

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



“INFLUENCIA DE LA CENIZA DE LA QUEMA DE CAÑA DE AZUCAR EN ADICION AL 5; 10 Y 15% EN CONCRETO FABRICADO CON RELACIÓN AGUA- CEMENTO 0.40; 0.45 Y 0.50 EN EL POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL ACERO ASTM A615 EMBEBIDO EN CONCRETO FABRICADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO I EXPUESTO AMBIENTE CORROSIVO”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS Y MATERIALES**

AUTOR: BR. MONDRAGÓN CHAVEZ, Antony
AUTOR: BR. RUIZ ALFARO, Milagros Beatriz
ASESOR: **ING. URTEAGA GARCÍA, Juan Manuel**

TRUJILLO - PERÚ

2019

JURADO

PRESIDENTE

ING. VELÁSQUEZ DIAZ, GILBERTO ANAXIMANDRO
CIP:29040

SECRETARIO

ING. OCHOA ZEVALLOS, RONALDO
CIP:9133

VOCAL

ING. RODRIGUEZ RAMOS, MAMERTO
CIP:3689

DEDICATORIA 1

Agradezco a Dios por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad. Gracias a mis padres: William y Constanza, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado seguidamente a mis hermanos y demás familiares.

Atte. Ruiz Alfaro Milagros Beatriz

DEDICATORIA 2

A mi padre Temístocles Mondragón Hernández y mi madre Sonia Chávez Flores, por haberme educado y darme la oportunidad de estudiar esta hermosa carrera profesional.

Atte. Mondragón Chávez Antony

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a los docentes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego por la formación brindada a lo largo de nuestra vida universitaria.

Al ingeniero Urteaga García, Juan Manuel por su amable asesoramiento, apoyo y confianza en nosotros para el desarrollo de este estudio de tesis.

A los ingenieros que forman parte de los laboratorios de suelos y concreto de la Universidad Privada Antenor Orrego, por su amabilidad y apoyo al momento de realizar los ensayos correspondientes en nuestro estudio.

De igual manera para el Doc. Farro Pérez, Nelson perteneciente a la escuela de ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo por sus amplios conocimientos brindados en el campo relacionado a este estudio.

Los autores

RESUMEN

En esta investigación se evaluó la influencia de la ceniza de la quema de caña de azúcar en adición al 5%; 10% y 15% en concreto fabricado con relación agua-cemento 0.40; 0.45 y 0.50 en el potencial de corrosión del acero ASTM A615 embebido en concreto fabricado con cemento Portland tipo I expuesto ambiente corrosivo.

El principal propósito de este estudio fue determinar el porcentaje óptimo de ceniza producto de la quema de caña de azúcar en adición a la mezcla de concreto para la protección del acero embebido en concretos expuestos ambientes corrosivos. Para este estudio los porcentajes de ceniza en adición a la mezcla de concreto fueron de 5; 10 y 15 % en peso de cemento y se elaboraron en tres relaciones agua-cemento (0.45, 0.50 y 0.55).

Se confeccionaron probetas cilíndricas de 3pulg de diámetro por 10 centímetros de altura, estas se llenaron de concreto y se colocó acero A615 de ½" suspendido en el fondo por 2 cm, ésta estando ubicada en el centro y teniendo una longitud total de 16cm. El propósito de estas probetas es simular el recubrimiento del acero en edificaciones típicas de albañilería del Perú.

Para evaluar el potencial de corrosión de este acero embebido nos regimos a la norma ASTM C876, la cual indica que los valores del potencial de corrosión que llegan a los -350mV tienen una probabilidad mayor al 90% de estar corroído.

En la relación $a/c= 0.40$ el valor que más tardó en llegar a los -350mV fue la mezcla a la que se le incorporó el 5%. En la relación $a/c= 0.45$ el valor que más tardó en llegar a los -350mV fue la mezcla a la que se le incorporó el 5%. En la relación $a/c= 0.50$ el valor que más tardó en llegar a los -350mV fue la mezcla a la que se le incorporó 0%.

ABSTRACT

This investigation evaluated the influence of ash from sugar cane burning in addition to 5%; 10% and 15% in water-cement related manufactured concrete 0.40; 0.45 and 0.50 in the corrosion potential of ASTM A615 steel embedded in concrete manufactured with Portland cement type I exposed corrosive environment.

The main purpose of this study was to determine the optimum percentage of ash produced by burning sugar cane in addition to the concrete mixture for the protection of embedded steel in exposed corrosive concrete environments. For this study the percentages of ash in addition to the concrete mixture were 5; 10 and 15 % by weight of cement and were elaborated in three water-cement ratios (0.45, 0.50 and 0.55).

Cylindrical specimens of 3 inches of diameter by 10 centimeters of height were made, these were filled with concrete and placed steel A615 of ½" suspended in the bottom by 2 cm, this one being located in the center and having a total length of 16cm. The purpose of these specimens is to simulate the coating of steel in typical masonry buildings in Peru.

To evaluate the corrosion potential of this embedded steel, we followed the ASTM C876 standard, which indicates that corrosion potential values reaching -350mV are more than 90% likely to be corroded.

In the ratio $a/c= 0.40$ the value that took the longest to reach -350mV was the mixture to which 5% was incorporated. In the ratio $a/c= 0.45$ the value that took the longest to reach -350mV was the mixture to which 5% was incorporated. In the relation $a/c= 0.50$ the value that took the longest to reach -350mV was the mixture to which 0% was added.

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado

En conformidad con las disposiciones del Reglamentos de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Antenor Orrego, tenemos el honor de poner a vuestra disposición y criterio el presente trabajo de investigación titulado: **“Influencia de la ceniza de la quema de caña de azúcar en adición al 5%; 10% y 15% en concreto fabricado con relación agua-cemento 0.40; 0.45 y 0.50 en el potencial de corrosión del acero ASTM A615 embebido en concreto fabricado con cemento portland Tipo I expuesto ambiente corrosivo”**, la cual fue realizada con el propósito de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

El presente trabajo es el resultado de un arduo esfuerzo y dedicación en base a los conocimientos adquiridos durante el proceso de formación universitaria en esta prestigiosa casa de estudios; producto de la orientación y enseñanza desinteresada de nuestros docentes, siendo por ello oportuno para expresarles nuestro más sincero agradecimiento, para poder así brindar un aporte que servirá de base a futuros estudios relacionados con el tema en mención.

Por lo expuesto Señores Miembros del Jurado, ponemos a disposición el presente trabajo de investigación para su respectivo análisis y evaluación, no sin antes agradecer vuestra gentil atención al mismo.

Atentamente,

Br. Mondragón Chávez, Antony

Br. Ruiz Alfaro, Milagros

ÍNDICE

DEDICATORIA 1	i
DEDICATORIA 2	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
PRESENTACIÓN	v
I. INTRODUCCIÓN:.....	1
1.1. Problema de Investigación:.....	1
a) Descripción de la realidad Problemática	1
b) Descripción del problema.....	2
c) Formulación del problema	3
1.2. Objetivos de la Investigación:.....	3
1.2.1. Objetivo general:	3
1.2.2. Objetivo Específico:	3
1.3. Justificación del estudio	3
II. MARCO DE REFERENCIA:	4
2.1. Antecedentes del estudio.....	4
2.2. Marco Teórico	8
2.2.1. Corrosión	8
2.2.2. Prevención de la corrosión.....	8
2.2.3. Potencial de corrosión.....	9
2.2.4. electrodos de referencia.....	10
2.2.5. Corrosión del Acero en Concreto Armado	14
2.2.6. Deterioro del Concreto Armado.....	15
2.2.7. Mecanismo de corrosión del Acero	20
2.2.8. Puzolanicidad.....	21

2.2.9. Mecanismo de reacción de la Puzolana en concreto	22
2.2.10. Mecanismos de Protección	26
2.2.11. Métodos de Reparación	31
2.3. MARCO CONCEPTUAL	33
2.4. HIPOTESIS	35
2.5. VARIABLES E INDICADORES	35
III. METODOLOGIA EMPLEADA.....	36
3.1. Tipo y nivel de investigación	36
3.2. Población y muestra de estudio.....	36
3.2.1.Población.....	36
3.2.2.Muestra.....	36
3.3. Diseño de Investigación.....	38
3.4. Técnicas e instrumentos de investigación	38
3.5. Procesamiento y análisis de datos	50
3.5.1. Proceso de ensayo media celda	50
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	55
4.1. Análisis e interpretación de resultados	55
4.2. Prueba de hipótesis	59
V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	59
5.1. Conclusiones	59
5.2. Recomendaciones	60
5.4. Anexos.....	65
ANEXO 01	65
A) DETERMINACIÓN DE AGREGADOS.....	65
ANEXO 02	75
A.) DISEÑO DE MEZCLAS PARA RELACION A/C= 0.40	75
B.) DISEÑO DE MEZCLAS PARA RELACIÓN A/C=0.45	80
C.) DISEÑO DE MEZCLAS PARA RELACIÓN A/C=0.50	86

ANEXO 3	92
A.) OBTENCIÓN DE MATERIALES:.....	92
B.) ENSAYOS DE LABORATORIO:.....	93
C.) PROCESO DE ELABORACIÓN, CURADO Y ENSAYO DE MEDIA CELDA:.....	97
ANEXO 4	99
ANEXO 4	101
PROCESO DE CÁLCULO PARA LA OBTENCIÓN DE POTENCIALES DE CORROSIÓN PROMEDIO	101
RELACIÓN A/C= 0.40	101
RELACIÓN A/C= 0.45	102
RELACIÓN A/C= 0.50	103

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-Fuente: Medición de potencial de corrosión de diferentes estructuras	9
Ilustración 2- Electrodo de referencia-uso del electrodo de Cu/CuSO ₄	11
Ilustración 3- potencial estándar de electrodo	12
Ilustración 4-Serie galvánica en agua de mar de algunos metales y aleaciones de uso frecuente.	13
Ilustración 5-Proceso de corrosión del acero embebido en concreto.	15
Ilustración 6-Estructura porosa de concreto.	15
Ilustración 7-Fenómeno electroquímico de la corrosión por iones de cloruro.	17
Ilustración 8-Mecanismo de acción de los cloruros en el proceso de corrosión.	18
Ilustración 9-Fases de iniciación y propagación de la corrosión.	18
Ilustración 10-Fases de Carbonatación del hormigón.....	19
Ilustración 11-Acción de los sulfatos.....	20
Ilustración 12	24
Ilustración 13. Efectos en el hormigón.....	27
Ilustración 14 –Protección Catódica por ánodos de sacrificio.....	29

Ilustración 15-Protección Catódica por corriente impresa.....	29
Ilustración 16-Esquema de las conexiones a la fuente de corriente en los métodos de rehabilitación electroquímica, incluyendo las reacciones que pueden tener lugar en el ánodo y en los refuerzos.	33
Ilustración 17-medidas empleadas	37
Ilustración 18-Circuito de electrodo de Referencia	39
Ilustración 19-Electrodo de Referencia	41
Ilustración 20-Mapa Equipotencial	47
Ilustración 21. Diseño del recubrimiento de acero	51
Ilustración 22-Montaje de Media Celda.....	52
Ilustración 23 Diseño de espaciamientos para la toma de datos	53
Ilustración 24-Conexión eléctrica Media Celda.....	54
Ilustración 25 - Potencial de Corrosión Relación a/c=0.40	56
Ilustración 26-Potencial de Corrosión Relación a/c=0.45	57
Ilustración 27-Potencial de Corrosión Relación a/c=0.50	59

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1-VARIABLES e indicadores	35
Tabla 2-Muestra.....	36

I. INTRODUCCIÓN:

1.1. Problema de Investigación:

a) Descripción de la realidad Problemática

En el mundo de la construcción actual es bien sabido que los elementos predominantes en las edificaciones es el concreto siendo éste reforzado por el acero, éstos al ubicarse en zonas aledañas a la costa se ven afectados por daños causados por el medio al que están expuestos, logrando al fin la disminución de su vida útil y limitando su durabilidad.

En torno a ésta realidad, en los últimos años, "estudios muestran un grado de corrosividad (Muy alta- Extrema) en Huanchaco de categoría C5 con una V_{corr} de 224.56 $\mu\text{m}/\text{A}$ " (Cruz & Rodrigo, 2018). Además, estudios y técnicas realizados para la protección o aislamiento del acero en construcciones de concreto expuestos en ambiente marino no han logrado minimizar los daños causados a las estructuras en este ambiente. Si bien es cierto existen en el mercado productos que favorecen a conservar las construcciones como cementos con resistencia a sulfatos, pero estos no son accesibles por su producción y costo para gran parte de la población peruana.

En el ámbito internacional, un estudio en México indica que la despolarización y exposición de muestras de acero embebido en concreto presentaron una tendencia hacia poca o moderada corrosión debido a la presencia de los valores de Ph (10.10 y 10.60) encontrados en la exposición. (Aguilar Villareal, 2013).

Las presencias de éstos deterioros se ven reflejados en la conservación de las construcciones y esto es debido a que las edificaciones en las zonas con cercanía al mar se dan por una propiedad específica en el concreto que es la porosidad. La porosidad en el concreto conlleva la presencia de corrosión debido

a que los cloruros penetran el recubrimiento del concreto hasta llegar al acero de refuerzo, éstos cloruros rompen la capa pasivadora del acero y se acelera la corrosión por el oxígeno y la humedad del ambiente. Además, ésta propiedad tiene como característica principal la resistencia a la compresión y la durabilidad, de ésta última podemos decir que mientras más poroso sea el material menos será la protección ante los agentes deteriorantes presentes en el ambiente marino.

Ante lo anteriormente expuesto es necesario el uso de materiales puzolánicos, creemos entonces que al incorporar ceniza en distintos porcentajes a las diferentes relaciones a/c y haciendo uso de una técnica termodinámica normada lograremos medir los niveles de corrosión en el acero embebido en el concreto y a su vez ésta adición en la mezcla de concreto aportarían propiedades favorables ante ésta problemática. Siendo éste material la ceniza producto de la fabricación de azúcar a la que se dedica la Agroindustria Laredo.

Debido a que no es posible observar y medir los niveles de corrosión embebido en el concreto a simple vista se hará el uso de la norma ASTM C876-15 método de prueba estándar para potenciales de media celda de acero reforzado recubierto en hormigón.

Por consecuencia nosotros desarrollamos esta investigación con fines de aportar una nueva alternativa mediante el uso de ceniza, siendo éste un subproducto industrial de la quema de caña de azúcar esperamos que tenga un impacto en la reducción del nivel de penetración de los iones cloruro en el concreto y a su vez la resistencia al ataque de sulfatos.

b) Descripción del problema

Influencia de los porcentajes de ceniza de la quema de caña de azúcar en el potencial de corrosión del acero A615 embebido en concreto fabricado con cemento Portland Tipo I y expuesto a ambiente corrosivo.

c) Formulación del problema

¿En qué medida influye los porcentajes de ceniza de la quema de caña de azúcar en el potencial de corrosión del acero A615 embebido en concreto fabricado con cemento Portland Tipo I y expuesto a ambiente corrosivo?

1.2. Objetivos de la Investigación:

1.2.1. Objetivo general:

Determinar la Influencia de la ceniza de la quema de caña de azúcar en adición al 5%; 10% y 15% en concreto fabricado con relación agua- cemento 0.40; 0.45 y 0.50 en el potencial de corrosión del acero ASTM A615 embebido en concreto fabricado con cemento Portland Tipo I expuesto ambiente corrosivo.

1.2.2. Objetivo Específico:

- Realizar una comparación del potencial de corrosión del acero ASTM A615 con el uso y sin uso de ceniza.

1.3. Justificación del estudio

El uso de ceniza de la quema de caña de azúcar en el concreto armado puede disminuir la porosidad en el recubrimiento debido a sus propiedades puzolánicas, la adición de éste favorecerá al concreto durante su hidratación y a disminuir el impacto ambiental al medio ambiente debido a que éste es un residuo contaminante. A su vez, "La adición de éste al concreto le aporta características especiales, mejorando su trabajabilidad, reduciendo la demanda de agua, reduciendo el calor de hidratación y aumentando la dureza final" (Vera & Zambrano, 2013).

El presente proyecto de tesis cuenta con el estudio y equipo necesario para su realización.

II. MARCO DE REFERENCIA:

2.1. Antecedentes del estudio

(Ganoza & Maceda, 2017) Realizaron la investigación: “Influencia del porcentaje de ceniza volante clase C en el potencial de corrosión del acero A615 embebido en concreto fabricado con cemento portland tipo I”, En ésta investigación propusieron determinar el porcentaje óptimo de ceniza volante que se debe reemplazar en un concreto fabricado con cemento tipo I para disminuir el potencial de corrosión del acero embebido en concreto, para lo cual desarrollaron ensayos en probetas con porcentajes de ceniza volante C en 5; 10; 15% en reemplazo del cemento; con relación $a/c=0.50$; 0.55 y 0.60. Concluyendo que la resistencia a la compresión con el 5% de reemplazo de ceniza es ideal en relación $a/c=0.50$ y 0.55; con respecto al potencial de corrosión del acero la relación ideal fue reemplazando el 5% de ceniza con la relación $a/c=0.50$.

