-359	-190	-227	-132	-278
110	-185	-202	-302	-221	-381	-437	-162	-206	-174	-185	-189	-174
115	-190	-234	-301	-247	-252	-255	-170	-393	-213	-162	-249	-220
120	-186	-170	-193	-247	-276	-351	-214	-333	-175	-263	-167	-273
125	-261	-129	-169	-347	-129	-215	-181	-219	-128	-194	-208	-160
130	-270	-292	-199	-324	-243	-294	-216	-375	-258	-307	-199	-307
135	-195	-231	-124	-188	-134	-186	-164	-235	-202	-311	-158	-242
140	-163	-191	-175	-200	-133	-194	-173	-228	-112	-169	-192	-194



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
 Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS (mV vs Cu/CuSO4) - Exposición a arena contaminada con 3.5% de NaCl

Tipo de cemento	Tipo I											
Grupo de acero	A						B					
Nº Bloque	1		2		3		1		2		3	
Marca de acero	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
Tiempo expuesto (día)	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
5	-43	-34	-20	-38	-25	-45	-32	-22	-24	-29	-25	-35
10	-48	-35	-46	-35	-42	-36	-36	-49	-30	-37	-33	-40
15	-94	-77	-85	-64	-72	-60	-71	-62	-68	-81	-59	-73
20	-125	-96	-93	-82	-101	-91	-102	-84	-85	-97	-80	-109
25	-107	-78	-118	-65	-89	-84	-98	-67	-74	-94	-115	-134
30	-158	-131	-135	-127	-116	-103	-133	-108	-110	-83	-121	-105
35	-120	-134	-113	-141	-97	-119	-115	-129	-67	-78	-92	-86
40	-152	-160	-176	-154	-165	-150	-174	-157	-131	-155	-168	-182
45	-131	-125	-180	-228	-148	-196	-149	-164	-183	-170	-215	-159
50	-184	-207	-235	-199	-173	-285	-160	-201	-174	-222	-386	-137
55	-222	-184	-268	-275	-142	-369	-187	-256	-220	-278	-502	-124
60	-248	-218	-300	-249	-121	-302	-212	-194	-245	-165	-498	-177
65	-263	-297	-285	-251	-169	-276	-274	-252	-187	-206	-363	-190
70	-214	-370	-269	-223	-100	-225	-381	-241	-109	-117	-280	-221
75	-238	-386	-294	-208	-187	-160	-316	-283	-205	-159	-268	-279
80	-191	-302	-305	-255	-243	-283	-288	-292	-271	-244	-297	-256
85	-149	-361	-266	-179	-288	-244	-244	-209	-314	-223	-346	-227
90	-154	-297	-317	-289	-305	-264	-287	-255	-302	-279	-366	-210
95	-183	-256	-342	-311	-199	-320	-356	-320	-363	-257	-311	-248
100	-261	-284	-286	-297	-215	-353	-405	-386	-279	-205	-404	-292
105	-209	-173	-310	-162	-136	-272	-320	-415	-200	-159	-475	-168
110	-274	-217	-259	-255	-214	-308	-354	-383	-265	202	-421	-235
115	-158	-283	-196	-309	-298	-291	-387	-361	-199	-156	-392	-278
120	-201	-252	-267	-344	-347	-265	-303	-259	-276	-240	-258	-314
125	-256	-308	-270	-302	-385	-331	-388	-376	-385	-335	-347	-258
130	-325	-359	-193	-367	-312	-274	-296	-328	-480	-277	-413	-309
135	-474	-273	-251	-322	-393	-329	-289	-240	-394	-210	-468	-348
140	-554	-370	-189	-246	-329	-260	-245	-294	-306	-154	-508	-480

Tipo de cemento	Tipo V											
Grupo de acero	A						B					
Nº Bloque	1		2		3		1		2		3	
Marca de acero	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
Tiempo expuesto (día)	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
5	-24	-29	-25	-34	-29	-49	-37	-50	-43	-62	-22	-19
10	-38	-33	-34	-46	-29	-41	-40	-59	-47	-57	-48	-39
15	-57	-77	-61	-82	-68	-89	-63	-84	-71	-73	-75	-66
20	-83	-115	-85	-94	-102	-120	-99	-112	-107	-95	-96	-80
25	-149	-158	-126	-133	-150	-186	-124	-147	-138	-122	-113	-121
30	-137	-161	-140	-179	-163	-192	-85	-118	-159	-169	-140	-133
35	-128	-119	-175	-206	-182	-168	-167	-203	-186	-170	-162	-194
40	-204	-216	-198	-255	-147	-234	-142	-234	-160	-221	-225	-187
45	-272	-325	-306	-283	-291	-301	-291	-250	-254	-298	-286	-270
50	-355	-259	-417	-316	-388	-395	-245	-219	-382	-362	-323	-336
55	-290	-324	-480	-232	-479	-489	-178	-171	-447	-414	-488	-405
60	-323	-375	-453	-290	-404	-361	-212	-220	-393	-302	-459	-427
65	-279	-351	-411	-337	-466	-294	-186	-256	-320	-273	-431	-384
70	-212	-328	-209	-319	-426	-253	-234	-321	-277	-195	-389	-328
75	-305	-393	-268	-291	-354	-380	-301	-264	-195	-170	-276	-293
80	-287	-222	-386	-347	-295	-355	-383	-208	-162	-269	-302	-344
85	-213	-410	-318	-259	-348	-292	-345	-166	-106	-151	-355	-334
90	-289	-355	-391	-277	-364	-349	-250	-387	-273	-294	-401	-348
95	-324	-310	-472	-226	-484	-558	-147	-172	-445	-419	-485	-375
100	-375	-409	-408	-315	-607	-431	-202	-233	-289	-376	-300	-321
105	-419	-503	-350	-256	-731	-460	-195	-268	-223	-350	-288	-362
110	-356	-527	-319	-291	-503	-369	-221	-293	-258	-267	-314	-246
115	-384	-346	-267	-382	-364	-390	-332	-263	-213	-239	-259	-218
120	-425	-375	-346	-336	-449	-358	-249	-209	-307	-292	-298	-255
125	-371	-404	-305	-369	-385	-323	-306	-357	-259	-318	-233	-285
130	-410	-369	-342	-300	-427	-433	-278	-296	-342	-254	-296	-307
135	-484	-488	-317	-357	-500	-315	-313	-369	-320	-301	-502	-343
140	-526	-521	-261	-264	-418	-260	-331	-402	-276	-285	-592	-296



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

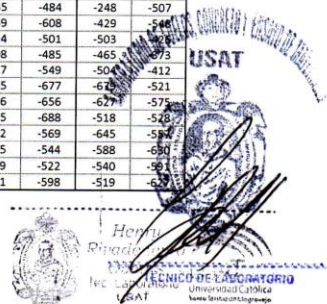
Pag. 4 de 7

Tesista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
 Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS (mV vs Cu/CuSO4) - Exposición a agua de mar

Tipo de cemento	Tipo I											
	A						B					
	1		2		3		1		2		3	
Nº Bloque	1		2		3		1		2		3	
Marca de acero	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
Tiempo expuesto (día)	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
5	-23	-38	-66	-60	-34	-41	-51	-62	-70	-75	-61	-54
10	-26	-41	-54	-44	-25	-30	-55	-65	-57	-62	-42	-51
15	-94	-136	-102	-89	-81	-72	-109	-129	-124	-153	-85	-117
20	-165	-221	-180	-158	-154	-145	-173	-184	-205	-186	-157	-179
25	-112	-309	-237	-215	-218	-214	-224	-253	-166	-248	-201	-303
30	-126	-385	-298	-190	-249	-171	-197	-227	-213	-195	-289	-268
35	-270	-427	-263	-163	-163	-129	-152	-265	-142	-124	-393	-241
40	-273	-448	-234	-145	-221	-213	-181	-235	-199	-240	-254	-273
45	-309	-312	-285	-330	-248	-271	-243	-217	-265	-239	-288	-343
50	-271	-297	-253	-294	-317	-252	-317	-405	-290	-301	-252	-422
55	-255	-226	-302	-269	-269	-305	-395	-380	-231	-297	-329	-368
60	-227	-144	-269	-243	-240	-360	-558	-458	-276	-354	-397	-484
65	-187	-268	-205	-292	-305	-349	-449	-407	-304	-456	-318	-419
70	-253	-220	-229	-276	-352	-284	-405	-489	-331	-503	-342	-431
75	-291	-175	-264	-373	-307	-355	-497	-594	-276	-566	-293	-318
80	-222	-273	-278	-329	-264	-289	-513	-652	-390	-601	-358	-234
85	-374	-388	-395	-471	-371	-350	-532	-590	-486	-579	-437	-341
90	-526	-469	-540	-536	-459	-549	-468	-545	-393	-534	-515	-427
95	-617	-527	-503	-458	-422	-476	-601	-519	-479	-512	-456	-498
100	-542	-426	-482	-391	-373	-405	-557	-604	-542	-456	-438	-403
105	-469	-396	-527	-487	-494	-474	-416	-573	-584	-627	-409	-485
110	-538	-474	-583	-603	-537	-542	-649	-525	-630	-551	-510	-543
115	-605	-580	-559	-550	-615	-598	-695	-602	-688	-584	-593	-576
120	-523	-473	-519	-607	-468	-471	-733	-579	-631	-602	-706	-513
125	-596	-539	-482	-628	-507	-546	-648	-613	-659	-645	-634	-539
130	-610	-565	-537	-604	-551	-617	-584	-658	-607	-622	-571	-567
135	-574	-518	-559	-539	-483	-513	-520	-594	-592	-581	-608	-685
140	-452	-584	-566	-563	-569	-552	-579	-565	-423	-537	-545	-634