Este estudio nos ayudó con lo siguiente:

- Si es posible mejorar el potencial de corrosión sin afectar la resistencia a la compresión.
- Bajar el nivel de a/c ya que obtuvieron mejores resultados con la mejor relación estudiado.
- Estudiar los ensayos donde los índices de corrosión sean mayores.

(Alipio & Barboza, 2017) Realizaron la investigación: “Categorías de corrosividad de la ciudad de Trujillo-Perú 2015/2016, para el acero de bajo carbono y zinc electrolítico”, propusieron determinar las categorías de corrosividad usando la norma ISO9223. para lo cual se basaron en las normas ISO8565, ISO9226 y ISO8407 para instalar probetas planas de acero de bajo carbono y zinc electrolítico, remoción de corrosión y cálculo de la velocidad de corrosión. Ellos concluyeron que:

- La corrosividad atmosférica del Acero de bajo carbono para la ciudad de Trujillo se promedia con las siguientes categorías: C2(CORROSIVIDAD BAJA), C3(CORROSIVIDAD MEDIA) y C4(CORROSIVIDAD ALTA), teniendo como punto medio la categoría C3.

- Se determinó la velocidad de corrosión para el Acero de bajo carbono en la estación de la UNT de 30.5 $\mu\text{m/año}$, en la estación de SAN NICOLAS de 19.0 $\mu\text{m/año}$ y en la estación de SAN ISIDRO de 22.3 $\mu\text{m/año}$. La velocidad de corrosión para el Zinc electrolítico fue en la estación de la UNT de 3.8 $\mu\text{m/año}$, en la estación de SAN NICOLAS de 2.07 $\mu\text{m/año}$ y en la estación de SAN ISIDRO de 2.12 $\mu\text{m/año}$.

(Zamora, Mendoza, Zamora, & Calderón, 2009), realizaron la investigación: "Monitoring of corrosion potential and mechanical resistance of contaminated concrete exposed to a chlorinated environment", propusieron comparar especímenes de cemento normal e impermeable ante la probabilidad de corrosión. Para lo cual realizaron dos mezclas diferentes de hormigón con distintas relaciones a/c (0.45; 0.65). Ellos concluyeron que el espécimen de cemento normal tiene ventaja en los niveles de corrosión con respecto al espécimen de cemento impermeable. Este estudio nos aporta con los siguientes resultados:

-Los especímenes de cemento compuesto normal presentan un comportamiento mejor y más homogéneo que los de cemento impermeable, ubicándolos en un 10% de probabilidad de corrosión de acuerdo a la norma y observando una influencia casi nula de la relación a/c y del grado de contaminación del hormigón.

-Los especímenes de cemento compuesto normal presentan un comportamiento mejor y más homogéneo que los de cemento impermeable, ubicándolos en un 10% de probabilidad de corrosión de acuerdo a la norma y observando una influencia casi nula de la relación a/c y del grado de contaminación del hormigón.

-Los especímenes de cemento compuesto normal presentan un comportamiento mejor y más homogéneo que los de cemento impermeable, ubicándolos en un 10% de probabilidad de corrosión de acuerdo a la norma y observando una influencia casi nula de la relación a/c y del grado de contaminación del hormigón. De acuerdo con la norma ASTM C-876-91.

-Los especímenes de cemento impermeable expuestos a una disolución al 3.5% de NaCl (medio agresivo) presentan, con el paso del tiempo, potenciales que indican un 90% de probabilidad de corrosión, de acuerdo con la norma ASTM C-876-91. Se observa poca influencia del grado de contaminación de ambos hormigones, teniendo los especímenes con relación a/c = 0.65 los valores más negativos. Los especímenes de cemento compuesto normal también presentan, al transcurrir el tiempo de exposición, valores más negativos ubicando todos los especímenes con una probabilidad de corrosión del 90%.

(Aperador, Bautista, & Delgado, 2013), realizaron la investigación: "Monitoreo de la corrosión de aceros embebidos en concretos obtenidos a partir de subproductos industriales", propusieron evaluar la corrosión del acero estructural ASTM A706 embebido en concretos obtenidos de subproductos industriales como escorias siderúrgicas y cenizas volantes activadas alcalinamente para lo cual desarrollaron técnicas de caracterización como potencial de circuito abierto, resistencia a la polarización lineal y espectroscopía de impedancia electroquímica en una disolución de cloruro de sodio al 3,5%. Ellos concluyeron: La técnica de espectroscopía de impedancia electroquímica mostró ser una herramienta apropiada para obtener en detalle la información sobre las características de los diferentes concretos en especial en la interfase presente en este material. Además, se pueden cuantificar los cambios presentados en cada una de las interfases a través de la equivalencia del circuito eléctrico

(Bermúdez, M., 2007) Realizó la investigación: “Corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: zona de carrera de mareas y zona sumergida”. Propuso determinar el comportamiento del hormigón armado en ambiente marino con fines normativos, abordando aspectos relativos tanto a la calidad exigible al hormigón situado en este ambiente, como a la selección del método de ensayo adecuado para evaluar la durabilidad del hormigón armado. Para lo cual realizó una serie de ensayos (resistencia a compresión, velocidad de transmisión de ultrasonidos, penetración de agua bajo presión, porosidad abierta, absorción de agua, capilaridad, permeabilidad al oxígeno, determinación química del contenido de cloruros y profundidad de carbonatación). El Proyecto concluyó en seleccionar un método de ensayo ideal para controlar la calidad del hormigón y a su vez desarrollar un modelo de difusión de cloruros, válido para hormigones utilizado para determinar la calidad necesaria del hormigón en ambiente marino sumergido y de carrera de mareas.

(Cruz & Rodrigo, 2018) Realizaron la investigación: “Influencia de la concentración del cloruro de sodio sobre la velocidad de corrosión del acero ASTM A615”, en ésta investigación evaluaron la influencia de la concentración del cloruro de sodio sobre la velocidad de corrosión del acero ASTM A615, para lo cual desarrollaron probetas para evaluar la velocidad de corrosión mediante ensayos electroquímicos ASTM G3-89. Concluyeron que la velocidad de corrosión para Huanchaco es 224.56(um/A), Buenos Aires es 379.65(um/A), Las Delicias es 612.10(um/A), Salaverry 71.07(um/A), Trujillo 44.12(um/A). Ésta tesis nos aportó con datos para categorizar el nivel de corrosividad en los distritos de Trujillo.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Corrosión

Partiendo de que la corrosión es la “reacción química o electroquímica entre un material, normalmente un metal, y su medio, que produce un deterioro del material y sus propiedades”. (ASTM G15-93, 2007). Ésta tiene (Paredes & Prieto, s.f.) como característica fundamental que sólo ocurre en presencia de un electrólito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas estas anódicas y catódicas.

A su vez, la corrosión puede ser mediante una reacción química (óxido-reducción) en la que intervienen la pieza manufacturada, el ambiente y el agua o por medio de una reacción electroquímica.

2.2.2. Prevención de la corrosión

(Paredes & Prieto, s.f.). Nos dicen que para prevenir que exista la posibilidad de que en un futuro la corrosión provoque un deterioro en la estructura de hormigón armado, se debe tomar en cuenta 3 parámetros que son:

- Que el hormigón tenga una estructura de poros adecuada
- Que el recubrimiento tenga el espesor suficiente
- Que el hormigón esté libre de cloruros

Y a raíz de los parámetros anteriores, es importante tener en cuenta:

- Los procesos de difusión de los ataques ya sea por carbonatación o por la presencia de iones de cloruro
- La humedad
- La temperatura

En general estos parámetros mencionados nos ayudaron de una u otra forma para poder prevenir la corrosión y que ésta no cause daño en la estructura de hormigón armado.

2.2.3. Potencial de corrosión

El potencial de corrosión depende principalmente de la naturaleza de los metales que intervienen en el proceso y del medio corrosivo. (Gómez De León Hijes & Alcaraz, 2004).

(Instituto Mexicano del Transporte, 2001) Exponen, el potencial es un parámetro muy importante desde el punto de vista termodinámico, ya que permite conocer que metal presenta diferencias de potencial debido a heterogeneidades superficiales, algunas veces es posible determinar qué zona se encuentra actuando como cátodo y cuál como ánodo.

Esto es debido a que las zonas que actúan catódicamente presentan un potencial más positivo de acuerdo a la serie electromotriz y las zonas que actúan anódicamente muestran un potencial más negativo.

Consecuentemente, el potencial puede ser medido continuamente para detectar si el metal se corroe de acuerdo a la diferencia de potencial entre ambas zonas.

La medición del potencial es sensible a cambios que acontezcan en un proceso de corrosión. Un cambio brusco puede indicar el paso de un estado activo a condiciones de pasividad y viceversa. Así mismo, adquiere valores característicos para diferentes situaciones de temperatura, agitación, etc.

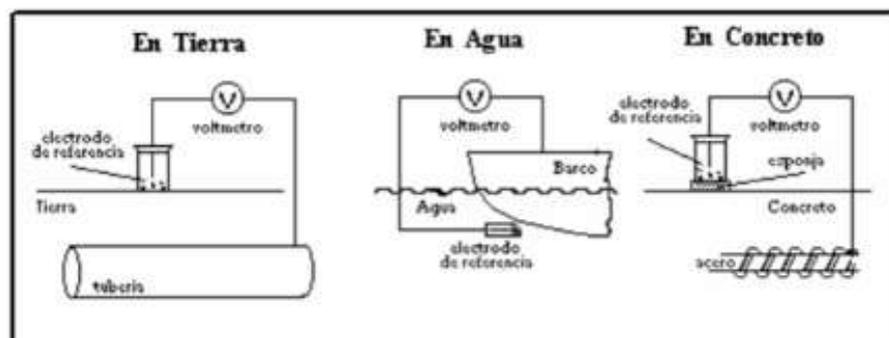


Ilustración 1-Fuente: Medición de potencial de corrosión de diferentes estructuras

No obstante que la medición del potencial es un indicativo de la actividad electroquímica del refuerzo, no es posible saber con precisión la velocidad a la que se está corroyendo, para ello es necesario estudiar la cinética del sistema concreto-meta.

2.2.4. Electrodo de referencia

Al referirnos de electrodos, decimos que son los que tienen un interfase en donde hay una resistencia de transferencia muy pequeña, siendo el caso ideal $R=0$. (Instituto Mexicano del Transporte, 2001).

(Mesa, 2017). Entonces pues, un electrodo de referencia es aquel que tiene un potencial estable y definido. En varias mediciones electroquímicas es necesario mantener uno de los electrodos de la celda a potencial constante. El electrodo de referencia permite controlar el potencial de un electrodo de trabajo. Los electrodos de referencia deben tener un potencial estable en el tiempo con la temperatura y no debe ser polarizable, es decir, que su potencial no se vea alterado como consecuencia de los cambios en la interfase debido al paso de una corriente apreciable.

(Gomez & Lopez, 2013) Por otra parte, tenemos los electrodos de referencia Cu/CuSO₄ saturado se utilizan para las medidas de potencial de las estructuras. Este electrodo es muy seguro, en cuanto a la estabilidad de las Medidas obtenidas y simples como vemos en la ilustración 2. El electrodo está formado por una varilla de cobre electrolítico que sobresale del tapón para conectarse a un cable del multitester, esta varilla de cobre está inmersa dentro de una solución saturada de sulfato de cobre (Cu/CuSO₄). El electrodo se coloca en la solución, lo más cerca posible de las estructuras cuyo potencial se quiere medir.

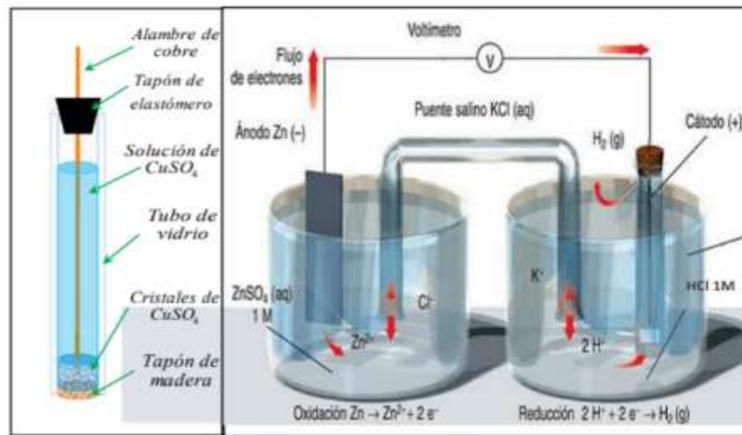


Ilustración 2- Electrodo de referencia-uso del electrodo de Cu/CuSO₄

Fuente: (Gomez & Lopez, 2013)

(Robles, 2007) La reacción del electrodo es la siguiente:



su potencial de equilibrio a 25°C viene dado por:

$$E = 0.340 + 0.0295 \log [\text{Cu}^{2+}] \text{ V vs. ENH.}$$

Con la solución saturada de CuSO₄, se tiene $E = 0.318\text{V}$ vs ENH pero para uso práctico se considera un valor de CuSO₄ sat. $E=0.30\text{V}$. Este tipo de electrodo puede utilizarse en cualquier ambiente, sea en el suelo o agua de mar, aguas dulces o saladas. Entre otras ventajas, presenta la sencillez de su preparación y su gran estabilidad. Cuando se utiliza en agua de mar, puede contaminarse con cloruros, por lo cual es aconsejable más bien en el suelo, en aguas dulces y en salmueras.

2.2.4.1. Serie Electroquímica:

También llamada potencial estándar de electrodo (ilustración 3), tiene una utilidad limitada, entre otras razones a causa de la solubilidad restringida de las sales metálicas que hace imposible, en algunos casos, conseguir una actividad unidad.

Otros factores importantes que restan utilidad a la serie electroquímica son: la formación de películas protectoras

(pasivación) en algunos metales y la variación de las actividades reales de los iones con el medio. (Gómez De León Hijes & Alcaraz, 2004).

Para obtener información termodinámica de corrosión más completa, además de la serie electroquímica se puede recurrir a la serie galvánica y a los diagramas de Pourbaix.

Reacción de oxidación	Potencial Electrodo (V)	
Au \rightarrow Au ³⁺ + 3 e ⁻	+1,498	↑ Inactividad creciente (catódicos)
Pt \rightarrow Pt ²⁺ + 2 e ⁻	+1,200	
Ag \rightarrow Ag ⁺ + e ⁻	+0,799	
2 Hg \rightarrow Hg ₂ ²⁺ + 2 e ⁻	+0,788	
Fe ²⁺ \rightarrow Fe ³⁺ + e ⁻	+0,771	
Cu \rightarrow Cu ²⁺ + 2 e ⁻	+0,337	
Sn ²⁺ \rightarrow Sn ⁴⁺ + 2 e ⁻	+0,150	
H ₂ \rightarrow 2H ⁺ + 2 e ⁻	0	
Pb \rightarrow Pb ²⁺ + 2 e ⁻	-0,126	↓ Actividad creciente (anódicos)
Sn \rightarrow Sn ²⁺ + 2 e ⁻	-0,136	
Ni \rightarrow Ni ²⁺ + 2 e ⁻	-0,250	
Co \rightarrow Co ²⁺ + 2 e ⁻	-0,277	
Cd \rightarrow Cd ²⁺ + 2 e ⁻	-0,403	
Fe \rightarrow Fe ²⁺ + 2 e ⁻	-0,440	
Cr \rightarrow Cr ³⁺ + 3 e ⁻	-0,744	
Zn \rightarrow Zn ²⁺ + 2 e ⁻	-0,763	
Al \rightarrow Al ³⁺ + 3 e ⁻	-1,662	
Mg \rightarrow Mg ²⁺ + 2 e ⁻	-2,363	
Na \rightarrow Na ⁺ + e ⁻	-2,714	

Ilustración 3- potencial estándar de electrodo
Fuente: Potenciales estándar de reducción

2.2.4.2. Serie Galvánica:

En ésta se constituye una clasificación de las actividades relativas de los diferentes metales y aleaciones comerciales en un medio dado, habitualmente agua de mar. En la serie galvánica no se indica voltajes por tratarse de una ordenación comparativa de actividades en un determinado medio. Dado dos metales diferentes en un determinado medio, su serie galvánica permite predecir cuál de ellos tendrá una actuación anódica y, por tanto, sufrirá corrosión. (Gómez De León Hijes & Alcaraz, 2004).

Platino	
Oro	
Grafito	
Titanio	
Plata	
Acero inoxidable (pasivo) 18-8, 3%Mo	
Inconel (pasivo) (76%Ni-16%Cr-7%Fe)	
Níquel (pasivo)	↑
Bronce	
Cobre	
Latón rojo	
Bronce al aluminio	
Latón amarillo	
Inconel (activo) (76%Ni-16%Cr-7%Cr)	
Níquel (activo)	
Bronce al manganeso	
Estaño	
Plomo	
Acero inoxidable 18-8, 3%Mo (activo)	
Soldadura 50-50 plomo-estaño	
Acero inoxidable 13%Cr	
Fundición	
Hierro forjado	
Hierro dulce	
Aleaciones de aluminio	
Cadmio	
Zinc	
Magnesio y aleaciones de magnesio	

*Ilustración 4-Serie galvánica en agua de mar de algunos metales y aleaciones de uso frecuente.
Fuente: (Gómez De León Hijes & Alcaraz Lorente, 2006)*

(Rodríguez L. , Llongueras, Uruchurtu, & Hernández, 1999) Los metales que poseen un potencial más positivo no sufren por la corrosión y se les conoce como metales catódicos y aquellos metales con potenciales más negativos se corroen más rápidamente y se les conoce como metales anódicos.