Tipo de cemento	Tipo V											
	A						B					
	1		2		3		1		2		3	
Nº Bloque	1		2		3		1		2		3	
Marca de acero	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
Tiempo expuesto (día)	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
5	-36	-48	-90	-66	-56	-44	-35	-78	-85	-27	-25	-45
10	-66	-53	-36	-66	-43	-54	-59	-50	-60	-34	-62	-26
15	-106	-117	-91	-95	-112	-88	-84	-92	-71	-97	-73	-80
20	-152	-203	-175	-152	-139	-161	-126	-185	-112	-129	-105	-134
25	-198	-258	-124	-124	-220	-135	-202	-138	-169	-246	-194	-257
30	-239	-346	-207	-211	-265	-207	-175	-210	-137	-283	-276	-302
35	-193	-288	-142	-198	-332	-258	-264	-269	-256	-350	-242	-274
40	-245	-300	-170	-202	-294	-283	-254	-288	-248	-296	-273	-259
45	-248	-277	-207	-129	-265	-305	-305	-210	-261	-215	-259	-208
50	-271	-321	-294	-183	-312	-349	-170	-322	-297	-203	-314	-252
55	-239	-315	-365	-304	-378	-236	-233	-285	-245	-157	-276	-291
60	-304	-287	-413	-268	-426	-221	-261	-295	-326	-222	-311	-236
65	-299	-261	-385	-248	-302	-194	-359	-335	-305	-257	-327	-261
70	-307	-305	-294	-317	-358	-252	-294	-498	-266	-294	-285	-376
75	-283	-356	-277	-409	-319	-301	-268	-461	-231	-305	-219	-502
80	-166	-383	-168	-482	-270	-336	-249	-364	-217	-391	-123	-472
85	-259	-524	-283	-600	-397	-498	-375	-406	-335	-484	-248	-507
90	-381	-493	-322	-561	-410	-633	-493	-467	-449	-608	-429	-546
95	-405	-372	-419	-524	-468	-549	-446	-484	-424	-501	-503	-546
100	-443	-483	-495	-507	-327	-520	-461	-459	-408	-485	-465	-475
105	-536	-519	-547	-418	-476	-596	-482	-602	-517	-549	-504	-412
110	-418	-572	-614	-486	-504	-647	-559	-644	-455	-677	-616	-521
115	-491	-490	-581	-513	-495	-415	-605	-637	-546	-656	-617	-575
120	-418	-356	-447	-423	-537	-513	-617	-477	-455	-688	-518	-526
125	-518	-566	-496	-579	-502	-562	-691	-628	-682	-569	-645	-594
130	-544	-527	-508	-550	-610	-633	-618	-595	-605	-544	-588	-680
135	-562	-525	-553	-528	-631	-584	-577	-535	-559	-522	-540	-581
140	-587	-491	-541	-543	-606	-519	-492	-468	-461	-598	-519	-633



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
 Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS (mV vs Cu/CuSO4) - Exposición a agua contaminada al 3.5% de NaCl

Tipo de cemento	Tipo I											
Grupo de acero	A						B					
Nº Bloque	1		2		3		1		2		3	
Marca de acero	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
Tiempo expuesto (día)												
5	-55	-42	-27	-43	-66	-74	-38	-40	-44	-67	-80	-84
10	-146	-160	-108	-152	-121	-182	-123	-131	-145	-176	-204	-170
15	-232	-259	-193	-264	-207	-230	-206	-158	-207	-239	-257	-245
20	-207	-294	-242	-311	-218	-257	-264	-209	-239	-196	-228	-283
25	-215	-258	-169	-269	-227	-305	-298	-254	-304	-238	-266	-202
30	-239	-302	-227	-185	-313	-351	-257	-382	-289	-313	-241	-290
35	-422	-479	-321	-140	-345	-403	-305	-345	-252	-291	-288	-327
40	-501	-443	-313	-156	-301	-458	-383	-360	-274	-310	-365	-442
45	-425	-337	-410	-173	-286	-216	-259	-318	-347	-294	-263	-368
50	-469	-391	-482	-305	-357	-304	-308	-267	-295	-251	-414	-450
55	-406	-430	-453	-412	-402	-287	-416	-389	-421	-202	-370	-401
60	-312	-398	-488	-484	-454	-489	-451	-353	-160	-173	-272	-488
65	-325	-406	-527	-495	-351	-529	-301	-376	-192	-213	-319	-566
70	-396	-457	-402	-516	-428	-461	-367	-478	-222	-205	-356	-497
75	-459	-482	-470	-498	-375	-413	-394	-421	-313	-289	-315	-403
80	-378	-505	-384	-511	-433	-589	-420	-452	-387	-345	-394	-460
85	-487	-529	-501	-607	-512	-544	-506	-389	-458	-393	-471	-435
90	-415	-554	-404	-580	-556	-439	-455	-426	-568	-430	-502	-357
95	-506	-485	-455	-500	-512	-605	-512	-488	-517	-416	-569	-431
100	-593	-521	-528	-577	-534	-693	-568	-535	-603	-492	-581	-568
105	-718	-648	-578	-706	-421	-781	-673	-626	-691	-670	-729	-731
110	-659	-602	-640	-635	-496	-708	-620	-590	-634	-533	-647	-644
115	-627	-659	-583	-607	-564	-643	-661	-624	-672	-589	-625	-605
120	-601	-698	-617	-580	-522	-610	-680	-653	-508	-565	-590	-556
125	-563	-737	-649	-649	-608	-674	-645	-602	-537	-599	-676	-578
130	-525	-706	-682	-728	-571	-572	-619	-564	-601	-628	-798	-647
135	-614	-685	-653	-693	-519	-589	-652	-705	-675	-733	-711	-692
140	-661	-654	-616	-571	-549	-604	-703	-691	-694	-796	-803	-769