Existen metales que aparecen dos veces en la serie galvánica. (ilustración 4) dependiendo de la condición de su superficie, en estado pasivo o activo.

El término pasivo se refiere a un metal que posee alguna película natural protectora sobre su superficie, mientras que el término activo se refiere a un meta sin película. Es importante establecer el tipo de la concentración del electrolito y también la temperatura, ya que la tendencia relativa de los metales a corroerse puede cambiar si las condiciones ambientales varían, es decir, se tendrá un nuevo arreglo de los metales en la ilustración 4 mostrada.

2.2.5. Corrosión del Acero en Concreto Armado

(Chandía & Hernández, 2009) La corrosión es un proceso espontáneo de destrucción que experimentan los metales en contacto con el medioambiente, convirtiéndose en óxidos y esto produce un gradual deterioro de ellos. La corrosión de los metales, es un proceso permanente debido a que ellos están siempre en contacto con los agentes que la provocan, como son el agua, el oxígeno del aire y en estos últimos años la lluvia ácida, al mismo tiempo en las zonas costera, también el problema se intensifica debido al ambiente salino.

La corrosión de los Aceros es un proceso electroquímico debido a que sobre la pieza del metal que se corroe existen zonas anódicas y catódicas, en el cual el hierro se oxida con el oxígeno del aire en presencia de humedad, para dar un producto que carece de las propiedades estructurales del hierro metálico, como lo es el óxido de hierro, hidratado de color café rojizo que se llama en lo cotidiano herrumbre.

La presencia de corrosión en los aceros embebidos en concreto es electroquímica y presenta elementos como:

Ánodo: Porción de una superficie metálica en donde se lleva a cabo la reacción de oxidación (proceso de corrosión). En este proceso hay una pérdida o liberación de electrones como consecuencia del paso del metal a su forma iónica.

Cátodo: Porción de la superficie metálica donde se lleva a cabo la reacción de reducción, en la cual los electrones producidos en el ánodo se combinan con determinados iones presentes en el electrolito. En este proceso hay una ganancia de electrones.

Conductor eléctrico: Es el acero de refuerzo

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

Los electrones que se pierden en el ánodo durante la reacción de oxidación son utilizados en el cátodo para que suceda la reacción de reducción.

Podemos concluir de estos elementos involucrados en la corrosión, mostrando la siguiente gráfica, donde el acero está en contacto con el agua:

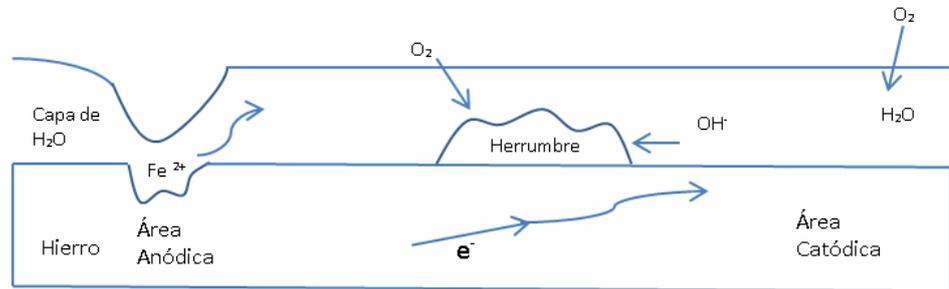


Ilustración 5-Proceso de corrosión del acero embebido en concreto.
Fuente: (Chandía & Hernández, 2009)

2.2.6. Deterioro del Concreto Armado

(Cáceda Vizconde & Ricanqui Martínez, 2010) En el concreto endurecido se puede distinguir dos fases: los agregados y la pasta de cemento, siendo considerados como el esqueleto y el aglutinante respectivamente. De estas dos fases, desde el punto de vista electroquímico, es la pasta de cemento la de mayor importancia, ya que es la que posee la naturaleza porosa, por lo que la determinación del tamaño de los poros es importante, ya que, a mayor tamaño de los poros presentes, existe una mayor probabilidad de ingreso de agente químicos al interior de concreto. En la ilustración 6 se muestran los diferentes tamaños de los poros que existen en una pasta de concreto normal:

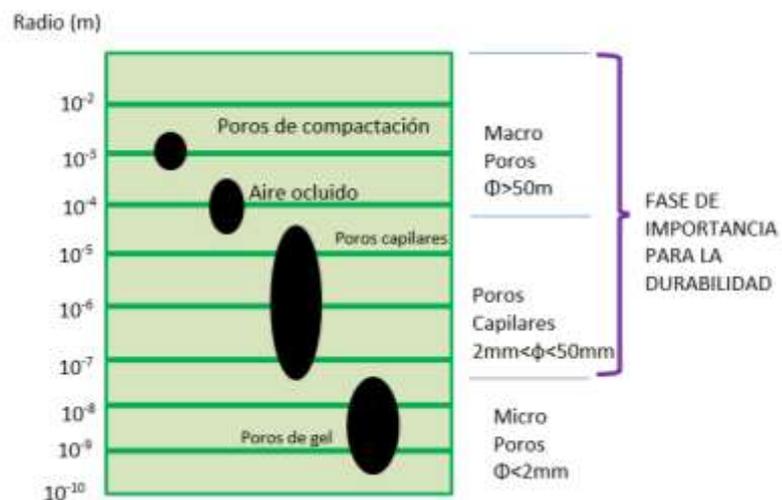


Ilustración 6-Estructura porosa de concreto.
Fuente: (Cáceda Vizconde & Ricanqui Martínez, 2010)

La cantidad de estos poros está relacionada directamente con la relación a/mc (relación en peso agua/ material cementicio). Sin embargo, hay que considerar finalmente el agua no evaporable (a_n), ya que es esa agua la que finalmente se combinara. Para este caso, la relación agua no evaporable/cemento (a_n/c) para un cemento ASTM típico, varía de entre de 0.22 a 0.25, sin embargo, usualmente se usa más agua en la dosificación de concretos con relaciones a/c que varían entre 0.45 y 0.6, para alcanzar la trabajabilidad deseada en el concreto recién mezclado.

Al final de la hidratación del cemento, las fases sólidas producidas no son suficientes para rellenar los espacios que ocupaba el agua extra cuando esta se evapora, quedando por lo tanto una red de huecos o estructura porosa, que son lo que permiten el paso de los agentes químicos (en este caso los cloruros) causantes de los problemas de durabilidad de las estructuras. (Cáceda Vizconde & Ricanqui Martínez, 2010).

El deterioro del acero de refuerzo del concreto se puede llevar a efecto por diferentes fenómenos:

2.2.6.1. Proceso de corrosión por Cloruros:

(Paredes & Prieto, s.f.) Este fenómeno generalmente se produce en las zonas costeras, los iones de cloruros que se encuentran en el ambiente penetran en el hormigón destruyendo la capa protectora que cubre al acero y provocando una pequeña zona anódica con relación a la catódica, las condiciones desfavorables de la superficie producen una profunda y acelerada penetración de la corrosión en el acero de refuerzo.

La presencia de cloruros en el concreto puede provenir de sus componentes como en el cemento, agua, agregados, aditivos o también en el ambiente.

El componente del cemento que reacciona con los iones de cloruro es el Aluminato tricálcico (C3A), formando Cloro aluminato cálcico lo

cual provoca la disminución del pH provocando el medio ácido que genera la corrosión.

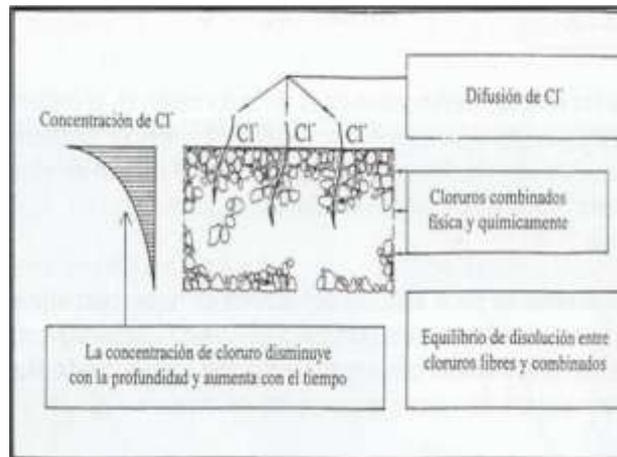


Ilustración 7-Fenómeno electroquímico de la corrosión por iones de cloruro.

Fuente: (Paredes & Prieto, s.f.)

(Cáceda Vizconde & Ricanqui Martínez, 2010) El pH fuertemente básico del concreto (aproximadamente 12,5) conduce a la formación de un "película protectora" sobre las armaduras (o sea, se dice que el acero está «pasivado»). Los iones cloruro son capaces de "romper" esta película pasivante y dejar al acero sin protección.

Además, los cloruros actúan como un catalizador para la oxidación, tomando parte activa en la reacción. Al oxidar al acero para formar el ion complejo cloruro ferroso (FeCl_2), arrastra este ion inestable en la solución, donde reacciona con los iones hidroxilo disponibles para formar hidróxido de hierro, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, que libera iones cloro y consume iones hidroxilo, tal como lo muestra la ilustración 8.

Los electrones liberados en la reacción de oxidación fluyen a través del acero hasta la superficie catódica. De este proceso resulta una concentración de ion cloruro y una reducción del pH que favorece la ruptura continua de la película de óxido pasivante.

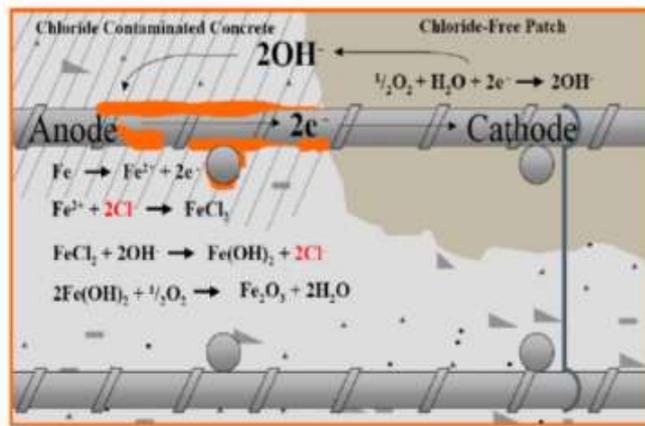


Ilustración 8-Mecanismo de acción de los cloruros en el proceso de corrosión.

Fuente: (Cáceda Vizconde & Ricanqui Martínez, 2010)

2.2.6.2. Proceso de Corrosión por Carbonatación:

(Ulloa Mayorga, 2012) La carbonatación se produce como un fenómeno químico donde el CO_2 , que penetra en el hormigón reacciona con el hidróxido cálcico y reduce la alcalinidad del hormigón, llegando a destruir esa capa pasiva que lo protege, dando pie a la corrosión de armaduras.

La carbonatación depende de la composición del cemento, el tipo de árido y la porosidad. Por su parte, el hormigón expuesto a un ambiente de cloruros, puede deteriorarse debido a los efectos combinados de la acción química de los constituyentes del agua de mar sobre el hormigón, provocando un aumento de la permeabilidad, considerada como el factor clave de la durabilidad.

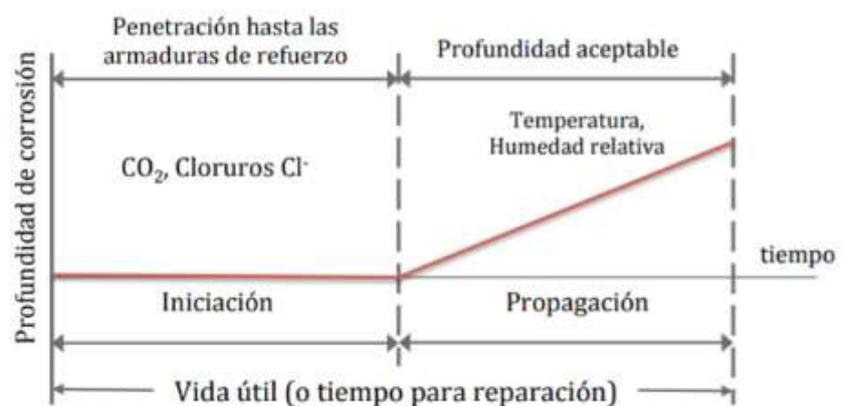


Ilustración 9-Fases de iniciación y propagación de la corrosión.

Fuente: (Ulloa Mayorga, 2012)

(Salas, 2003) Decimos también que durante la hidratación del cemento se libera hidróxido de calcio, también llamado portlandita, que otorga carácter básico al hormigón, situando al ph entre 12 y 13. Con estos valores de ph, el acero de las armaduras se encuentra pasivo, es decir recubierto con una capa de óxidos, compactada y continua que lo mantiene protegido de la corrosión. Si el valor del ph llega a valores inferiores a 9,5, la alcalinidad ya no es suficiente para mantener pasiva la capa de óxido protectora de las armaduras de acero, por lo tanto, bajo la acción de la humedad y del oxígeno, el efecto de corrosión dará inicio

Fases:

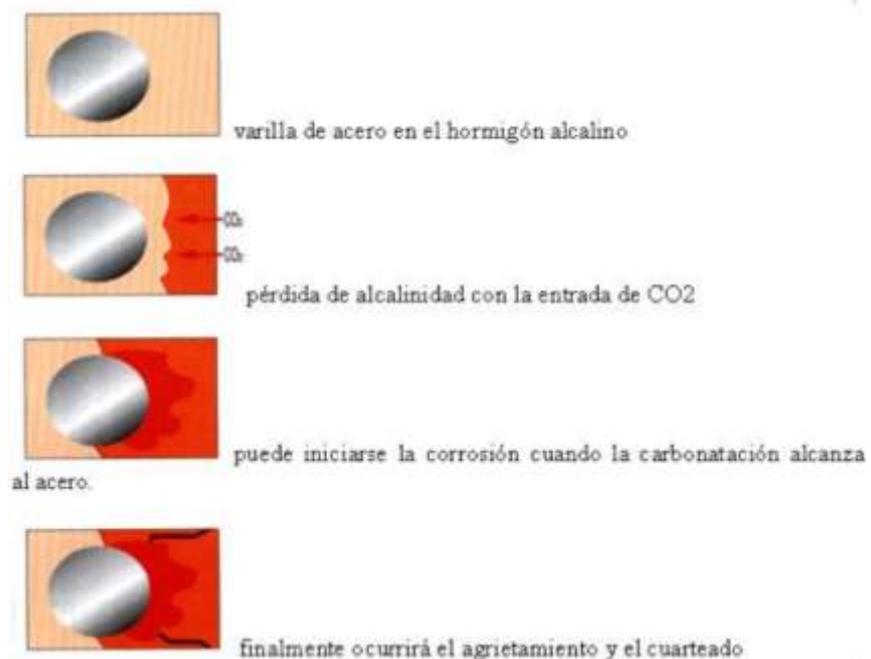


Ilustración 10-Fases de Carbonatación del hormigón.
Fuente: (Corrosión en el hormigón armado, durabilidad e inhibidores de corrosión, 2003)

(Bermúdez, 2007) La mayor velocidad de carbonatación se produce para una humedad relativa entre 60 y el 75 % ya que si es menor no hay suficiente agua y si es mayor el agua contenida en los poros reduce la velocidad de difusión del dióxido de carbono en el hormigón. Otros factores que influyen en la velocidad de carbonatación son el tipo de cemento (con o sin adiciones), el contenido de cemento y la porosidad del árido.

2.2.6.3. *Proceso de Corrosión por Sulfatación:*

(Martínez Martínez, 2015) Se manifiesta rápidamente durante ciertas estaciones del año, donde el contenido de SO_2 es elevado, aun considerando que la presencia en volumen de dicho contaminante es pequeña (1 molécula de dióxido de azufre permite la formación de 15 a 40 moléculas de herrumbre, de acuerdo a la estación). En términos generales, los iones sulfato reaccionan con los aluminatos cálcico hidratados del clinker de cemento portland formando la sal de Candlot o Etringita, que es muy poco soluble en agua y provoca un gran aumento de volumen del orden del 250% en relación a los reactivos iniciales. **Ilustración 11.**

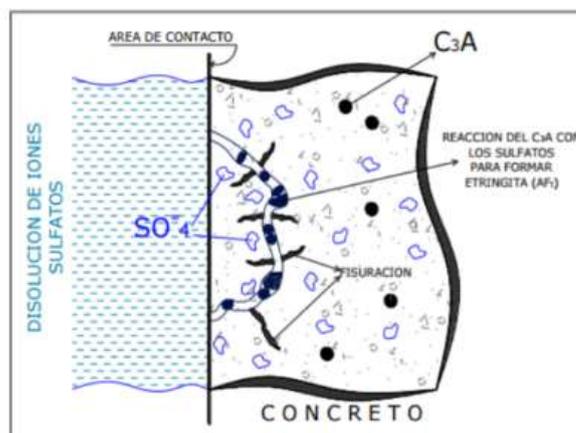
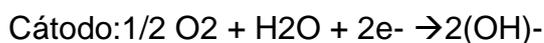
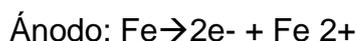


Ilustración 11-Acción de los sulfatos.
Fuente: (Martínez Martínez, 2015)

2.2.7. **Mecanismo de corrosión del Acero**

(Bermúdez Odriozola, 2007) En la corrosión del acero dentro del hormigón, el proceso anódico no puede producirse hasta que la capa protectora del acero se elimina en un ambiente ácido (por ejemplo, por carbonatación del hormigón) o se hace permeable por la acción de los iones Cl . El proceso catódico no se produce hasta que en la

superficie del acero se dispone de una cantidad suficiente de oxígeno y agua. Las reacciones son:



Inicialmente se produce hidróxido ferroso de color verdoso y, con mayor grado de oxidación, óxido ferroso-férrico, de color negro, e hidróxido férrico, rojizo, llevando éste último un volumen 8 veces mayor al volumen inicial de la molécula de hierro, entonces en ausencia de suficiente oxígeno, no se forma óxido expansivo ya que no se puede desarrollar la formación de hidróxido férrico. Las reacciones son:



2.2.8. Puzolanicidad

(Valdez, 2002) La American Society for Testing and Materials (ASTM C 618-89) define a una puzolana como un material silíceo o silíceo-aluminoso que por sí solo posee poco o nulo valor cementante, pero que en presencia de humedad reacciona químicamente con el hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, generado durante la hidratación del cemento, para formar compuestos con propiedades cementicias.

Sumando a sus componentes, las sílices amorfas contenidas en la ceniza reaccionan con el hidróxido de calcio, formando productos de hidratación (C-S-H silicato de calcio hidratado, de sus siglas en inglés) los cuales decrecen la porosidad del concreto. Conjuntamente la capacidad de la ceniza de llenar parcialmente los vacíos y poros presentes en la matriz cementante; permite crear sitios de nucleación y una vez que ésta reacciona, el tamaño de poro se reduce, disminuyendo así la permeabilidad y la difusión de agentes externos los sulfatos (componente MS), al moderado calor

de hidratación (componente MH) y resistencia a los agregados alcali-reactivo (componente R).

(Argiz, Menéndez, & Sanjúan, 2013) En realidad, la reacción puzolánica es una reacción ácido-base, que transcurre entre la parte ácida (sílice y alúmina) del material puzolánico y la parte básica (CaO o Ca(OH) que suministra el cemento).Entonces, la adición de éstas juegan un papel muy importante rellenando parcialmente los poros de la pasta de cemento y las interfaces árido-pasta y armadura-pasta, lo cual contribuye a una mayor durabilidad y, en algunos casos, a una mayor resistencia a largas edades siempre y cuando el hormigón se haya curado en condiciones de humedad.

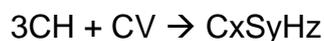
2.2.9. Mecanismo de reacción de la Puzolana en concreto

(Molina, Moragues, & Gálvez, 2010) En los hormigones con adición de cenizas ocurren dos reacciones principales.

En la primera se produce gel C-S-H (C₃S₂H₄) y Portlandita (hidróxido cálcico) por la hidratación del cemento Pórtland.



En la segunda, la Portlandita se combina con las cenizas volantes (CV) para formar nuevos geles de C-S-H



El resultado suele traducirse en un hormigón de mejores propiedades físicas y mecánicas, con disminución notoria en la permeabilidad del concreto.

(Calzada, 2016) Entonces, en cuanto a la reacción puzolánica, ésta se produce entre la sílice y la alúmina de las cenizas volantes y

la portlandita, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, procedente de la hidratación de los silicatos (C_3S y C_2S) del clínker del cemento Portland que garantizarán en conjunto la baja permeabilidad del concreto, mediante la disminuir de la relación agua cemento de la mezcla, teniendo siempre en cuenta que esta no provoque posteriormente fisuras por la contracción del concreto, por el calor de hidratación de la pasta de cemento.

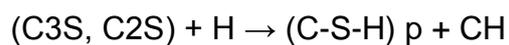
Durante su hidratación, la puzolana se usa en combinación con el cemento portland, y éste es la fuente de hidróxido cálcico que reacciona con los aluminosilicatos presentes en la puzolana para forman compuestos cementantes.

La reacción puzolánica puede representarse mediante:



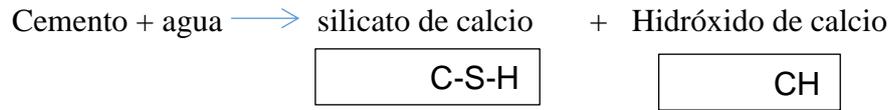
Dónde: (C-S-H) s: Silicatos de calcio hidratados de estequiometria no definida.

Por su parte la reacción de hidratación del cemento puede representarse por:

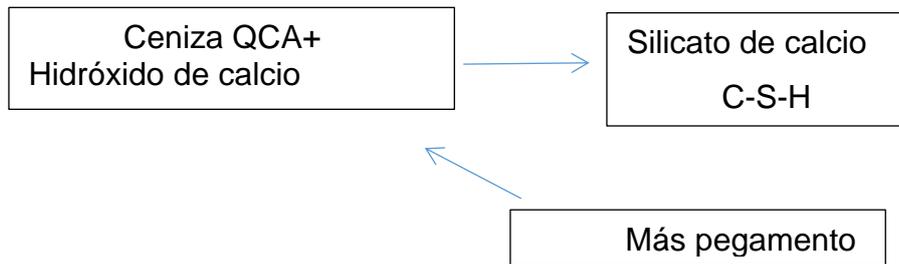


(Instituto Mexicano del Cemento y del Cemento,A.C., 2001,febrero)
El alto contenido de sílice y la suma de los óxidos ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) es igual a lo que se esperaría para una ceniza volante según la designación de ASTM C 618. Las propiedades de comportamiento indican que el material es una puzolana muy reactiva a 7 y 28 días. La capacidad reductora de agua del material es significativa. El rango del tamaño de las partículas y la forma esférica de éstas se combinan para contribuir a sus características realzadas de trabajabilidad. Las partículas esféricas ruedan fácilmente una sobre otra, reduciendo la fricción interna entre partículas. La forma esférica

minimiza también el área de superficie de la partícula, dando como resultado una baja demanda de agua.



Reacción puzolana:



(Sotelo, 2004) El resultado de ésta adición se observa en la siguiente descripción gráfica:

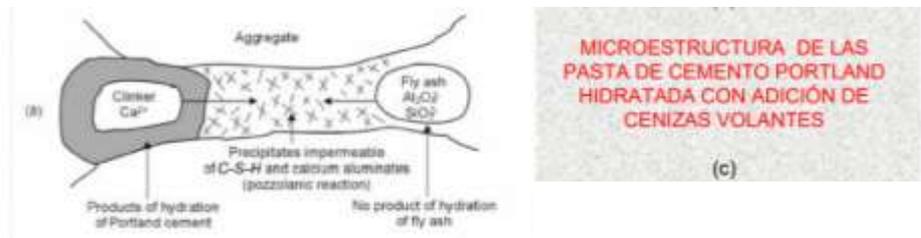


Ilustración 12

La formación de productos de hidratación secundarios (principalmente silicatos de calcio hidratados) alrededor de las partículas de puzolana tiende a rellenar las grandes cavidades capilares con un material microporoso y, por consiguiente, de baja densidad. El proceso de transformación de un sistema que contiene grandes cavidades capilares en un producto microporoso que contiene numerosos poros finos se denomina «refinamiento del tamaño de poro». La nucleación del hidróxido de calcio alrededor de las finas y bien distribuidas partículas de puzolana tendrá el efecto

de reemplazar los grandes y orientados cristales de hidróxido de calcio por numerosos, pequeños, y menos orientados cristales (de baja cristalinidad) procedentes de la reacción puzolánica.

(Akinyemi, 2018) Las cenizas volantes del cemento tienen propiedades puzolanas y pueden reemplazar el 30% en masa del cemento Portland que se utiliza para la fabricación del cemento. En la industria del cemento utilizan más del 50% de las cenizas volantes que pueden agregar resistencia y durabilidad al concreto. Se espera que utilice más del 75% para 2020 con el aumento de la demanda de cemento en las industrias de infraestructura.

Las reacciones químicas involucradas en el cemento son las siguientes: En el cemento y en la matriz de ceniza, la cal se libera durante la hidratación del silicato tricálcico (3CaO-SiO_2) y el silicato dicálcico (2CaO-SiO_2), donde tenemos que el silicato tricálcico es más adecuado para la estabilización con cenizas volantes.

(Godoy & Gándara, 2018) Al utilizar ceniza volante la demanda de agua será menor gracias a su morfología esférica. La reacción puzolánica entre la sílice y la alúmina, presentes en las cenizas volantes, y la portlandita o hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) procedentes de la hidratación de los silicatos (C_3S y C_2S) del clinker del cemento portland. Esta reacción es más lenta que la hidratación de los silicatos

(Akinyemi, 2018) Los concretos que tienen el 40-60% de cenizas volantes se pueden usar en aplicaciones estructurales, produciendo concreto con buena mecánica que mejora la trabajabilidad y la cohesión. y reduce la segregación cuando se compara con un cemento Portland eficiente que una forma de ceniza volante, es muy fácil bombear y reducir el desgaste de las propiedades técnicas que se utilizan para la producción de cemento Portland. El hormigón de cenizas volantes fluye y se consolida cuando se vibra el concreto de cemento Portland más convencional. Debido a partícula esférica.

2.2.10. Mecanismos de Protección

(Colegio de Ingenieros del Perú, s.f.) La primera defensa contra la corrosión del acero en el concreto es la calidad del concreto y un recubrimiento suficiente alrededor de las barras de refuerzo. El concreto de calidad tiene una relación agua/material cementante (A/C) que es lo suficientemente baja para disminuir la penetración de las sales de cloruro y el desarrollo de la carbonatación. La relación A/C debe ser menor de 0.5 para reducir el ritmo de carbonatación y menor de 0.4 para minimizar la penetración de los cloruros. Los concretos con bajas relaciones A/C pueden ser producidos mediante:

- El incremento del contenido de cemento
- La reducción del contenido de agua utilizando aditivos reductores de agua y superplastificantes, o
- El uso de mayores cantidades de cenizas volantes, escorias u otros materiales cementantes.

El concreto debe estar adecuadamente compactado y curado. Se necesita un curado húmedo mínimo de 7 días a 21°C para el concreto con relación A/C de 0.4, mientras que serían necesarios 6 meses para uno de relación A/C de 0.6 para obtener un desempeño equivalente. Numerosos estudios muestran que la porosidad del concreto se reduce significativamente con el incremento del tiempo de curado y por ende se mejora la resistencia a la corrosión.

Se puede lograr una mayor resistencia a la corrosión mediante la utilización de aditivos para el concreto. La microsílíce (humo de sílice), las cenizas volantes y las escorias de alto horno, reducen la permeabilidad del concreto a la penetración de los iones cloruro. Los inhibidores de la corrosión, tales como el nitrito de calcio, actúan para prevenir la corrosión en presencia de los iones cloruro. En todos los casos estos se añaden a un concreto de calidad con relación A/C menor o igual a 0.45.

Otras técnicas de protección incluyen las membranas protectoras, la protección catódica, las barras de refuerzo recubiertas con resinas epóxicas y los selladores para concreto (si son reaplicados cada 4 ó 5 años).

2.2.10.1. Protección del concreto

(Paredes & Prieto, s.f.) Una vez que se ha detectado mediante análisis o a simple vista que una estructura de hormigón armado ha sufrido un daño a causa de la corrosión, inmediatamente se debería reparar la estructura para así evitar que la corrosión aumente el daño producido y por ende un daño irreparable en la estructura, para esto existen algunos métodos:

Eliminación del hormigón deteriorado: Si se observa que existen síntomas de corrosión como mancha de óxidos o fisuraciones en el acero de la estructura, se debe eliminar todo el hormigón de esas zonas.

Restauración de la capacidad resistente de las armaduras: si las pérdidas de sección que existen en el acero son menores al 15% no es necesario restaurar la capacidad nominal del acero ya que con ese porcentaje no existen problemas estructurales, pero si las pérdidas pasan el 15% se deberá recalcular la estructura o restaurar la capacidad inicial del acero.

La aplicación de un tratamiento superficial pueden ser pinturas y sellantes, hidrófugos o impregnantes, obturadores de poros.



*Ilustración 13. Efectos en el hormigón.
Fuente: (Paredes & Prieto, s.f.)*

2.2.10.2. Protección al Acero de Refuerzo

(ÁVILA & GENESCÁ, 1996) Básicamente todos los métodos que existen para lograr controlar la corrosión de los materiales metálicos, son intentos para interferir con el mecanismo de corrosión, de tal manera que se pueda hacer que éste sea lo más ineficiente posible.

-RECUBRIMIENTOS PROTECTORES

Recubrimientos no-metálicos: Son aquellos en donde podemos incluir dentro de éstos las pinturas, barnices, lacas, resinas naturales o sintéticas. Grasas, ceras, aceites, empleados durante el almacenamiento o transporte de materiales metálicos ya manufacturados y que proporcionan una protección temporal.

Recubrimientos orgánicos de materiales plásticos: Esmaltes vitrificados resistentes a la intemperie, al calor y a los ácidos.

Recubrimientos metálicos: Pueden lograrse recubrimientos metálicos mediante la electrodeposición de metales como el níquel, cinc, cobre, cadmio, estaño, cromo, etcétera.

Inmersión en metales fundidos: Cinc (galvanización en caliente), aluminio (aluminizado), etc.

2.2.10.3. Protección Catódica

(Universidad Nacional Tecnológica, s.f.) La protección catódica se basa en llevar las armaduras embebidas en el hormigón a un potencial de valor tal que la corrosión no pueda tener lugar. Se trata de situar el acero en la zona de inmunidad de los diagramas de Pourbaix. Ello se consigue reduciendo el contenido en oxígeno, o haciendo actuar a toda la armadura como cátodo. Este último supuesto se puede llevar a cabo mediante dos métodos:

1) Conectando la armadura a los llamados “ánodos de sacrificio” (ver ilustración 14), que son materiales que poseen mayor tendencia a corroerse que el acero del hormigón, como magnesio, zinc o aluminio, o aleaciones basadas en estos metales. En estructuras de hormigón, estos ánodos deben ser compatibles con el material cementicio para evitar el deterioro de aquellos debido a reacciones de autocorrosión.

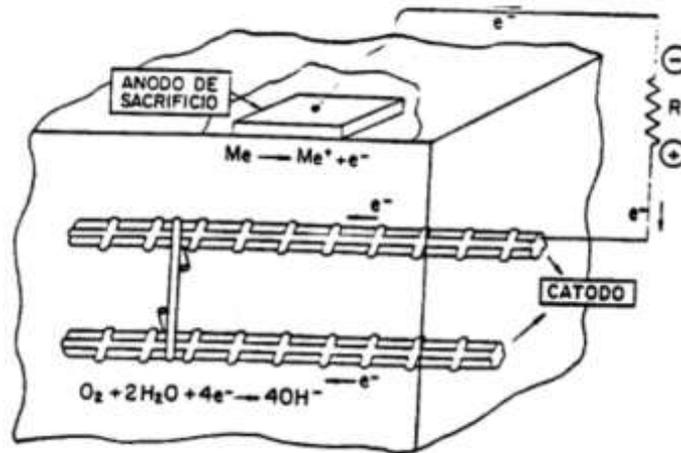


Ilustración 14 –Protección Catódica por ánodos de sacrificio

2) Por el método “corriente impresa” (ver ilustración 15), en el cual la protección se lleva a cabo por medio de una fuente externa de corriente continua. El terminal positivo de la fuente debe conectarse a un ánodo auxiliar, mientras que el negativo se conecta a la armadura a proteger.

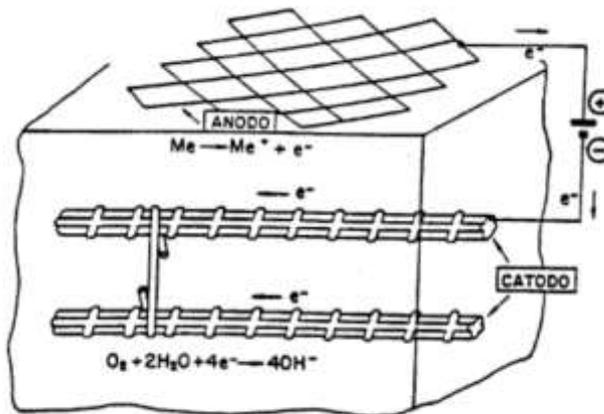


Ilustración 15-Protección Catódica por corriente impresa

Una de las ventajas de este método es que no es necesario eliminar el hormigón contaminado, aunque sí es recomendable reconstruir las zonas dañadas para asegurar una buena distribución de la corriente. Sin embargo, también presenta una serie de inconvenientes como:

- Elevados costos económicos de ejecución y mantenimiento.
- No se conocen bien los efectos a largo plazo sobre la adherencia.
- No se conoce con exactitud cuándo y cómo instalar la protección catódica.