Tipo de cemento	Tipo V											
Grupo de acero	A						B					
Nº Bloque	1		2		3		1		2		3	
Marca de acero	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
Tiempo expuesto (día)												
5	-76	-54	-50	-72	-71	-61	-48	-64	-23	-60	-55	-69
10	-157	-146	-120	-182	-184	-177	-137	-156	-109	-171	-148	-186
15	-198	-229	-176	-268	-231	-250	-184	-207	-192	-215	-225	-249
20	-242	-294	-265	-305	-319	-214	-236	-294	-218	-266	-251	-270
25	-305	-361	-311	-372	-373	-306	-288	-263	-302	-329	-337	-241
30	-394	-437	-402	-454	-438	-351	-250	-305	-344	-408	-273	-324
35	-370	-475	-379	-420	-406	-403	-323	-251	-415	-487	-402	-476
40	-438	-368	-452	-392	-445	-377	-396	-249	-487	-563	-329	-410
45	-386	-425	-501	-466	-517	-429	-445	-301	-423	-482	-374	-507
50	-463	-334	-534	-478	-556	-405	-402	-395	-509	-548	-420	-459
55	-325	-410	-582	-521	-453	-333	-319	-476	-531	-602	-398	-370
60	-379	-492	-519	-455	-406	-274	-248	-397	-487	-531	-479	-499
65	-402	-516	-551	-497	-448	-382	-326	-448	-497	-563	-499	-547
70	-484	-591	-575	-530	-462	-353	-410	-502	-548	-619	-565	-476
75	-513	-524	-607	-575	-509	-439	-477	-460	-582	-540	-602	-531
80	-441	-482	-586	-648	-420	-494	-524	-501	-491	-465	-654	-603
85	-358	-405	-523	-612	-364	-406	-562	-594	-409	-383	-689	-672
90	-297	-367	-452	-575	-425	-383	-531	-678	-314	-346	-672	-506
95	-374	-444	-528	-552	-496	-428	-576	-583	-402	-435	-680	-591
100	-462	-560	-603	-629	-551	-505	-655	-510	-489	-526	-662	-641
105	-628	-663	-719	-713	-703	-637	-658	-671	-628	-681	-613	-608
110	-531	-597	-656	-701	-625	-574	-604	-629	-547	-608	-613	-679
115	-615	-642	-687	-683	-679	-618	-629	-541	-619	-620	-586	-646
120	-546	-567	-624	-654	-632	-550	-565	-473	-566	-644	-520	-612
125	-589	-611	-648	-591	-688	-647	-597	-522	-674	-678	-554	-584
130	-613	-534	-705	-684	-559	-525	-673	-631	-652	-657	-608	-663
135	-678	-558	-687	-613	-626	-679	-655	-689	-689	-526	-574	-609
140	-636	-606	-664	-642	-594	-606	-628	-652	-643	-651	-636	-636

Stamp: TECNICO DE LABORATORIO
 Stamp: USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
 Stamp: Tec. Laboratorio USAT
 Stamp: Rivas Reyna Oblitas

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Testista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
 Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS (mV vs Cu/CuSO4) - Exposición a agua contaminada al 3.5% de NaCl con periodos de secado

Tipo de cemento	Tipo I											
	A						B					
	1		2		3		1		2		3	
Grupo de acero												
Nº Bloque												
Marca de acero												
Tiempo expuesto (día)	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
5	-78	-78	-60	-50	-83	-79	-60	-80	-56	-60	-74	-57
10	-182	-135	-149	-121	-154	-162	-154	-178	-149	-121	-193	-105
15	-263	-187	-221	-234	-275	-248	-221	-252	-225	-277	-312	-296
20	-231	-226	-172	-219	-339	-280	-254	-333	-195	-373	-429	-382
25	-274	-319	-258	-274	-407	-183	-306	-428	-258	-342	-362	-411
30	-362	-377	-345	-358	-471	-262	-287	-390	-323	-401	-394	-356
35	-446	-342	-383	-429	-413	-351	-319	-357	-404	-394	-275	-270
40	-235	-392	-337	-400	-468	-275	-222	-279	-515	-466	-252	-298
45	-495	-453	-416	-463	-520	-347	-310	-356	-561	-473	-317	-349
50	-417	-506	-364	-497	-589	-424	-398	-414	-549	-422	-403	-436
55	-461	-439	-321	-438	-432	-511	-437	-511	-474	-480	-466	-382
60	-429	-514	-405	-392	-487	-436	-483	-535	-508	-434	-549	-473
65	-518	-573	-372	-333	-449	-350	-464	-442	-566	-438	-518	-556
70	-484	-462	-433	-418	-415	-445	-501	-470	-412	-527	-485	-511
75	-397	-371	-309	-352	-337	-364	-394	-385	-328	-423	-363	-409
80	-516	-426	-425	-477	-453	-419	-479	-561	-493	-549	-527	-520
85	-622	-549	-534	-583	-578	-509	-518	-622	-547	-674	-602	-638
90	-510	-585	-611	-621	-617	-597	-553	-573	-631	-597	-646	-577
95	-594	-631	-567	-664	-709	-635	-602	-549	-682	-648	-714	-669
100	-498	-563	-583	-705	-654	-680	-567	-625	-574	-713	-658	-705
105	-406	-478	-629	-678	-711	-661	-531	-577	-525	-609	-603	-576
110	-581	-534	-688	-639	-683	-628	-639	-639	-635	-611	-660	-584
115	-659	-615	-484	-547	-713	-505	-676	-714	-670	-705	-728	-640
120	-710	-692	-561	-638	-687	-573	-715	-668	-702	-756	-771	-703
125	-611	-659	-643	-745	-652	-648	-743	-721	-763	-712	-739	-629
130	-637	-611	-624	-699	-719	-674	-794	-705	-749	-768	-685	-725
135	-705	-664	-587	-673	-755	-612	-737	-649	-721	-770	-733	-854
140	-689	-640	-563	-643	-772	-586	-782	-672	-688	-727	-682	-938

Tipo de cemento	Tipo V											
	A						B					
	1		2		3		1		2		3	
Grupo de acero												
Nº Bloque												
Marca de acero												
Tiempo expuesto (día)	C	AM	C	AM	C	AM	AA	G	AA	G	AA	G
5	-57	-80	-92	-86	-80	-65	-89	-86	-99	-79	-44	-72
10	-199	-138	-143	-174	-167	-159	-162	-174	-153	-185	-141	-116
15	-268	-212	-220	-291	-154	-276	-247	-268	-234	-259	-216	-205
20	-306	-231	-258	-263	-275	-304	-226	-342	-288	-321	-190	-287
25	-484	-319	-272	-305	-216	-382	-279	-391	-321	-253	-268	-334
30	-415	-425	-325	-213	-248	-417	-347	-342	-406	-317	-234	-299
35	-568	-562	-406	-173	-337	-368	-405	-425	-320	-360	-289	-385
40	-704	-536	-432	-307	-363	-395	-459	-470	-390	-449	-318	-367
45	-669	-408	-507	-439	-425	-407	-526	-501	-427	-405	-385	-416
50	-597	-362	-573	-374	-514	-451	-484	-539	-503	-393	-442	-478
55	-508	-423	-529	-448	-571	-523	-541	-577	-452	-472	-529	-431
60	-462	-567	-498	-491	-461	-442	-487	-552	-529	-518	-401	-489
65	-517	-419	-464	-522	-385	-479	-345	-538	-404	-425	-320	-510
70	-426	-365	-369	-418	-402	-395	-402	-493	-361	-333	-385	-428
75	-337	-273	-278	-301	-345	-288	-313	-318	-298	-296	-310	-336
80	-403	-325	-342	-376	-426	-339	-359	-392	-364	-340	-407	-425
85	-455	-396	-427	-453	-518	-420	-405	-465	-421	-413	-549	-483
90	-521	-439	-543	-521	-569	-543	-472	-533	-577	-501	-506	-574
95	-464	-522	-504	-617	-601	-589	-518	-594	-532	-479	-624	-483
100	-542	-574	-550	-534	-584	-631	-494	-531	-506	-426	-386	-352
105	-433	-618	-578	-629	-635	-576	-457	-601	-498	-517	-553	-529
110	-598	-587	-568	-591	-659	-499	-535	-566	-579	-540	-516	-557
115	-625	-641	-601	-637	-703	-567	-564	-532	-545	-521	-598	-645
120	-704	-683	-624	-574	-642	-621	-600	-573	-576	-608	-632	-647
125	-666	-574	-653	-552	-607	-678	-578	-604	-615	-547	-541	-570
130	-639	-655	-595	-638	-631	-684	-596	-638	-547	-517	-620	-608
135	-615	-693	-569	-671	-668	-591	-621	-616	-562	-497	-574	-637
140	-624	-642	-657	-709	-624	-648	-537	-569	-588	-582	-616	-653

USAT
 Oficina de Control de Materiales
 USAT
 Oficina de Laboratorio
 USAT
 Oficina de Estadística
 Oficina de Seguimiento


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Pag. 7 de 7

Tesista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS - Estructuras en zona costera

N° Estructura	Edad (años)	Mediciones(mV vs Cu/CuSO4)			
1	8	-590	-399	-418	-424
2	10	-762	-655	-644	-537
3	12	-586	-544	-581	-623
4	17	-505	-585	-560	-576
5	25	-580	-593	-596	-559