2.2.10.4. Protección por Aditivos

(Colegio de Ingenieros del Perú, s.f.) Se puede lograr una mayor resistencia a la corrosión mediante la utilización de aditivos para el concreto. La microsílíce (humo de sílice), las cenizas volantes y las escorias de alto horno, reducen la permeabilidad del concreto a la penetración de los iones cloruro. Los inhibidores de la corrosión, tales como el nitrito de calcio, actúan para prevenir la corrosión en presencia de los iones cloruro. En todos los casos estos se añaden a un concreto de calidad con relación A/C menor o igual a 0.45.

Los repelentes al agua (hidrófugos) pueden reducir el ingreso de humedad y de cloruros en una cantidad notable. Sin embargo, el manual ACI 222 indica que no son efectivos para lograr una protección a largo plazo. Partiendo de que un concreto de buena calidad ya posee una baja permeabilidad, los beneficios adicionales de los repelentes de agua no son tan significativos.

Otras técnicas de protección incluyen las membranas protectoras, la protección catódica, las barras de refuerzo recubiertas con resinas epóxicas y los selladores para concreto (si son reaplicados cada 4 ó 5 años).

2.2.10.5. Protección contra ácidos

(SORETZ, 2017) Prácticamente, todos los productos de hidratación del cemento son fuertemente alcalinos y comunican al

agua alojada en los poros del hormigón una reacción básica con un $\text{pH} = 12,5$. En soluciones fuertemente alcalinas, con un $\text{pH} > 10$, el acero se mantiene pasivo ante la corrosión y queda protegido ante la misma, en tanto perdure tal situación. A causa de las influencias ambientales, puede verse tan seriamente reducida la alcalinidad de la fase líquida, que llega a desaparecer su acción protectora.

2.2.11. Métodos de Reparación

(Ramos, 2014) Las fallas prematuras que presentan las estructuras de concreto armado en general, se deben principalmente a la falta de control de calidad y errados procedimientos de construcción, reparación y que elevan los costos y ponen en riesgo la vida de las personas. Este problema se incrementa con la acción de los agentes agresivos externos que rodean a la estructura, en su mayoría cloruros y/o CO_2 , lo cual aunado a la construcción de estructuras en terrenos con niveles de capa freática elevados e inapropiados donde se omite el resultado del estudio geotécnico o en su defecto no se realiza, se potencian aún más los daños por corrosión que puedan sufrir dichas estructuras de concreto armado.

Todas las estructuras muestran a simple vista una considerable cantidad de daños por corrosión de la armadura en las columnas del sótano, que evidencian un severo estado de deterioro. La presencia de gran cantidad de áreas fofas y grietas, con de laminación del concreto y acero expuesto en diversas zonas de las columnas, e incluso en algunos casos columnas con más del 50 % de su área agrietada, son una clara indicación del estado crítico de las mismas; así como de la necesidad inmediata de reparación/rehabilitación.

2.2.11.1. Métodos Convencionales de Reparación

(Martínez, 2015) Los métodos tradicionales para proteger y reparar estructuras de concreto han sido ampliamente utilizados por varias décadas, incluso su uso tiene vigencia debido a los bajos costos que representan.

- Reemplazos de Concreto, este tipo de reparación consiste básicamente en la sustitución del concreto deteriorado por concreto nuevo. Este método se debe hacer de forma inmediata a la eliminación de aquellas regiones de material deteriorado, se considera que el material se deberá limpiar hasta llegar a la superficie de concreto que no ha sufrido deterioro.

- Aleaciones, las aleaciones no deben presentar corrosión aun cuando exista la presencia de cloruros y de la propia carbonatación del material. Se ha optado por el empleo de aceros inoxidable austeníticos, en particular 304 y 316. Los casos de aplicación de estos son mínimos y se circunscriben a situaciones donde:

- i. Existe una elevada concentración de cloruros
- ii. Estructuras construidas sobre el mar
- iii. Estructuras en las que se espera una larga vida de servicio.

El uso de acero inoxidable no sólo representa una forma en la que se podrá evitar la corrosión del acero, garantizando así la confiabilidad de la estructura, sino que al no formarse óxidos (existe un aumento de volumen) se evita también el que exista alguna tendencia del concreto a fracturarse, manteniéndose la integridad de la unión concreto-material de refuerzo.

2.2.11.2. Métodos No Convencionales de Reparación

(MIRANDA, OTERO, & GONZÁLEZ, 2005) La realcalinización electroquímica (RAE) y la extracción electroquímica de cloruros (EEC) han mostrado su capacidad de eliminar, en pocas semanas, las causas de la corrosión de las estructuras de hormigón armado (EHA), razón por la cual reciben, actualmente, una especialísima atención. Para ello, se analizan las respuestas de electrodos limpios y precorroídos en solución que simula la fase acuosa de la red de poros del hormigón. La eficacia de los métodos de rehabilitación electroquímica depende, fuertemente, de acuerdo con los resultados obtenidos, del grado de precorrosión de las armaduras.

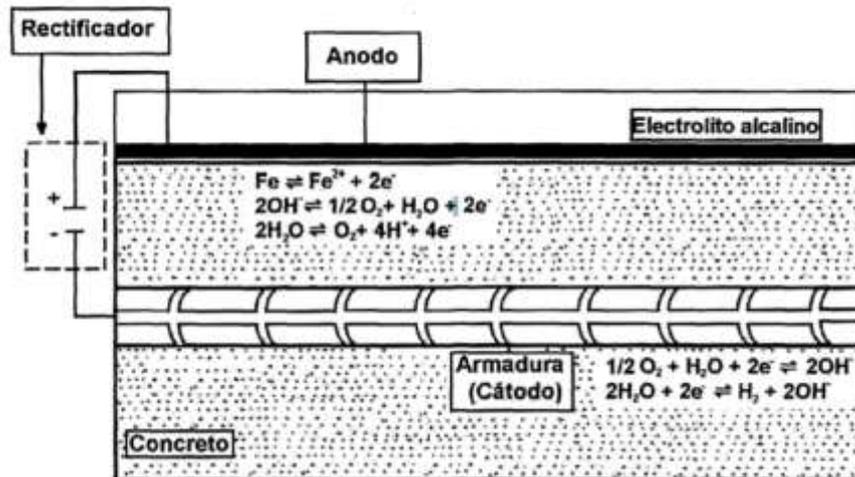


Ilustración 16-Esquema de las conexiones a la fuente de corriente en los métodos de rehabilitación electroquímica, incluyendo las reacciones que pueden tener lugar en el ánodo y en los refuerzos.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- Cu/CuSO₄: Cobre/Sulfato de Cobre
- ENH: Electrodo normal de hidrógeno
- Cu: Cobre
- Cu²⁺: Cation de cobre
- 2e⁻: Enlace químico
- An/c: Agua no evaporable / cemento
- An: Agua no evaporable
- ASTM: American Society for Testig and Materials
- C3A: Aluminato tricálcico
- Fe CL₂: Cloruro ferroso
- Fe(OH)₂: Hidróxido de hierro.
- SO₂: Dióxido de azufre
- μm/A: Un micrómetro / año
- V_{corr}: Velocidad de corrosión
- a/c: Agua/ cemento
- NaCl: Cloruro de sodio
- °C: Grados Celsius
- E: Electrodo

- Log: Logaritmo
- V: Voltios
- a/mc: Agua/material cementicio
- CO₂: Dióxido de carbono
- ACI: American Concrete Institute
- ISO: International Organization for Standardization
- OH⁻: Hidróxido
- H₂O: Agua
- O₂: Oxígeno
- Fe²⁺: Hierro ferroso
- mm: micrómetros
- Ø: diámetro
- Fe(OH)₂:
- CL: Cloro
- %: porcentaje
- C₃A: Aluminato tricálcico
- CS: Cesio
- C-S-H: Silicato de calcio Hidratado
- C₃S: alita
- C₂S: Silicato Bicalcico
- CH: hidróxido de calcio (portlandita)
- NTP: norma Técnica Peruana
- (C-S-H) s: Silicatos de calcio hidratado de estequiometria no definida

2.4. HIPOTESIS

Si incorporamos 5% de Ceniza en adición al cemento Portland Tipo I estudios muestran un mejor comportamiento con relaciones a/c menores por lo cual en nuestra investigación usaremos concretos con relación a/c=0.40, 0.45 y 0.50 esperando lograr que el potencial de corrosión del acero ASTM A615 embebido disminuirá considerablemente.

2.5. VARIABLES E INDICADORES

Variable	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
POTENCIAL DE CORROSION	El potencial de corrosión se presenta por la migración electrónica debida a la diferencia de potencial existente entre dos polos en un metal, donde una fase se expone a una atmosfera corrosiva	Contenido de ceniza	Peso equivalente en cemento desplazado (Kg)
	se produce una caída óhmica entre dicho metal y un electrolito, lo cual genera una diferencia de potencial, la responsable de los fenómenos corrosivos.	Potencial de corrosión que generan oxidación	mv (milivoltio)

Tabla 1-Variables e indicadores

III. METODOLOGIA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

Investigación Descriptiva cuasi-experimental

3.2. Población y muestra de estudio

3.2.1. Población

Todas las construcciones que usen concreto armado y que se encuentren aledañas al mar.

3.2.2. Muestra

Se incluyó ceniza en adición al cemento portland Tipo I con porcentajes de $a/c = 0.40$; 0.45 ; 0.50 (**Ver Tabla 2**)

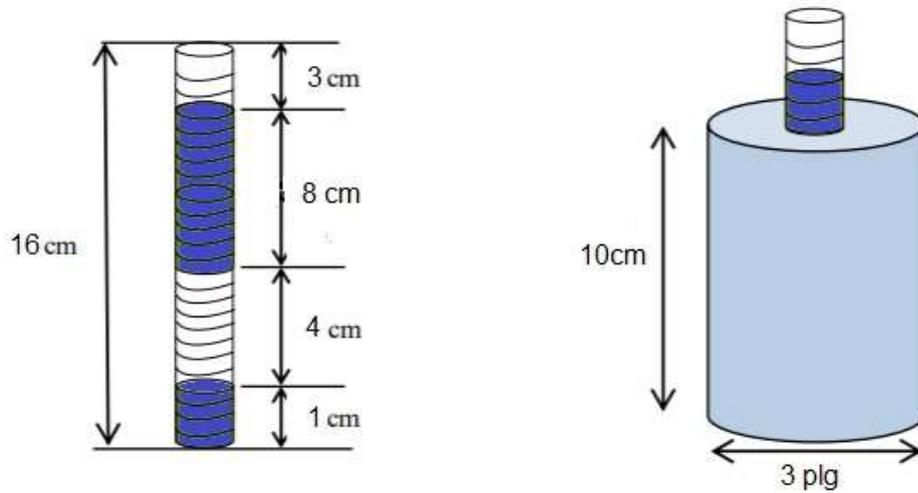
CEMENTO PORTLAND TIPO I											
$a/c = 0.40$				$a/c = 0.45$				$a/c = 0.50$			
00%	05%	10%	15%	00%	05%	10%	15%	00%	05%	10%	15%

Tabla 2-Muestra

Con ello elaboramos probetas cilíndricas de (3" x 5" pulgadas) con cemento portland Tipo I (NTP 334.009. y ASTM C-150) fabricado por Cementos Pacasmayo y con la ceniza de la quema de caña de azúcar obtenida de la "Agroindustria Laredo" ubicado en Av. Trujillo 2 s/n, Laredo, Departamento La Libertad, Perú. Para la muestra se utilizó agua potable cuyas propiedades fisicoquímicas están dentro de los límites permitidos según la norma de diseño de mezclas ASTM C1602/C1602M. Además, se utilizó agregados (arena gruesa y piedra chancada) de canteras locales. Y por último se usó fierro corrugado ASTM A615 de ½" de diámetro, grado 60.

La varilla de acero ASTM A615 cumplirá la función de electrodo de trabajo teniendo una longitud de 16cm y estará colocada de manera que se encuentre en el centro de cada probeta (**ilustración 17**), estos ensayos

están basados específicamente para construcciones de albañilería que son típicas en el Perú.



*Ilustración 17-medidas empleadas
Fuente: Elaboración propia*

Instrumentos y materiales para el ensayo de la celda galvánica:

- Un Voltímetro digital
- Electrodo de Referencia (Cu/CuSO₄)
- Cloruro de Sodio (NaCl)
- Cristales de Sulfato de cobre (CuSO₄)
- Un recipiente de plástico para solución acuosa electrolítica
- Tubo rígido ($\varnothing_i = 26\text{mm}$).

3.3. Diseño de Investigación

Este proyecto se desarrolló basándose en un diseño cuasi experimental

$G_1 - O_1$

$G_2 \times O_1$

Donde:

G1: Grupo de control 1

G2: Grupo de control 2

— : sin aplicación de ceniza

✘ : con aplicación de ceniza

O1: Observaciones referentes al «Potencial de Corrosión».

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

3.4.1. Método de la Media Celda (ASTM C 876-09)

(ASTM C876-09, 2009)

Método de prueba estándar para potenciales de media celda de acero de refuerzo sin recubrimiento en concreto.

1. Alcance:

1.1. Este método de prueba cubre el cálculo del potencial eléctrico de media celda del acero de refuerzo sin recubrimiento en concreto de campo y de laboratorio. con el fin de determinar la actividad de corrosión del acero de refuerzo.

1.2 Este método de prueba está limitado por un circuito eléctrico. Una superficie de concreto que se haya secado en la medida en que sea un dieléctrico y las superficies recubiertas con un material dieléctrico no proporcionarán un circuito eléctrico aceptable. La configuración básica del circuito eléctrico (**Ver Ilustración 18**).

1.3 los valores establecidos en unidades de pulgada-libra se deben considerar como el estándar.

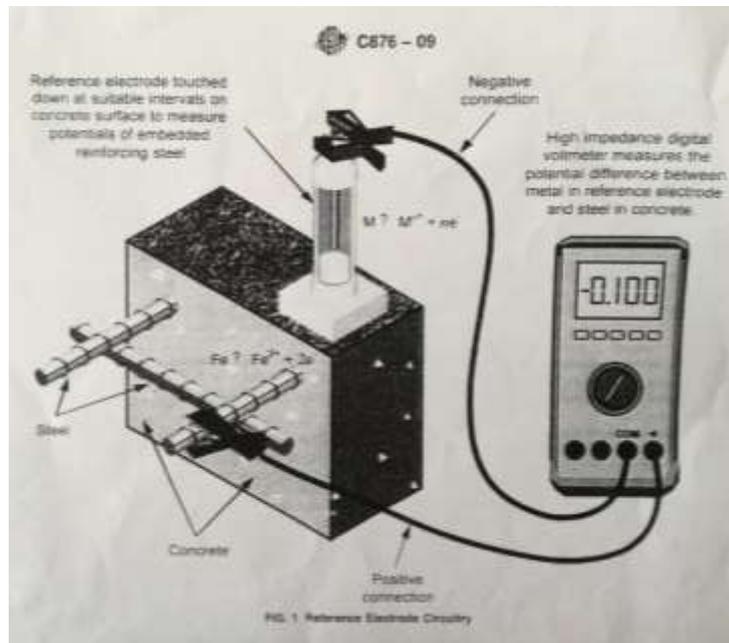


Ilustración 18-Circuito de electrodo de Referencia

2. Significación y Uso:

2.1 Este método de prueba es adecuado para la evaluación y el uso en servicio en trabajos de investigación y desarrollo.

2.2 Este método de prueba es aplicable a los miembros independientemente de su tamaño o la profundidad de la cubierta de concreto sobre el acero de refuerzo

2.3 Este método de prueba se puede usar en cualquier momento durante la vida de un miembro de concreto.

2.4 Los resultados obtenidos al usar este método de prueba no debe considerarse como un medio para estimar las propiedades estructurales del acero o del elemento de hormigón armado.

2.5 Las mediciones de potencial deben ser interpretadas por ingenieros o especialistas técnicos con experiencia en materiales de concreto y pruebas de corrosión. A menudo es necesario utilizar otros datos, como los contenidos de cloruro. Profundidad de carbonatación. resultados de la encuesta de delaminación, tasa de resultados de corrosión y condiciones de exposición ambiental, además de las mediciones del

potencial de media celda, para formular conclusiones sobre la resistencia a la corrosión del acero embebido y su efecto probable en la vida útil de una estructura

3. Aparato

3.1 El aparato de prueba consiste en lo siguiente:

3.1.1 Media celda:

3.1.1.1 (**Ilustración 19**) se muestra una media celda de sulfato de cobre y cobre (Nota I). Consta de un tubo o recipiente rígido compuesto de un material dieléctrico que no es reactivo con el sulfato de cobre o cobre, un tapón de madera o plástico poroso que permanece húmedo por acción capilar, y una varilla de cobre que se sumerge dentro del tubo en una solución saturada de sulfato de cobre. La solución se preparará con cristales de sulfato de cobre de grado reactivo disueltos en agua destilada o desionizada. La solución se puede considerar saturada cuando un exceso de cristales (sin disolver) se encuentra en el fondo de la solución.

3.1.1.2 El tubo o recipiente rígido debe tener un diámetro interno no inferior a 1 pulgada (25 mm); el diámetro del tapón poroso no debe ser menor que ½ pulgada (13 mm); el diámetro de la varilla de cobre sumergida no debe ser menor a 4 pulg. (6 mm) y la longitud no debe ser menor que 2 pulg. (50 mm).

3.1.1.3 Los criterios actuales basados en la reacción de semicelda de $\text{Cu} \square \text{Cu}^{++} + 2\text{e}$ indica que el potencial de la semicelda de sulfato de cobre-cobre saturado como referencia al electrodo de hidrógeno es -0.316 V a 72 F (22.2 ° C). La celda tiene un coeficiente de temperatura de aproximadamente 0,0005 V más negativo por °F para el rango de temperatura de 32 a 120 F (0 a 49 c).

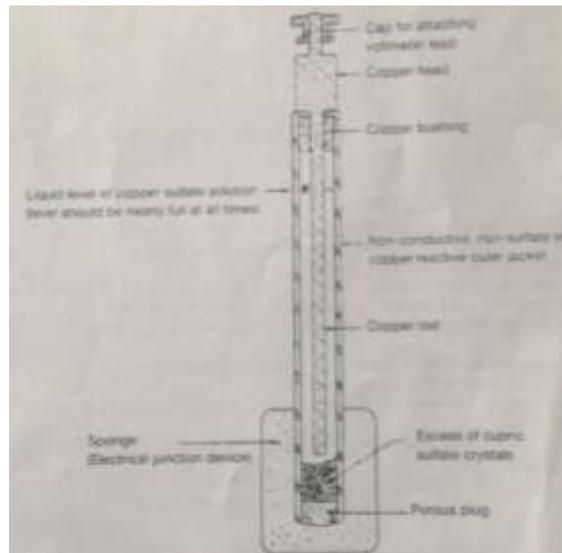


Ilustración 19-Electrodo de Referencia

Note1- Sin embargo, este método de prueba específica solo un tipo de media celda, es decir, la media celda de cobre y sulfato de cobre, mientras que otras tienen un rango de medición similar, La precisión y las características de precisión también se pueden usar. Además de las celdas de sulfato de cobre y cobre, las celdas de calomel se han utilizado en estudios de laboratorio. Los potenciales medidos por otras celdas de sulfato de cobre y cobre se deben convertir en sulfato de cobre-cobre.

potencial equivalente. La técnica de conversión se puede encontrar en la Práctica G 3 y también se describe en química física o libros de textos de tecnología de media celda.

3.1.2 Dispositivo de empalme eléctrico: se debe utilizar un dispositivo de empalme eléctrico para proporcionar un puente líquido de baja resistencia eléctrica entre la superficie Del hormigón y de la media celda. Consistirá en una esponja o varias esponjas prehumedecidas con una solución de contacto de baja resistencia eléctrica. La esponja puede doblarse y unirse a la punta de la media celda de modo que proporcione continuidad eléctrica entre el tapón poroso y el elemento de hormigón.

3.1.3 Solución de contacto eléctrico: para estandarizar la caída potencial a través de la parte de concreto del circuito, se debe usar una solución de contacto eléctrico para humedecer el dispositivo de empalme eléctrico.

Una de tales soluciones está compuesta por una mezcla de 95 ml de agente humectante (agente humectante disponible comercialmente) o un detergente doméstico líquido completamente mezclado con 5 gal (19 L) de agua potable. Bajo temperaturas de trabajo de menos de aproximadamente 50 ° (10 ° C), se debe agregar aproximadamente el 15% en volumen de isopropilo o alcohol desnaturalizado para evitar la formación de manchas en la solución de contacto eléctrico, ya que la formación de nubes puede inhibir la penetración de agua en el concreto para ser probado.

3.14 Voltímetro: El voltímetro tendrá la capacidad de ser operado por batería y tendrá una precisión de final de escala del 3% en los rangos de voltaje en uso. La impedancia de entrada no será menor.

3.1.5 Cables eléctricos: El cable eléctrico debe tener una dimensión tal que su resistencia eléctrica para la longitud utilizada no perturbará el circuito eléctrico en más de 0,0001 V. Esto se ha logrado mediante el uso de no más de un total de 500 pies lineales (150 m) de al menos AWG cable No. 24. El cable debe estar adecuadamente recubierto con aislamiento de tipo de entierro directo.

4. Calibración y estandarización:

4.1 Cuidado de la media celda -El tapón poroso debe cubrirse cuando no esté en uso por largos períodos para garantizar que no se seque hasta el punto en que se vuelve a dielectric (al secarse, los poros pueden ocluirse con sulfato de cobre cristalino). las células no producen la reproducibilidad o la fabricación entre las células descritas en la Sección 11, al limpiar la varilla de cobre en la media celda se puede solucionar el problema. La varilla puede limpiarse con una solución diluida de ácido clorhídrico. La solución de sulfato de cobre se renovará mensualmente o antes del almacenamiento, lo que sea el período más largo. En ningún momento se debe usar lana de acero ni ningún otro contaminante para limpiar la varilla de cobre o el tubo de media celda.

5. Procedimiento

5.1 Separación entre mediciones: aunque no existe una separación mínima predefinida entre las mediciones en la superficie urinaria del elemento de hormigón. es de poco valor tomar dos mediciones desde prácticamente el mismo punto. A la inversa, las mediciones tomadas con un espaciado muy amplio pueden no provocar la actividad de corrosión presente ni dar lugar a la acumulación adecuada de datos para la evaluación. Por lo tanto, el espaciado debe ser coherente con el miembro que se está investigando y el uso final previsto de las mediciones (Nota 2)

Nota 2- A espacio de 4 pies (1,2 m) se ha encontrado completamente para la evaluación de las cubiertas de puentes. En general, es más probable que haya espaciamientos más grandes que se puedan tomar movimientos localizados en un patrón cuadrículado o aleatorio. El espacio entre las mediciones debe reducirse generalmente cuando las lecturas adyacentes muestran diferencias de lectura algebraicas que exceden los 150 mV (áreas de alta actividad de corrosión). el espacio mínimo generalmente debe proporcionar una diferencia de 100- mV entre las lecturas.

5.2 Conexión eléctrica al acero:

5.2.1 Realice una conexión cíclica directa al refuerzo mediante una pinza de conexión a tierra de tipo de compresión. o soldando una varilla que sobresale. Para garantizar una conexión de baja resistencia eléctrica, raspe la barra o cepille el cable antes de conectarlo al acero de refuerzo. En ciertos casos, esta técnica puede requerir la eliminación de algo de concreto para exponer el acero de refuerzo. Conecte eléctricamente el acero de refuerzo al terminal positivo del voltímetro.

5.2.2 El accesorio debe hacerse directamente al acero de refuerzo, excepto en los casos en que se pueda documentar que un miembro de acero expuesto está unido directamente al acero de refuerzo. Ciertos miembros. Tales como presas de expansión, placas de fecha, trabajos de elevación, y los rieles de parapeto no pueden estar unidos directamente al acero de refuerzo y, por lo tanto, pueden producir lecturas no válidas.

La continuidad eléctrica de los componentes de acero con el acero de refuerzo se puede establecer midiendo la resistencia entre componentes de acero ampliamente separados en la cubierta. Cuando las mediciones de prueba duplicadas se continúan durante un largo período de tiempo, se deben usar puntos de conexión idénticos cada vez para una medición dada.

5.3 Conexión eléctrica a la media celda: conecte eléctricamente un extremo del cable conductor a la media celda y el otro extremo de este mismo cable al terminal negativo (masa) del voltímetro.

5.4 Prehumedecimiento de la superficie del concreto:

5.4.1 Bajo ciertas condiciones. El material de recubrimiento de la superficie del concreto, o ambos, debe humedecerse previamente con cualquiera de los dos métodos descritos en 6.4.3 o 6.4.4 con la solución descrita en 4.1.3 para disminuir la resistencia eléctrica del circuito realizado de la siguiente manera, mueva

5.4.2 Una prueba para determinar la necesidad de humedecimiento previo puede ser:

5.4.2.1 Coloque la media celda en la superficie del concreto y no mover

5.4.2.2 Observe el voltímetro en una de las siguientes condiciones:

(a) El valor medido del potencial de media celda no cambia o fluctuar con el tiempo.

(b) El valor medido del potencial de media celda cambia o fluctúa con el tiempo

5.4.2.3 Si se observa la condición (a), no es necesario realizar una pre-limpieza de la superficie de concreto. Sin embargo, si se observa la condición (b), se requiere humedecimiento previo durante un período de tiempo tal que la lectura de voltaje sea estable (± 0.02 V) cuando se observa por lo menos durante un minuto. Si el humedecimiento previo no puede obtener la condición (a). o bien la resistencia eléctrica del circuito es demasiado grande para obtener mediciones válidas de potencial de media celda del acero, o la corriente extraviada de un sistema de tracción de corriente directa cercana u otra corriente continua fluctuante, como la

soldadura por arco, está afectando las lecturas. En cualquier caso, no se debe utilizar el método de media celda.

5.4.3 Método A para humedecer previamente superficies de concreto: utilice el Método A para aquellas condiciones en las que se requiere una cantidad mínima de humectación previa para obtener la condición (a) como se describe en 5.4.2.2. Para lograr esto, rocíe o de otra manera humedezca toda la superficie del concreto o solo los puntos de medición descritos en 5.1 con la solución descrita en 3.1.3. No debe quedar agua superficial libre entre los puntos de la malla cuando se inician las mediciones potenciales.

5.4.4 Método B para superficies de concreto que se humedecen previamente: en este método, sature las esponjas con la solución descrita en 3 1.3 y colóquelas sobre la superficie del concreto en los lugares descritos en 6. 1 Deje las esponjas en su lugar durante el tiempo necesario para obtener la condición (a) descrita en 5.4.2.2. No retire las esponjas de la superficie del concreto hasta que se haya realizado la lectura del potencial de media celda. Al realizar las mediciones de potencial de media celda, coloque el dispositivo de unión eléctrica descrito en

5.1.2 firmemente sobre las esponjas de prehumedecimiento durante la medición.

5.5. Mediciones subacuáticas, horizontales y verticales:

5.5.1 Las mediciones de potencial detectan la actividad de corrosión, pero no necesariamente la ubicación de la actividad de corrosión. La ubicación precisa de la actividad de corrosión requiere el conocimiento de la resistencia eléctrica del material entre la media celda y el acero corrosivo. Mientras que las mediciones bajo el agua son posibles Resultados con respecto a la ubicación de la corrosión interpretados con mucho cuidado. A menudo no es posible localizar con precisión puntos de actividad de corrosión bajo el agua en ambientes de agua salada porque las lecturas potenciales a lo largo del miembro parecen uniformes. Sin embargo. La magnitud de las lecturas sirve para indicar si se está produciendo o no una corrosión activa. Tenga cuidado durante todas las mediciones bajo el agua de que la media celda no se contamine y que ninguna otra parte

que no sea la punta porosa de la media celda del electrodo de sulfato de cobre entre en contacto con el agua

5.5.2 Realice mediciones horizontales y verticalmente hacia arriba exactamente como Medidas verticalmente hacia abajo. adicionalmente, asegúrese de que la solución de sulfato de cobre y cobre en la media celda haga un contacto eléctrico simultáneo con el tapón poroso y la varilla de cobre en todo momento

6. Registro de valores de potencial de media celda

Registre los potenciales eléctricos de media celda con la precisión de 0.01 V más cercana. Reporte todos los valores de potencial de media celda en voltios y corrija la temperatura si la temperatura de media celda está fuera del rango de 72 ± 10 °F (22.2 ± 5.5 C). El coeficiente de temperatura para la corrección se proporciona en 5.1.13

7. Presentación de datos

7.1 Las mediciones de prueba pueden ser prescritas por uno o ambos métodos. El primero, un mapa de contorno equipotencial, proporciona una delineación gráfica de las áreas en el miembro donde puede estar ocurriendo actividad de corrosión. El segundo método, el diagrama de frecuencia acumulativa, proporciona una indicación de la magnitud del área afectada del miembro de concreto

7.1.1 Mapa de contorno equipotencial: en una vista en planta adecuadamente escalada del miembro de concreto. trazar las ubicaciones de los valores de potencial de media celda del acero en el concreto y dibujar contornos de igual potencial a través de puntos de igual o interpolar valores iguales. El intervalo de contorno máximo será de 0,10 V. Se muestra un ejemplo en la **(Ilustración20)**.

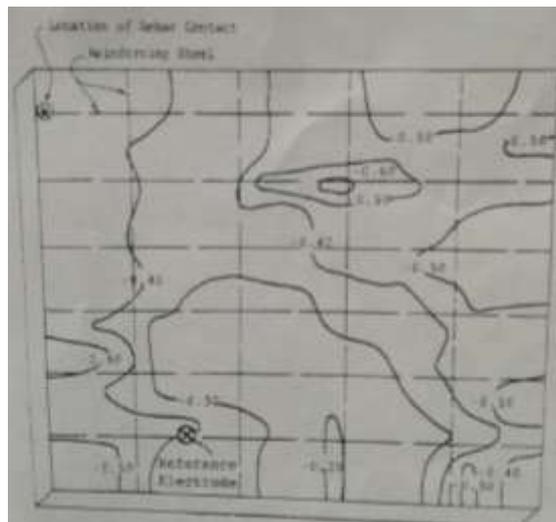


Ilustración 20-Mapa Equipotencial

7.1.2. Distribución de frecuencia cumulativa:

Para determinar la distribución del potencial de media celda mediado para el miembro de concreto, haga un gráfico de los datos en papel de probabilidad normal de la siguiente manera

7.1.2.1 Organice y enumere consecutivamente todo el potencial de media celda clasificando desde el potencial menos negativo hasta el potencial más negativo.

8. Interpretación de los resultados

8.1 Los potenciales de media celda normalmente se interpretan usando una Técnica de Magnitud Numérica o una Técnica de Diferencia de Potencial, o una combinación de las dos. La información sobre estas técnicas se presenta en el Apéndice X1.

8.2 La magnitud numérica del potencial por lo general proporciona una indicación de la presencia o ausencia de corrosión incrustada en el cemento portland no carbonatado y cerca de la punta de media celda, siempre que el acero no tenga un recubrimiento metálico. Por ejemplo, no está galvanizado. La magnitud numérica no indica la tasa de corrosión del acero del acero, excepto en ciertas condiciones específicas.

8.3 Las interpretaciones de potenciales de media celda en condiciones donde el concreto está saturado con agua, donde está carbonatado en la profundidad del acero de refuerzo. Donde se recubre el acero, y en muchas otras condiciones. requiere un ingeniero o especialista en corrosión con experiencia, y puede requerir análisis para la carbonatación.

Revestimientos metálicos. haluros tales como cloruro o bromuro, y otros materiales. Las pautas y los métodos de prueba emitidos por el Comité G-1 de ASTM y la Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión pueden ser muy útiles en investigaciones que involucran determinaciones de potencial de media celda.

8.4 Los potenciales de media celda pueden o no ser un indicio de corriente de corrosión. Los potenciales de media celda pueden, en parte o en su totalidad, reflejar la química del entorno del electrodo. Por ejemplo, concentraciones crecientes de cloruro pueden reducir la Concentración de iones ferrosos en un ánodo de acero. Así bajando (haciendo más negativo) el potencial. A menos que tal química. y se conoce la presencia o ausencia de reacciones de electrodos en competencia. un potencial de media celda no debe interpretarse como indicativo de la tasa de corrosión. o incluso como indicativo de una reacción de corrosión.

9. Informe

9.1 Informe la siguiente información:

9.1.1 Tipo de celda utilizada si no es sulfato de cobre-cobre.

9.1.2 La temperatura promedio estimada de la media celda durante la prueba.

9.1.3 El método para humedecer previamente el miembro de concreto y el método para unir el voltímetro al acero de refuerzo.

9.1.4 Un mapa de contorno equipotencial, que muestra la ubicación del contacto de acero de refuerzo o una gráfica de la distribución de frecuencia acumulativa de los potenciales de media celda, o ambos.

9.1.5 El porcentaje del potencial total de media celda que es más negativo que -0.35V y

9.1.6 El porcentaje del potencial total de media celda que es menos negativo que -0.20 V .

10. Precisión y sesgo

10.1 La diferencia entre dos lecturas de media celda tomadas en la misma ubicación con la misma celda no debe exceder los 10 mV cuando la celda se desconecta y se vuelve a conectar.

10.2 La diferencia entre dos lecturas de media celda tomadas en la misma ubicación con dos celdas diferentes no debe exceder de 20 la misma loca y Mv.

11. Palabras clave

11.1 actividad de corrosión del concreto: corrosión del concreto reforzado del acero reforzado: corrosión: actividad de la corrosión: potenciales eléctricos de media celda: potenciales de media celda.

X. NOTAS SOBRE LA PRUEBA DE POTENCIAL DE MEDIA CELDA

X1. Técnica de Magnitud Numérica: Pruebas de laboratorio (inmersión parcial en la exposición a cloruros al aire libre (incluida la exposición al cloruro) de varios hormigones reforzados en la superficie en un área en la que la tasa de precipitación excedió la tasa de evaporación, indique lo siguiente con respecto a la importancia de valor numérico valor de los potenciales medidos. Los voltajes indicados se refieren a la exposición de la celda media de sulfato de cobre-cobre

X1.1.1 Si los potenciales en un área son más positivos que -0.20 V CSE, existe una probabilidad mayor del 90% de que no haya corrosión en el acero de refuerzo ocurriendo en esa arca en el momento de la medición.