 Henry
 Obitua
 Téc. Laboratorio
 USAT



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

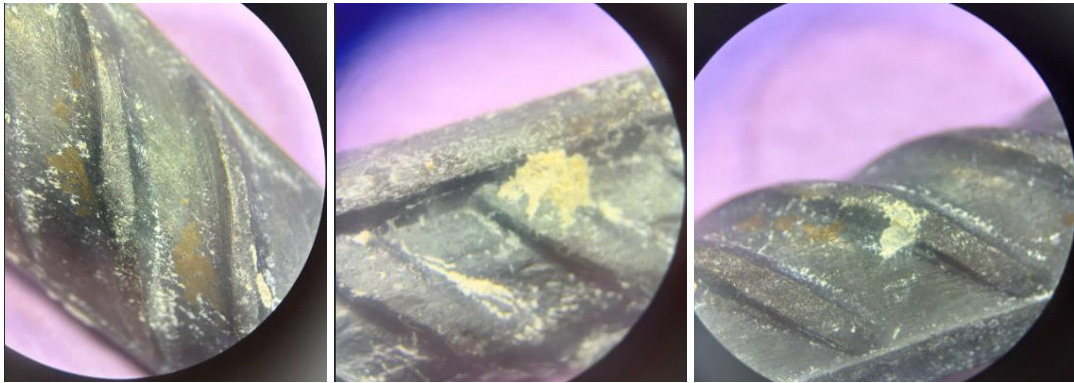
Tesista : Saldaña Díaz Shalem Altair Getrud
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Indicador de corrosión del acero embebido en concreto frente a ambientes con presencia de contaminación de cloruros
Lugar :
Fecha de emisión : 24/05/2024

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05
Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

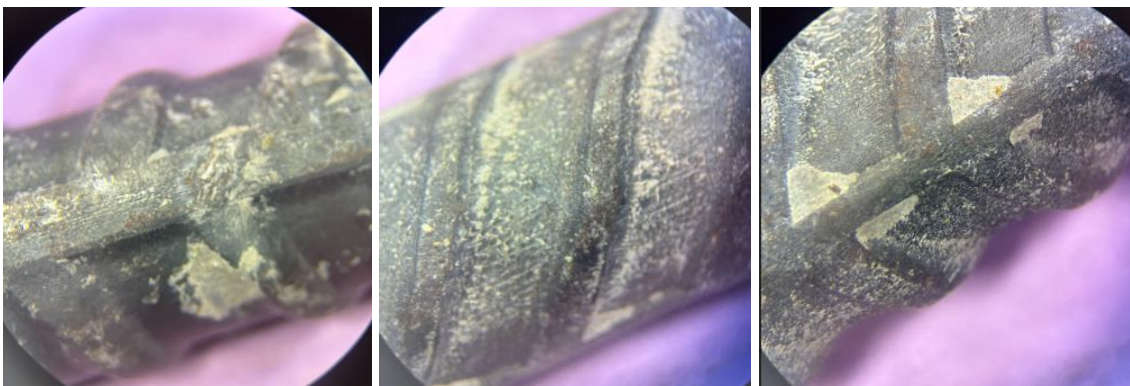
Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Carga (P) (kg)	Dias	f'c kg/cm ²
01	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO V	19/10/2023	26/10/2023	30587.20	7	173.09
02	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO V	19/10/2023	26/10/2023	32666.40	7	184.85
03	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO V	19/10/2023	2/11/2023	33228.50	14	188.03
04	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO V	19/10/2023	2/11/2023	36325.50	14	205.56
05	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO V	19/10/2023	16/11/2023	42802.40	28	242.21
06	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO V	19/10/2023	16/11/2023	43485.30	28	246.08
07	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO I	6/11/2023	13/11/2023	15505.60	7	197.42
08	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO I	6/11/2023	13/11/2023	17801.80	7	226.66
09	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO I	6/11/2023	13/11/2023	17760.40	7	226.13
10	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO I	6/11/2023	20/11/2023	17644.00	14	224.65
11	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO I	6/11/2023	20/11/2023	17827.30	14	226.98
12	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO I	6/11/2023	20/11/2023	16686.70	14	212.46
13	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO I	6/11/2023	4/12/2023	19619.40	28	249.80
14	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO I	6/11/2023	4/12/2023	19148.20	28	243.80
15	CONCRETO MEZCLA CEMENTO TIPO I	6/11/2023	4/12/2023	19435.90	28	247.46


 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

 USAT
 Universidad Católica
 Santa Teresita de Guayaquil
 TECNICO DE LABORATORIO



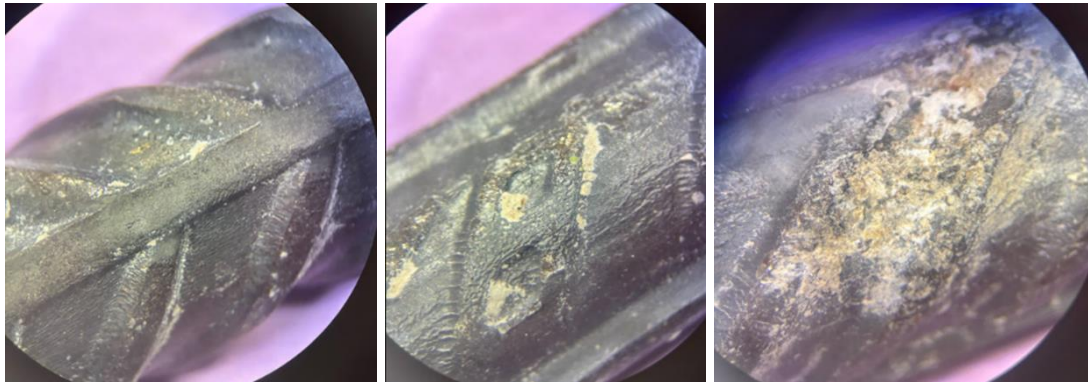
Anexo 4 Inspección visual /Ambiente 01 – 1B I



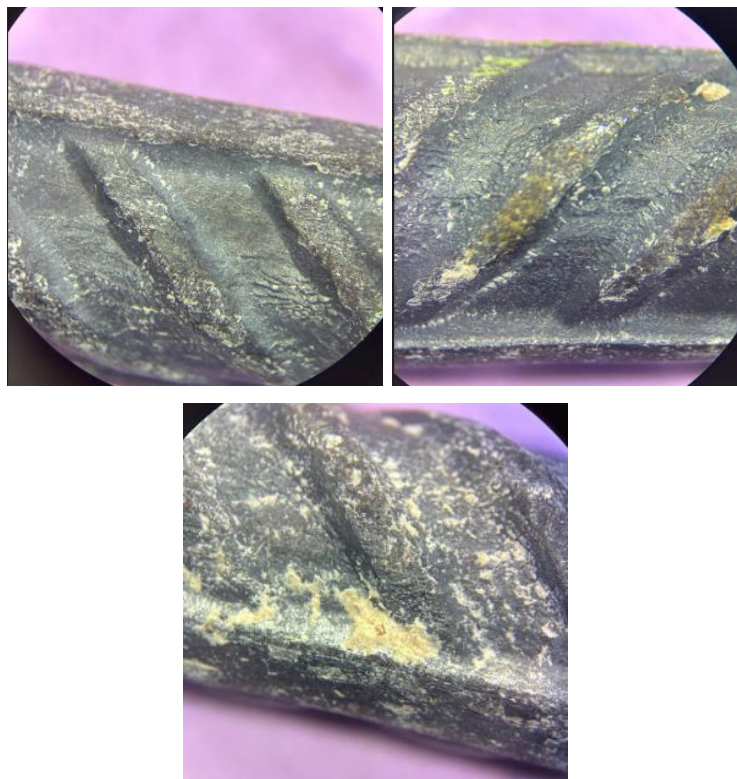
Anexo 5 Inspección visual /Ambiente 01 – 2A V



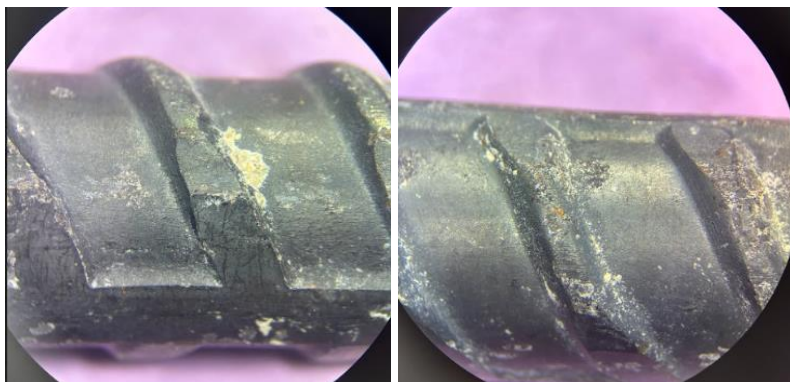
Anexo 6 Inspección visual /Ambiente 02 – 2A V