X1.1.2 Si los potenciales sobre un área están en el rango de -0.20 a -0.35 V CSE, la actividad de corrosión del acero de refuerzo en esa área es incierto.

X1.1.3 Si los potenciales sobre un área son más negativos que $-$ CSE de $0,35$ V, existe una probabilidad mayor al 90% de que la corrosión del acero de refuerzo esté ocurriendo en esa área en el momento de la medición.

X1.1.4 Normalmente, estos criterios no deben utilizarse bajo las siguientes condiciones, a menos que la experiencia o el examen destructivo de algunas áreas, o ambos, sugieran su aplicabilidad:

X1.14.1 Para evaluar el acero de refuerzo en el concreto que se ha carbonatado al nivel del acero incrustado.

X1.14.2 Para evaluar el concreto de interiores que no ha sido sometido a humedecimiento frecuente, a menos que haya sido protegido

X1.2 Diferencia de potencial Tecimique: donde existen grandes áreas de acero embebido e interconectado eléctricamente, por ejemplo, en

puentes, columnas o vigas reforzadas, una medición cuidadosa de los potenciales en un patrón de cuadrícula muy espaciado y el posterior trazado de mapas de contorno equipotenciales puede permitir la identificación de áreas de alta o baja tasa de corrosión del secado después del vaciado.

X1.14.3 Para comparar la actividad de corrosión en hormigones al aire libre de humedad o contenido de oxígeno altamente variables. o ambos, en el acero incrustado, y

X1.1.4.4 Para formular conclusiones sobre los cambios en la actividad de corrosión con el tiempo en una estructura rehabilitada en la que la rehabilitación causó la humedad o el contenido de oxígeno. o ambos, en el acero embebido para cambiar con el tiempo (Ejemplo: instalación de una capa de baja permeabilidad o una membrana impermeable en un puente o plataforma de estacionamiento contaminado con cloruro).

X1.2 Diferencia de técnica de potencial: donde existen grandes áreas de acero embebido e interconectado eléctricamente, por ejemplo, en puentes, columnas o vigas reforzadas, una medición cuidadosa de los potenciales en un patrón de cuadrícula muy espaciado y el posterior trazado de mapas de contorno equipotenciales puede permitir la identificación de áreas de alta o baja tasa de corrosión. Potenciales en un patrón de cuadrícula estrechamente espaciado y el posterior trazado de mapas de contorno equipotenciales puede permitir la identificación de áreas de alta y baja tasa de corrosión.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

3.5.1. Proceso de ensayo media celda

ELABORACION DE PROBETAS

Para la elaboración de las probetas se utilizó como molde tuberías de PVC de 3" con una longitud de 10cm, se utilizó tapas de tuberías correspondientes para sellar un lado de estos moldes.

El acero embebido que se colocó al centro de las probetas lleva un recubrimiento de cinta teflón distribuido como se muestra en la (**Ilustración 21**).

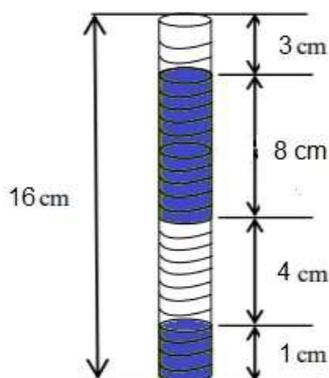


Ilustración 21. Diseño del recubrimiento de acero

Cabe resaltar que este acero se encuentra a 2cm del fondo de la probeta. De este modo se logra colocar 4 cm de superficie efectiva de acero al centro de la probeta.

MONTAJE DE MEDIA CELDA

Para la fabricación del instrumento de media celda se usó un tubo rígido de vidrio con un diámetro de 26mm y una altura de 13.5cm, en la parte inferior se empalmó un cubo de madera balsa de 3x3x3cm y por la parte superior se usó un corcho como tapón, este último sujetando en su centroide una varilla de cobre de ¼ plg.

Se tomó como electrodo de referencia sulfato de cobre sobresaturado "Cu/CuSO₄". Este compuesto se obtuvo al disolver el sulfato de cobre pentahidratado en agua destilada a 80°C. La proporción sulfato de cobre – agua que se utilizó para sobresaturar fue de 0.40.

Producto de este proceso a su vez se logra obtener cristales de sulfato de cobre, los cuales utilizamos en el fondo del tubo rígido de manera que estos estén en contacto con la varilla de cobre.

Cabe resaltar que la varilla de cobre estuvo suspendida en el fondo del tubo rígido y en contacto permanente con los cristales de sulfato de cobre, esta también recubierta con la solución de sulfato de cobre sobresaturado con más de 5cm de la varilla.

Para obtener el doble de lecturas se elaboró otro montaje con iguales características y dimensiones a la anterior descrita, con la diferencia que esta lleva en la parte inferior del tubo rígido una esponja compacta.

De esta manera el montaje de los dos equipos de media celda queda bajo los parámetros establecidos por la norma ASTM C876 (**Ver Ilustración 21**).

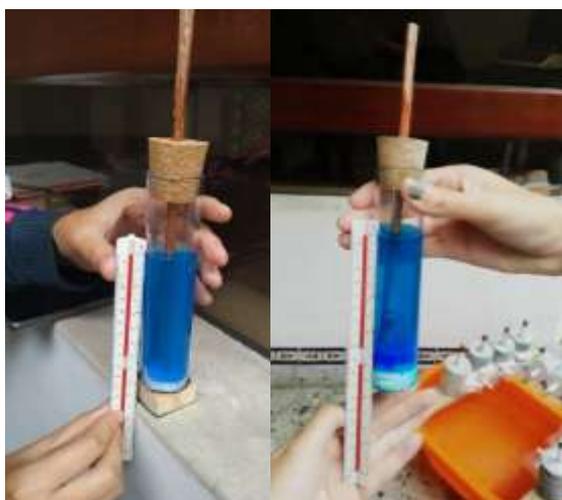


Ilustración 22-Montaje de Media Celda

PROCESO DE ENSAYO MEDIA CELDA

La superficie del concreto donde se tomaron las medidas se sitúa al centro de las probetas teniendo estas 10cm de longitud, se decidió hacer la medición con el tubo rígido conteniendo el electro de referencia(Cu/CuSO₄) en una posición diseñada para no tener interferencias con la zona de exposición. Esta zona de exposición está fabricada con una caja hecha de lámina impermeable con un ancho de 3cm que cubre gran parte de la sección transversal, ésta se llenó de una solución acuosa de cloruro de sodio (NaCl) al 3%, también se selló la parte superior de cierta caja para prevenir la evaporación y el cambio de porcentaje de la solución de NaCl. Otro punto a aclarar es que se fue llenando de solución acuosa de NaCl cada cierto tiempo debido al escurrimiento del mismo.

A continuación, se muestra los detalles de los espaciamientos para la toma de datos. **Ver ilustración 23**

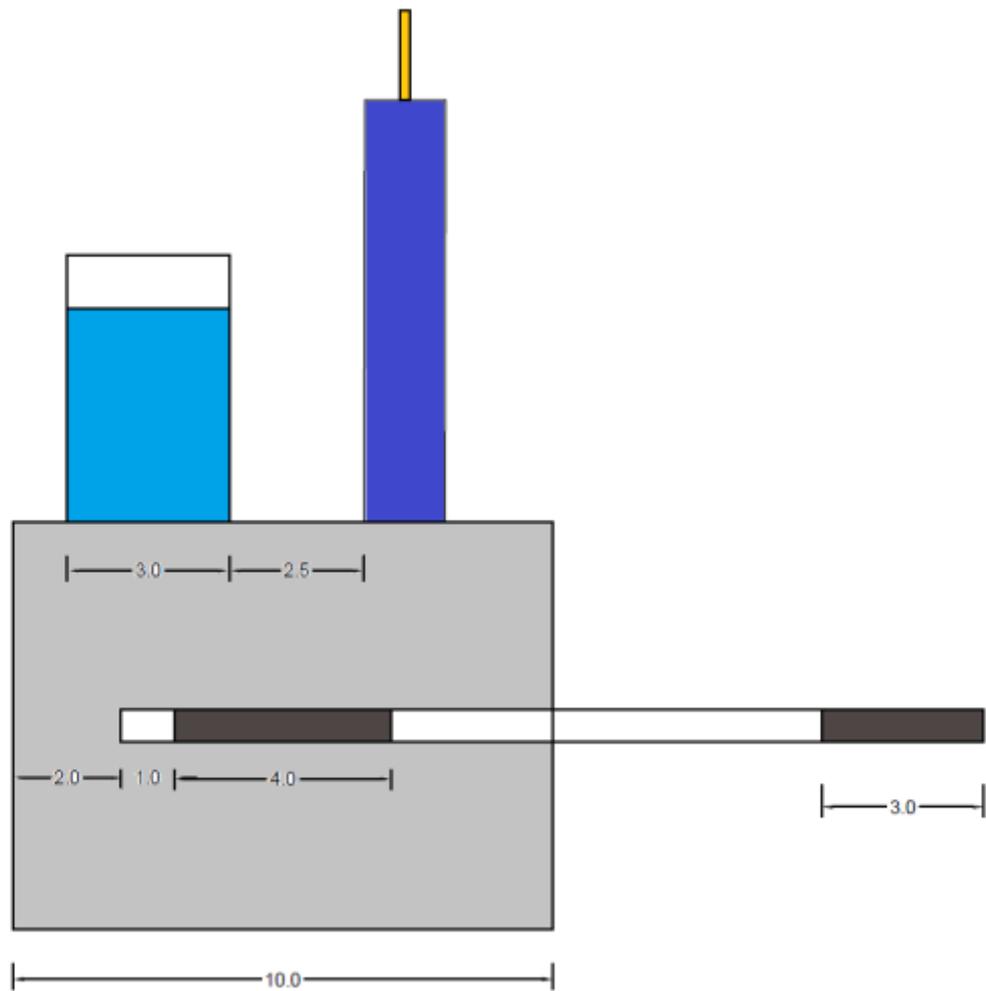


Ilustración 23 Diseño de espaciamientos para la toma de datos

Para la conexión eléctrica, hacemos una conexión directa entre el acero expuesto y el voltímetro por medio de abrazaderas, sin antes haber cepillado el acero y conectar al terminal positivo del voltímetro para asegurarnos una conexión eléctrica baja.

Por otra parte, para la conexión eléctrica de la media celda conectamos un cable conductor al extremo de éste y el otro extremo al terminal negativo del voltímetro. Aclarar que los cables conductores eléctricos que se utilizaron para las conexiones se fabricaron con cables de cobre que se soldaron a los terminales tipo cocodrilo (abrazaderas). Esto debido a que

la resistencia eléctrica para la longitud usada no perturbe el circuito eléctrico, obteniendo con esta una perturbación dentro de los límites de la norma ASTM C876.

Antes de tomar las medidas la norma establece que se debe corroborar si es necesario o no humedecer la superficie de concreto, para ello nosotros colocaremos la media celda en la posición mostrada en la **ilustración 23** siendo necesario el previo humedecimiento con agua procedimos hacer las mediciones el valor del potencial, ver **ilustración 24**

Tomamos un reporte de todos los datos con una precisión de 0.0 mV cada siete días, cabe resaltar que el humedecimiento con la solución de NaCl se dio en ciclos de siete días.



Ilustración 24-Conexión eléctrica Media Celda

ANALISIS DE DATOS

Todas las mediciones registradas por el voltímetro serán interpretadas por el diagrama de frecuencia acumulativa.

El diagrama de frecuencia acumulativa procesa los datos ploteando los valores acumulados desde el valor menos negativo al más negativo, ubicando en las ordenadas el potencial de corrosión (E_{corr}) y en las abscisas los días en los cuales se tomarán las muestras.

Tomaremos seis (6) datos durante un periodo de seis semanas, registrando un dato por semana. Éstos serán previamente promediados estadísticamente y se plotearán.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de resultados

En las siguientes ilustraciones se aprecian las gráficas de los comportamientos de potenciales de corrosión (E_{corr}) de los aceros embebidos en concreto con distintos porcentajes de reemplazo de ceniza volante por cemento, los cuales fueron sometidos a un medio agresivo acuoso de Cloruro de Sodio (NaCl) al 3.0% durante 42 días (6 semanas).

En la **ilustración 25** se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (E_{corr}) de los diferentes porcentaje de reemplazo de ceniza volante con relación a/c = 0.40, durante los primeros 14 días los potenciales son menores a -200mV que de acuerdo a la norma ASTM C876, indica que hay un 10% de probabilidad de corrosión y esto se da debido que aún no hay presencia de cloruros en el acero, pero entre los 14 y 21 días varían entre los -200mV a -350mV que de acuerdo a la norma ASTM C876 indica que se tiene incertidumbre del proceso de corrosión y se debe que hay presencia de cloruros en el interior del concreto que han comenzado a llegar al acero, por lo que el acero forma una película pasiva. Pero, la difusión de cloruros al concreto es rápida, y en intervalo de los 28 a 35 días varían entre los -350 a -485 mV que de acuerdo a la norma ASTM C876 que se tiene una probabilidad de 90% que se esté corroyendo el acero, lo cual significa que existe una probabilidad mayor al 90% de que la corrosión del acero de refuerzo esté ocurriendo en esa área en el momento de la medición, siendo perjudicial para el acero embebido.

A partir de los 35 días en adelante el potencial de corrosión será menos negativo lo cual indica una incertidumbre con respecto al potencial mostrado, esto debido a que la prueba de media celda se limita a solo exponer el inicio de la corrosión con el potencial al llegar a los -350 mV,

valores más negativos que estos no indican necesariamente niveles de corrosión mayores.

Entre los diferentes porcentajes de reemplazo de ceniza volante, el que más influyó en el potencial del acero embebido en concreto, fue al que se le incorporó 5% de Ceniza, esta mezcla tiene los potenciales menos negativos, sin embargo, los demás porcentajes de ceniza también influyen, pero sus potenciales son peores que la mezcla de control.

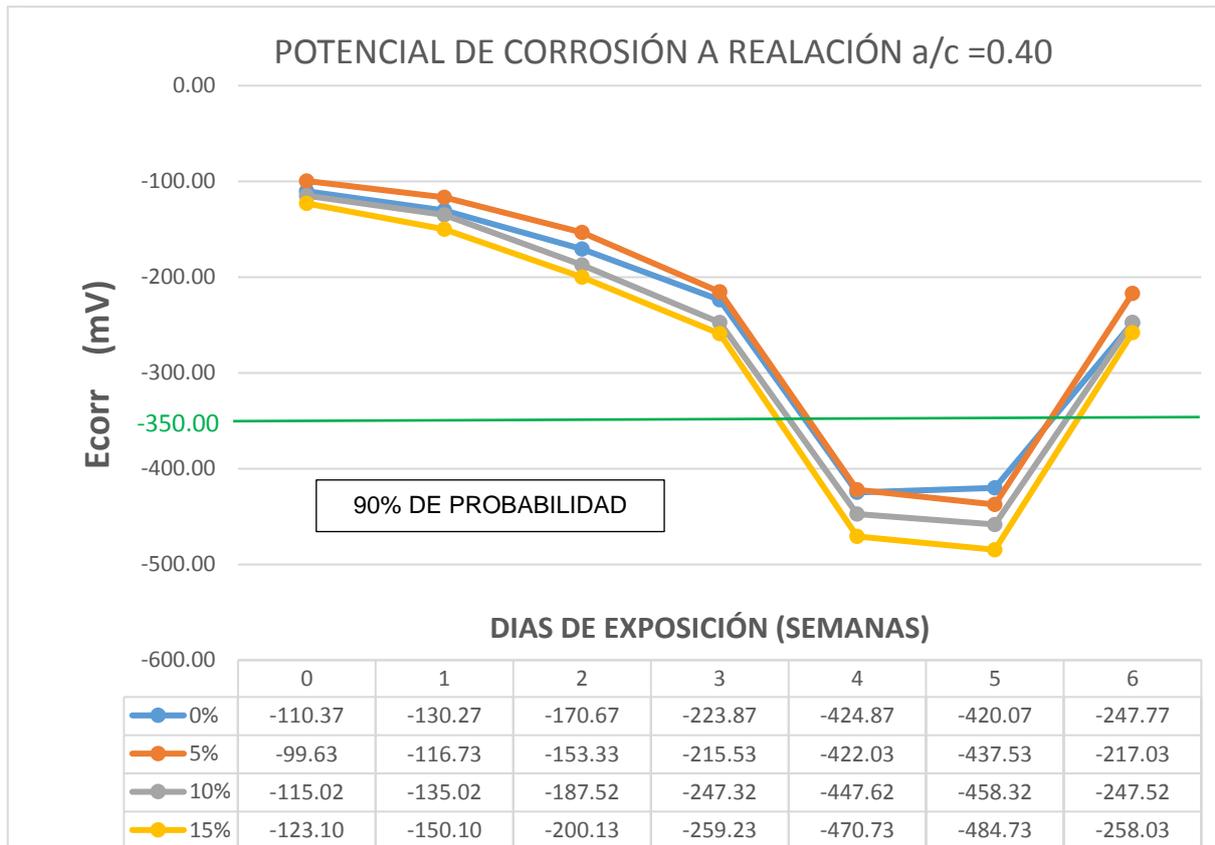


Ilustración 25 - Potencial de Corrosión Relación a/c=0.40

En la **ilustración 26** se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (E_{corr}) de los diferentes porcentaje de reemplazo de ceniza volante con relación a/c = 0.45, durante los primeros 7 días los potenciales son menores a -200mV que de acuerdo a la norma ASTM C876, indica que hay un 10% de probabilidad de corrosión y esto se da debido que aún no hay presencia de cloruros en el acero, pero entre los 7 y 21 días varían entre los -200mV a -350mV que de acuerdo a la norma ASTM C876 indica que se tiene incertidumbre del proceso de corrosión y se debe que hay presencia de cloruros en el interior del concreto que han comenzado a llegar al acero, por lo que el acero forma una película pasiva. Pero, la

difusión de cloruros al concreto es rápida, y en intervalo de los 28 a 35 días varían entre los -350 a -485 mV que de acuerdo a la norma ASTM C876 que se tiene una probabilidad de 90% que se esté corroyendo el acero, lo cual significa que existe una probabilidad mayor al 90% de que la corrosión del acero de refuerzo esté ocurriendo en esa área en el momento de la medición, siendo perjudicial para el acero embebido.