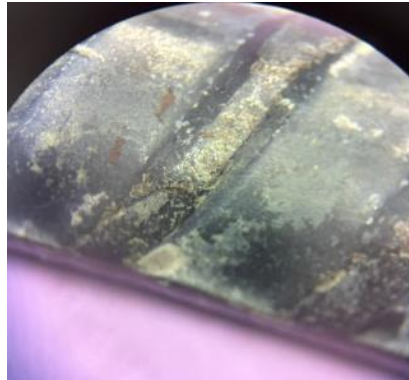
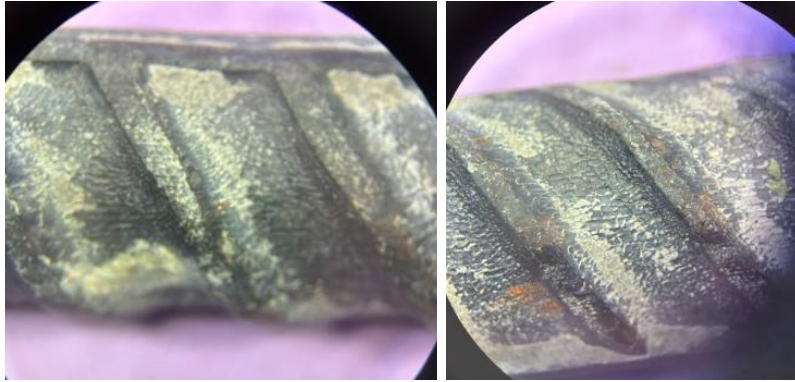
Anexo 7 Inspección visual /Ambiente 02 – 3B I



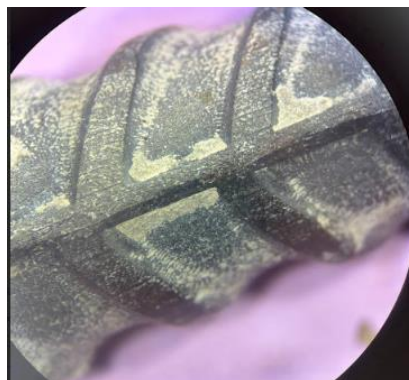
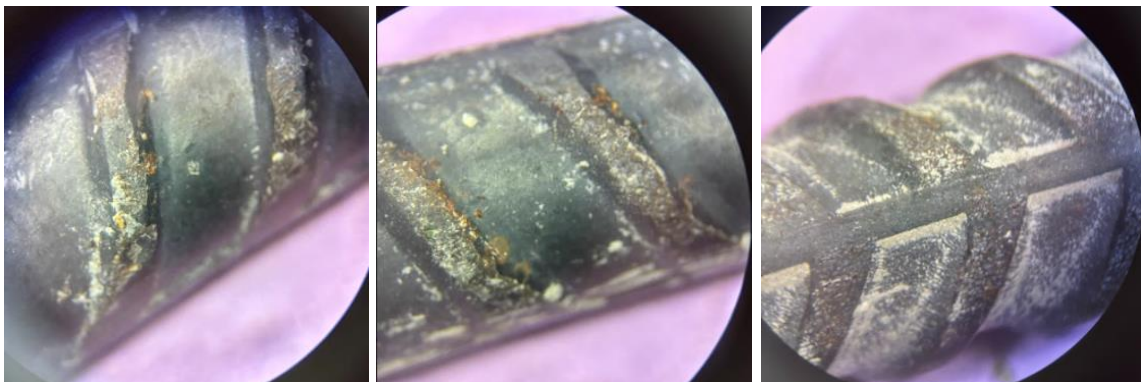
Anexo 8 Inspección visual /Ambiente 03 – 1A I



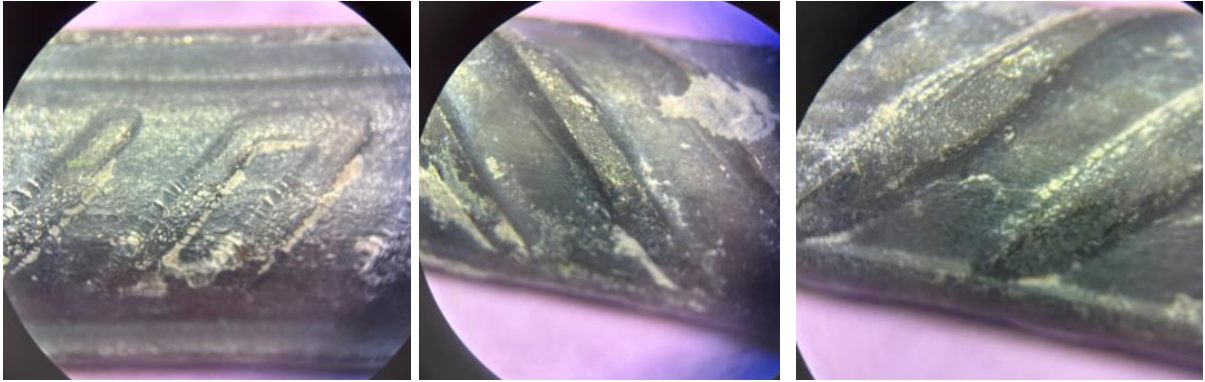
Anexo 8 Inspección visual /Ambiente 03 – 3B V



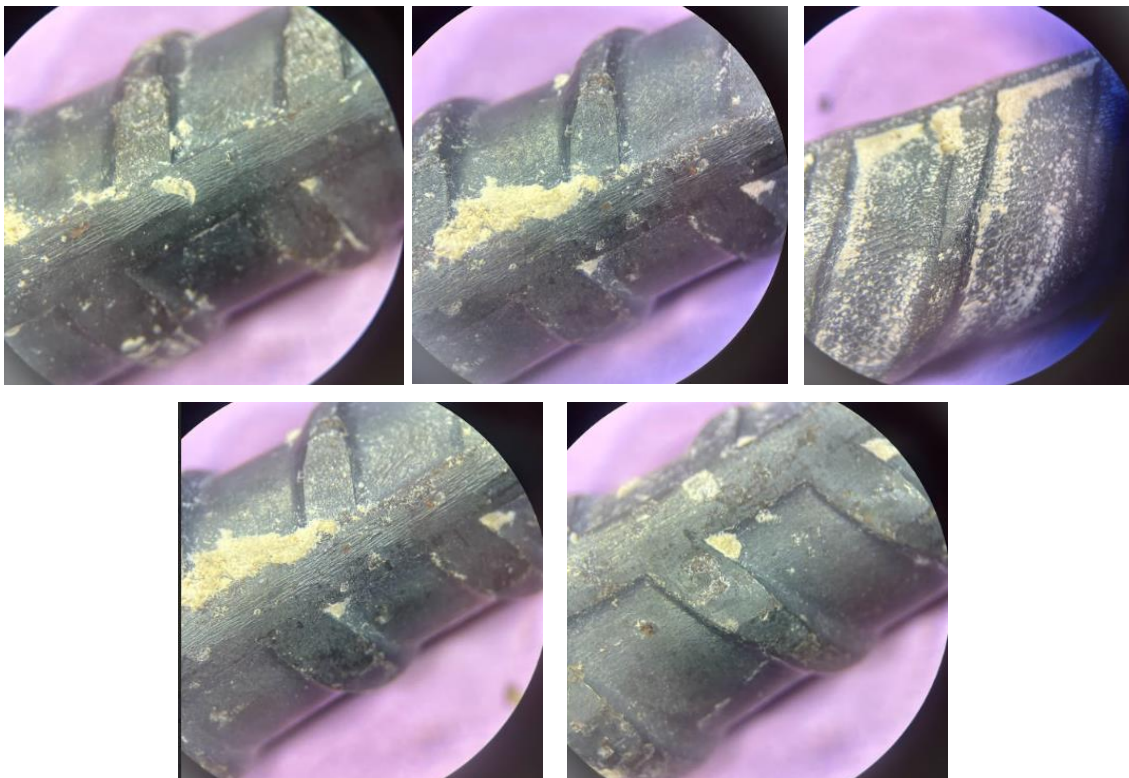
Anexo 13 Inspección visual /Ambiente 04 2A V



Anexo 9 Inspección visual /Ambiente 04 – 3A V

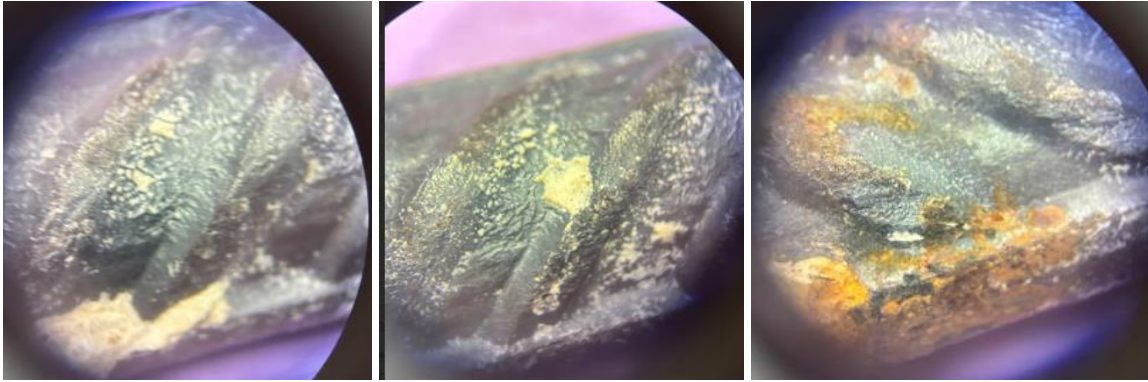


Anexo 12 Inspección visual /Ambiente 04 – 3B V

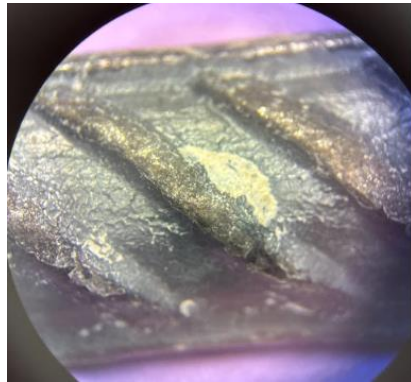


Anexo 10 Inspección visual /Ambiente 04 – 2A I

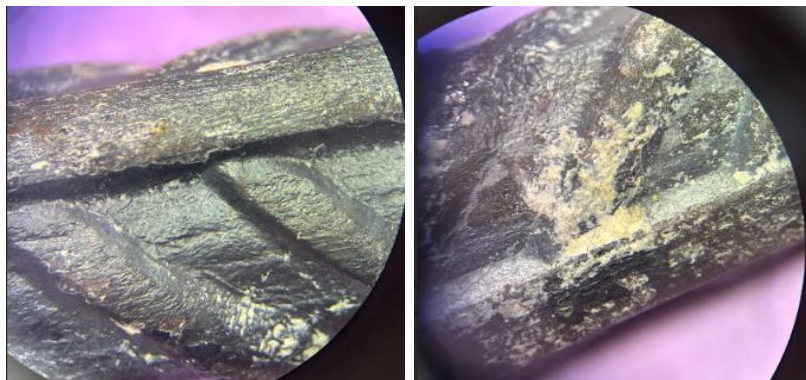
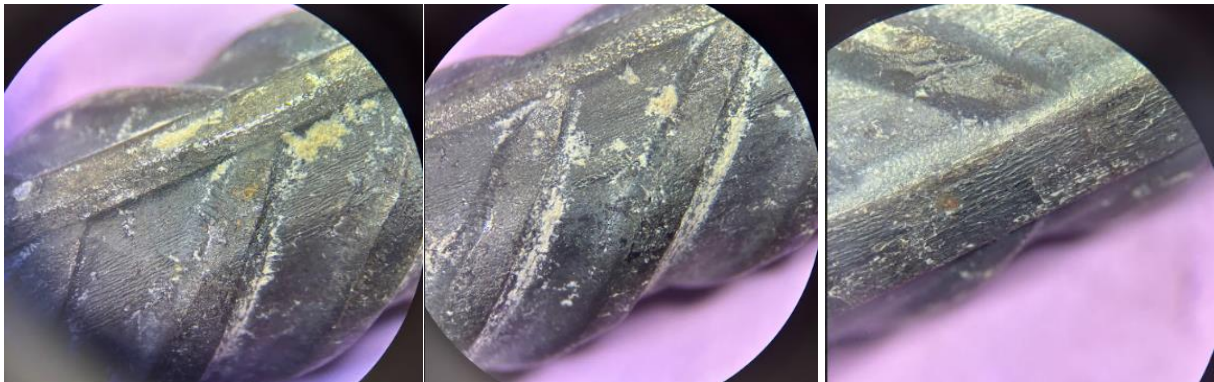




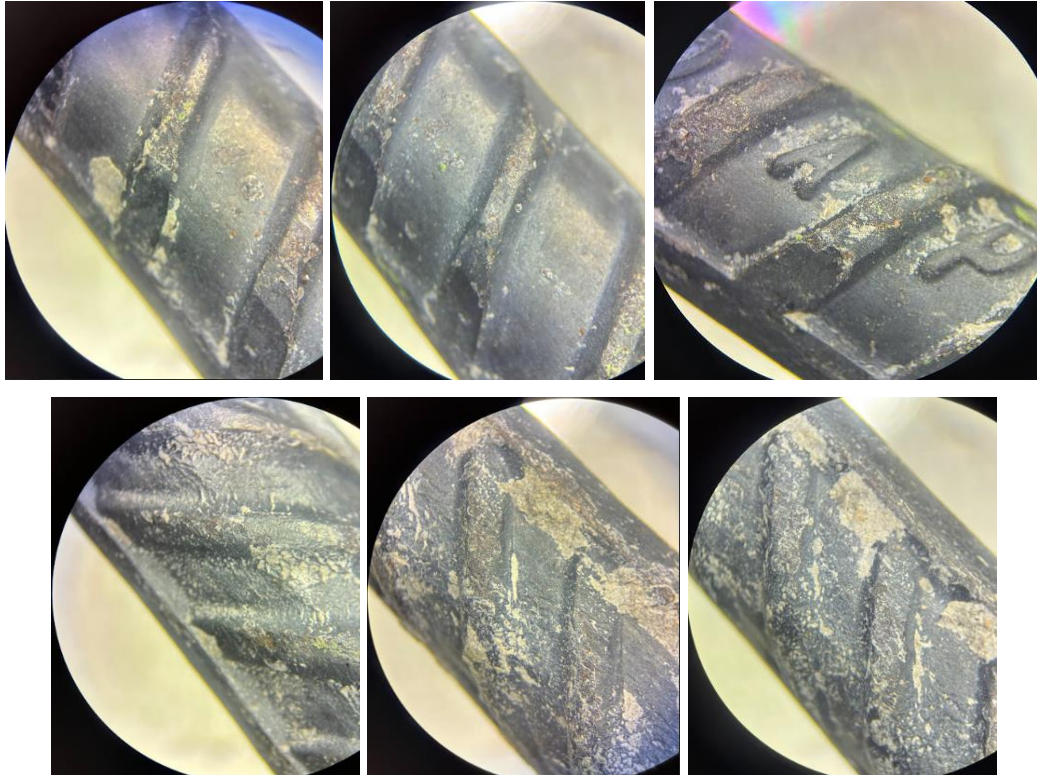
Anexo 11 Inspección visual /Ambiente 04 – 3B I



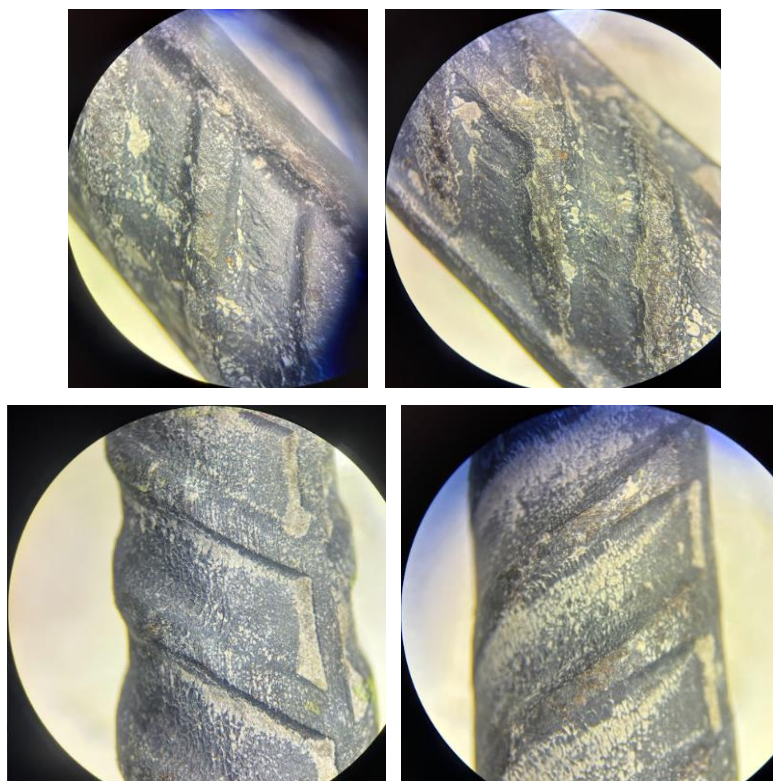
Anexo 14 Inspección visual /Ambiente 04 –1BI



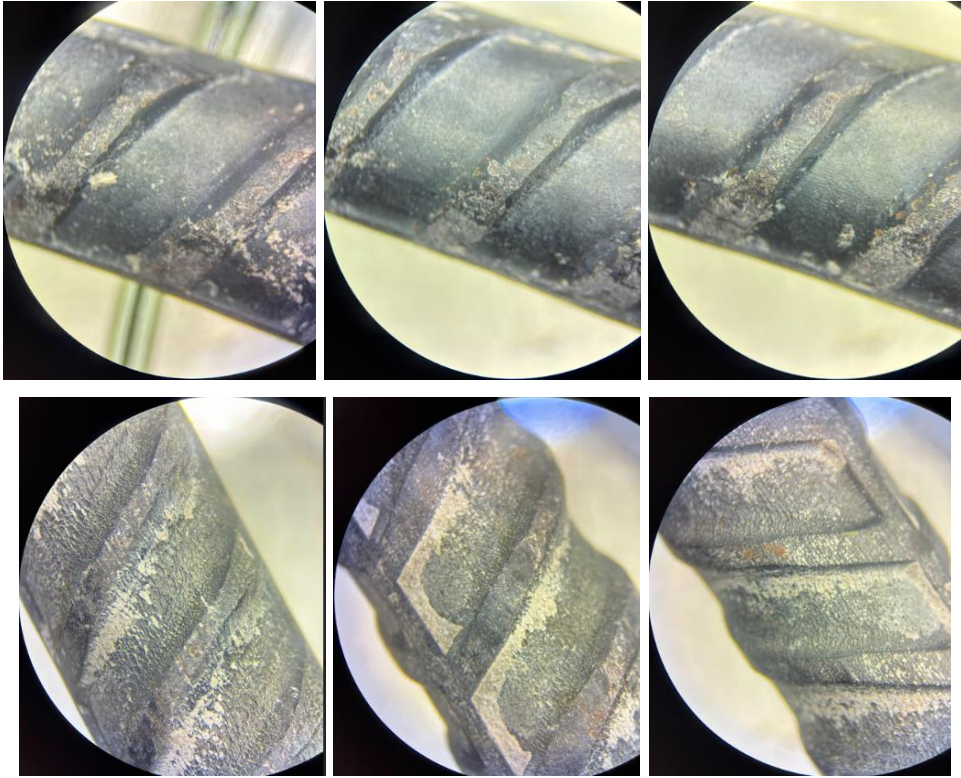
Anexo 11 Inspección visual /Ambiente 05 –1A I



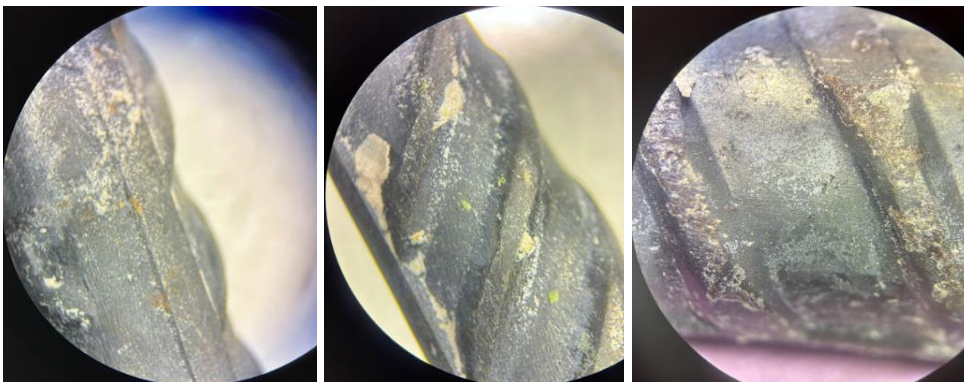
Anexo Inspección visual /Ambiente 05 – 2B V



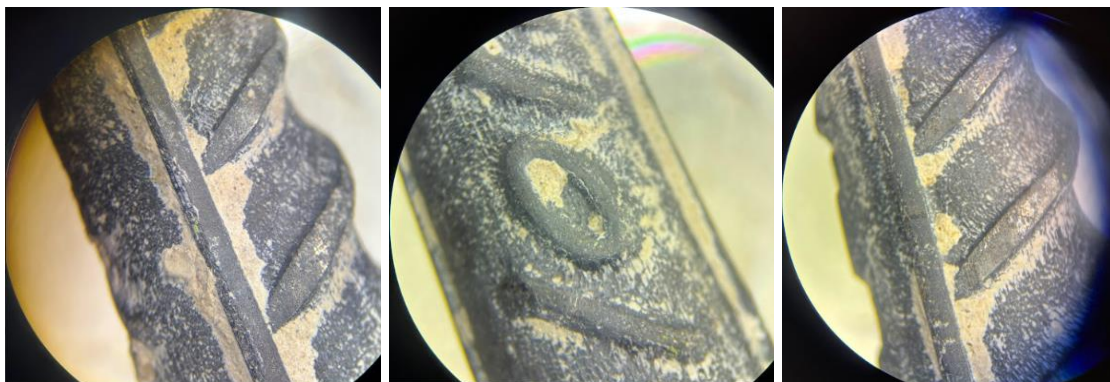
Anexo Inspección visual /Ambiente 05 – 2A V



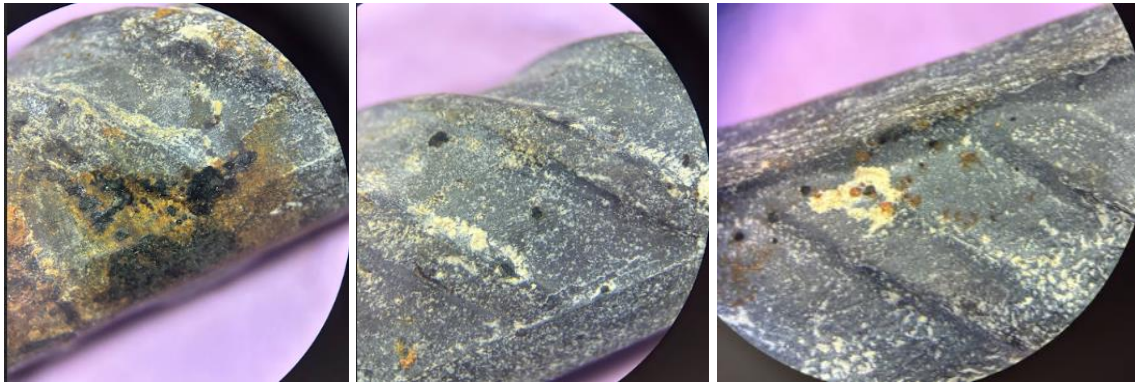
Anexo Inspección visual /Ambiente 05 - 2B I



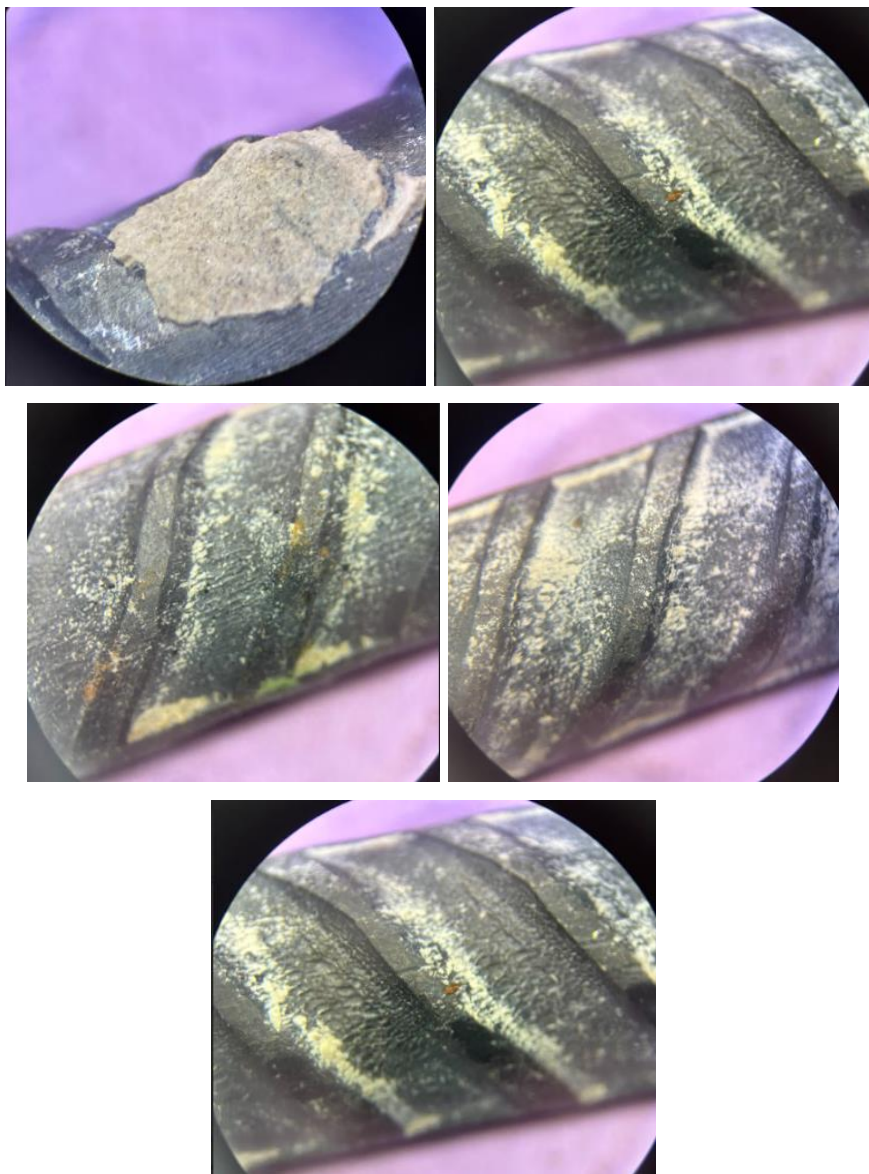
Anexo Inspección visual /Ambiente 05 – 3B I



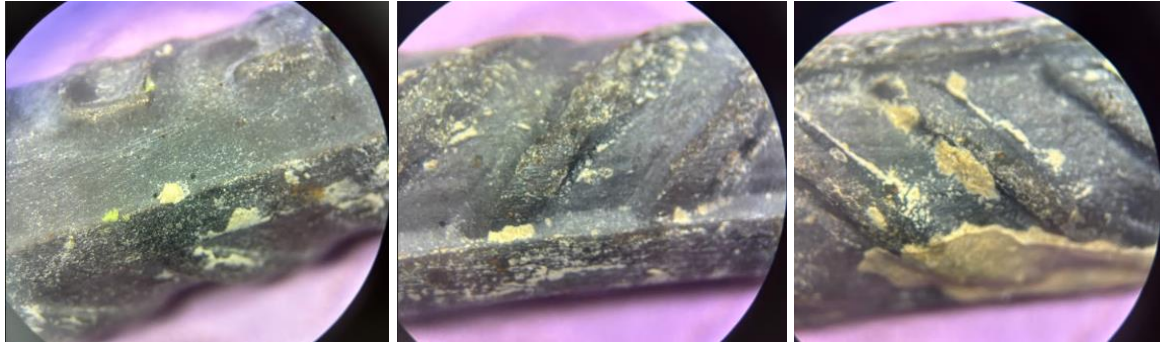
Anexo Inspección visual /Ambiente 05 – 3B V



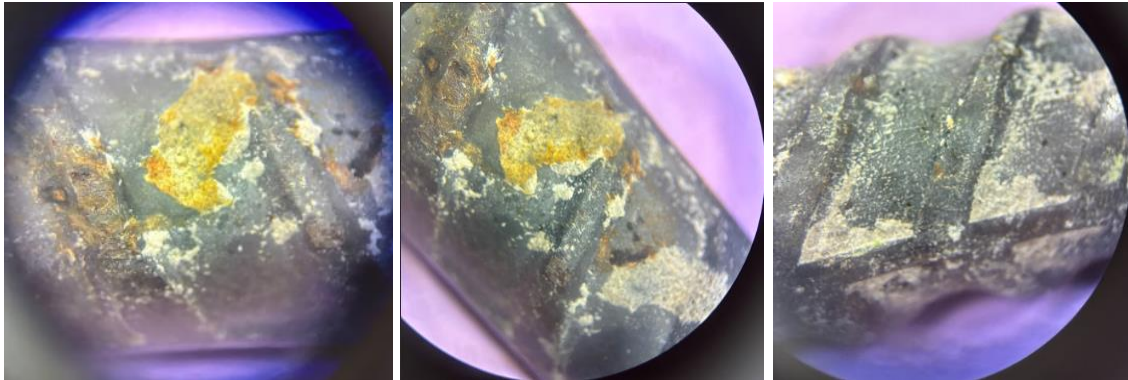
Anexo Inspección visual /Ambiente 06 – 1B I



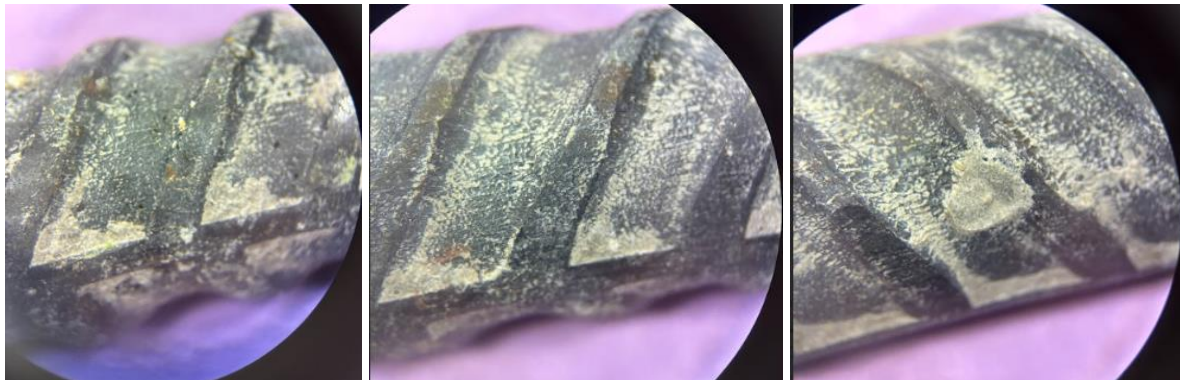
Anexo Inspección visual /Ambiente 06 – 3A I



Anexo Inspección visual /Ambiente 06 – 3B I

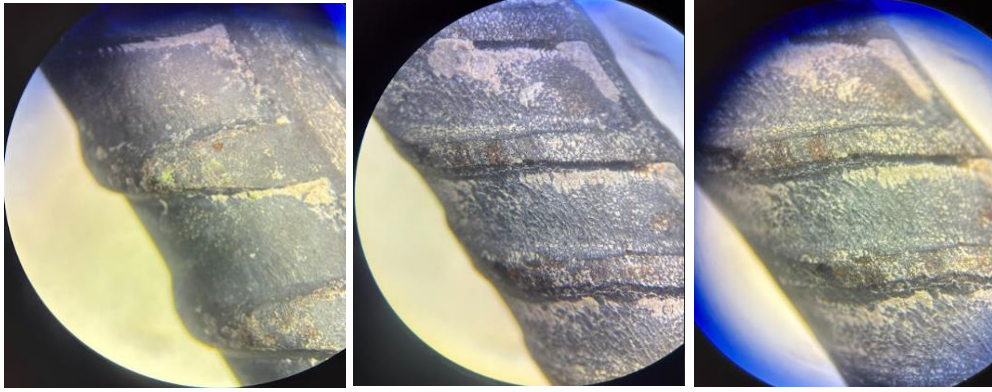


Anexo Inspección visual /Ambiente 06 – 2A V



Anexo Inspección visual /Ambiente 06 – 3B V





Anexo Inspección visual /Ambiente 06 – 3A V