A partir de los 35 días en adelante el potencial de corrosión será menos negativo lo cual indica una incertidumbre con respecto al potencial mostrado, esto debido a que la prueba de media celda se limita a solo exponer el inicio de la corrosión con el potencial al llegar a los -350 mV, valores más negativos que estos no indican necesariamente niveles de corrosión mayores.

Entre los diferentes porcentajes de reemplazo de ceniza volante, el que más influyó en el potencial del acero embebido en concreto, fue al que se le incorporó 5% de Ceniza, esta mezcla tiene los potenciales menos negativos, sin embargo, los demás porcentajes de ceniza también influyen, pero sus potenciales son peores que la mezcla de control.

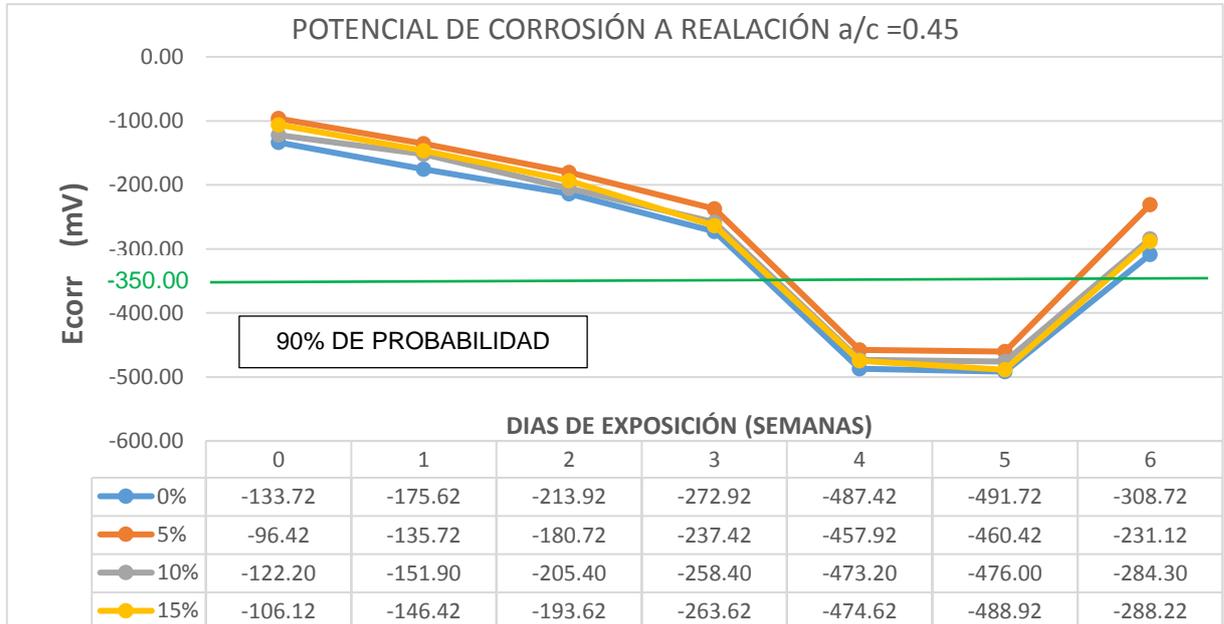


Ilustración 26-Potencial de Corrosión Relación a/c=0.45

En la **ilustración 27** se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (E_{corr}) de los diferentes porcentaje de reemplazo de ceniza volante con relación a/c = 0.50, durante los primeros 14 días los

potenciales son menores a -200mV que de acuerdo a la norma ASTM C876, indica que hay un 10% de probabilidad de corrosión y esto se da debido que aún no hay presencia de cloruros en el acero, pero entre los 14 y 21 días varían entre los -200mV a -350mV que de acuerdo a la norma ASTM C876 indica que se tiene incertidumbre del proceso de corrosión y se debe que hay presencia de cloruros en el interior del concreto que han comenzado a llegar al acero, por lo que el acero forma una película pasiva. Pero, la difusión de cloruros al concreto es rápida, y en intervalo de los 21 a 35 días varían entre los -350 a -485 mV que de acuerdo a la norma ASTM C876 que se tiene una probabilidad de 90% que se esté corroyendo el acero, lo cual significa que existe una probabilidad mayor al 90% de que la corrosión del acero de refuerzo esté ocurriendo en esa área en el momento de la medición, siendo perjudicial para el acero embebido.

A partir de los 35 días en adelante el potencial de corrosión será menos negativo lo cual indica una incertidumbre con respecto al potencial mostrado, esto debido a que la prueba de media celda se limita a solo exponer el inicio de la corrosión con el potencial al llegar a los -350 mV , valores más negativos que estos no indican necesariamente niveles de corrosión mayores.

Entre los diferentes porcentajes de reemplazo de ceniza volante, el que más influyó en el potencial del acero embebido en concreto, fue la muestra de control a la cual no se le incorporó ceniza, todos los porcentajes de ceniza influyen, pero sus potenciales son peores que la mezcla de control.

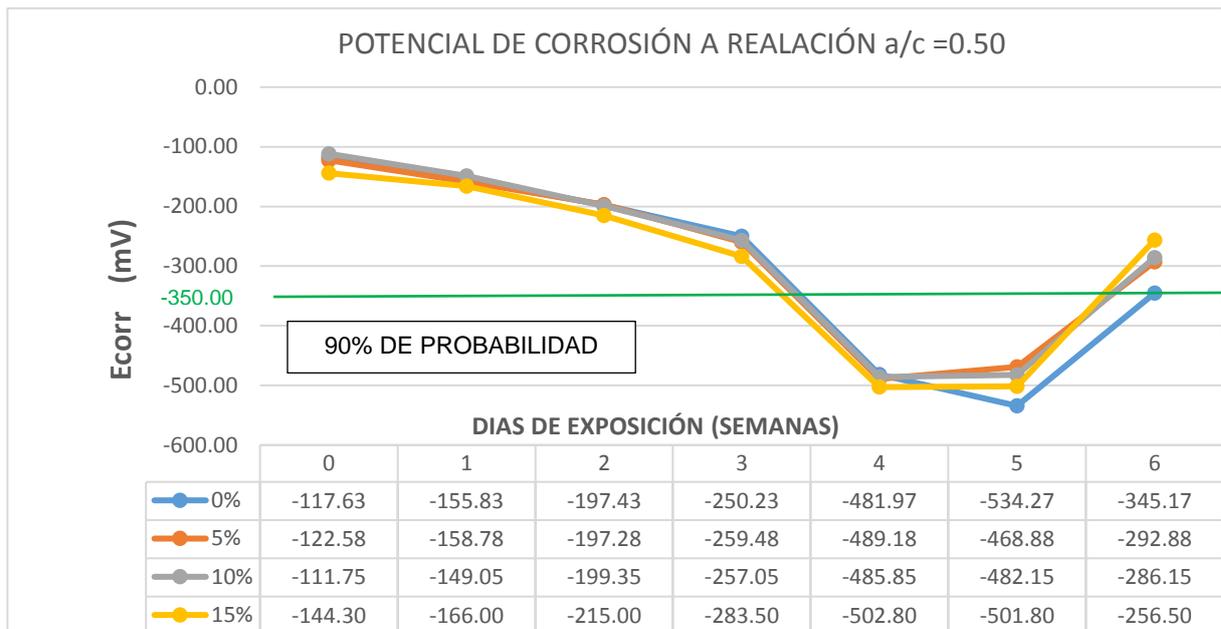


Ilustración 27-Potencial de Corrosión Relación a/c=0.50

4.2. Prueba de hipótesis

Nuestros resultados confirman nuestra hipótesis, que la incorporación con 5% de ceniza producto de la quema de caña de azúcar en adición a la mezcla de concreto tiene un mejor comportamiento con la relación más baja usada en nuestra investigación ($a/c=0.40$). Sin embargo, no es posible afirmar en nuestra investigación la magnitud del grado de corrosión en una exposición real en el tiempo de vida de una edificación de albañilería.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Conclusiones

- Se determinó que la mezcla de relación $a/c=0.40$ tiene un menor potencial de corrosión del acero cuando se le incorpora un 5% de ceniza de la quema de caña de azúcar a diferencia de las demás incorporaciones de ceniza de la quema de caña de azúcar y la mezcla de control.
- Se determinó que la mezcla de relación $a/c=0.45$ tiene una disminución del potencial de corrosión del acero cuando se le incorpora un 5% de ceniza

de la quema de caña de azúcar a diferencia de las demás incorporaciones de ceniza de la quema de caña de azúcar.

- Se determinó que la mezcla de relación $a/c=0.50$ no tiene una disminución del potencial de corrosión cuando se le incorpora de ceniza de la quema de caña de azúcar y la más favorable resultó ser la prueba de muestra.
- Se determinó que entre todas las relaciones a/c las que tienen menor proporción tienen valores más favorables ante los potenciales de corrosión medidos estando expuestos a ambientes agresivos propicios para la corrosión.

5.2. Recomendaciones

Finalizando nuestro trabajo de investigación queremos brindar las siguientes recomendaciones:

- Confeccionar probetas cúbicas simulando recubrimientos en vigas y columnas con el fin de mejorar el sistema de exposición de Cloruro de Sodio u otro agente corrosivo.
- Complementar la investigación dado que el experimento corresponde a una exposición acelerada de las condiciones que propenden a la generación de la corrosión (Solución de Cloruro de Sodio al 3%) será necesario encontrar una correlación entre el tiempo de exposición del laboratorio y el tiempo de exposición en condiciones reales.
- Complementar la investigación haciendo uso de diferentes técnicas para calcular la velocidad de corrosión del acero embebido en concreto y verificar si el inicio de la corrosión coincide con la velocidad de corrosión.

- Realizar estudios de aplicación de recubrimientos de inhibidores de corrosión, tales como recubrimientos epóxicos para barras de refuerzo o empleo de barras galvanizadas en el concreto, pinturas anticorrosivas aplicadas a las barras de refuerzo.
- Estudiar el empleo de otras adiciones para reducir el potencial de corrosión del acero embebido en concreto.
- Comprobar que los costos unitarios al utilizar una mezcla de concreto con reemplazo de ceniza al 5% se reducen a comparación de una mezcla sin ella, lo que nos indica que existirá un ahorro económico a diferentes relaciones de a/c.

5.3. Referencias

- Aguilar Villareal, J. C. (2013). Influencia del Deterioro por corrosión del acero sobre la realcalinización del concreto reforzado carbonatado. Mexico.
- Akinyemi, A. (2018). *Coal Fly Ash Beneficiation: Treatment of Acid Mine Drainage with Coal Fly Ash. Rijek, Croatia: IntechOpen.*
- Alipio, A., & Barboza, L. (2017). "Categorías de corrosividad de la ciudad de Trujillo-Perú 2015/2016, para el acero de bajo carbono y zinc electrolítico"(tesis de pregrado).Universidad Nacional de Trujillo.Trujillo,Perú.
- Aperador, W., Bautista, J., & Delgado, A. (2013). Monitoreo de la Corrosión de Aceros Embebidos en concretos obtenidos a partir de Subproductos Industriales(review).Información Tecnológica,24(4),55-66.doi:10.4067/S0718-07642013000400007.
- Argiz, C., Menéndez, E., & Sanjúan, M. (2013). Efecto de la adición de mezclas de ceniza volante y ceniza de fonde procedentes del carbón en la resistencia mecánica y porosidad de cementos Portland.Materiales de Construcción,63,49-64.doi: 10.3989/mc.2013.03911.
- ASTM C876-91. (1999). Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. USA: American Society for Testing and Materials.

- ASTM G15-93. (2007). Standard Terminology Relating to Corrosion and corrosion Testing. West Conshocken: ASTM International. www.astm.org.
- ÁVILA, J., & GENESCÁ, J. (1996). *MAS ALLÁ DE LA HERRUMBRE. México: Fondo de Cultura Económica.*
- Bermúdez, M. (2007). Corrosión de las Armaduras del Hormigón armado en medio marino: Zona de carrera de mareas y zona sumergida (Tesis de Doctorado). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Cáceda Vizconde, P. N., & Ricanqui Martínez, D. C. (2010). Efecto del Inhibidor Euco cia en el tiempo de inicio de la corrosión del acero corrugado embebido en concreto expuesto a un medio saurado con cloruro de sodio. Trujillo, La Libertad, Perú.
- Calzada, D. (2016). Evaluación de la reactividad puzolánica de las tobas vítreas calcinadas (tesis de pregrado). Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba.
- Chandía, F., & Hernández, S. (2009). Corrosión del hierro en distintos tipos de aguas: una propuesta experimental. *Ciencia Ahora*, 58.
- Colegio de Ingenieros del Perú. (s.f.). CORROSIÓN DEL ACERO EN EL CONCRETO. Recuperado de <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP25es.pdf>.
- Corrosión en el hormigón armado, durabilidad e inhibidores de corrosión. (2003).
- Cruz, E., & Rodrigo, G. (2018). Influencia de la Concentración del cloruro de Sodio sobre la Velocidad de corrosión del acero ASTM A615 (tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Del Valle Moreno, A., Pérez López, T., & Martínez Madrid, M. (2001). *El fenómeno de la Corrosión en estructuras de concreto Reforzado.* México.
- Ganoza, G., & Maceda, P. (2017). Influencia del porcentaje de ceniza volante clase c en el potencial de corrosión del acero A615 embebido en concreto fabricado con cemento portland tipo I. (tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Godoy, M., & Gándara, C. (2018). EL USO DE CENIZA VOLANTE Y ADICTIVOS EN LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO COMO SOLUCIÓN ECOLÓGICA, *Revista DELOS desarrollo Local Sostenible* n.31 (Febrero 2018). Recuperado de <https://www.eumed.net/rev/delos/31/maria-godoy2.html>

- Gómez De León Hijes, F., & Alcaraz, D. J. (2004). *Manual Básico de Corrosión para Ingenieros*. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=B6tV_j4ofmQC&pg=PA22&dq=serie+el+electroquimica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwim88un2KXhAhVts1kKHR8DDRcQ6AEIPDAE#v=onepage&q&f=false.
- Gomez Real, H. R., & Lopez Vasquez, J. H. (2013). Efecro del tipo y masa de material sacrificial, sobre la velocidad de corrosión y potencial electroquímica del par galvánico acero estructural ASTM A-36/Aluminio 3003, protegido catódicamente cuando está sumergido en una solución loquido de gobierno a 50° C. Trujillo, Perú.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Cemento, A.C. (2001, febrero). Propiedades del concreto que contiene ceniza volante ultrafina. Revista Construcción y Tecnología. Recuperado de <http://www.imcyc.com/revista/2001/febrero2001/propiedades.htm>.
- Martínez Martínez, L. A. (2015). Evaluación de la influencia del SO₂ como agente corrosivo en estructuras de concreto. Mexico.
- Mesa Landeo, R. L. (2017). Desarrollo de un electrodo modificado por electropolimerización de Azul de metileno su aplicación para la determinación de dipirona. Lima, Perú.
- MIRANDA, J. M., OTERO, E., & GONZÁLEZ, J. (2005). Reflexiones sobre los métodos electroquímicos de rehabilitación de las estructuras corroídas de hormigón armado. Revista de metalurgia, Volumen (41), 274-278. Recuperado de <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/articloe/view>.
- Molina, O., Moragues, A., & Gálvez, J. (2010). La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial de cemento portland en la durabilidad del hormigón: Propiedades físicas, difusión del ión cloruro y del dióxido de carbono. *Revista Internacional de desastres naturales, accidentes e infraestructura civil, volumen(10)*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/45315694_La_influencia_de_las_cenizas_volantes_como_sustituto_parcial_del_cemento_Portland_en_la_durabilidad.
- Paredes, J., & Prieto, J. (s.f.). Corrosión del Acero en Elementos de Hormigón Armado: Vigas y Columnas. Recuperado de

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24384/1/Paper%20Par edes-Prieto.pdf>.

- Ramos, D. (2014). PROCEDIMIENTOS DE REPARACION DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO. Perú: Scribd. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/243864528/PROCEDIMIENTOS-DE-REPARACION-DE-ESTRUCTURAS-DE-CONCRETO-ARMADO-docx>. Obtenido de PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO: <https://es.scribd.com/document/243864528/PROCEDIMIENTOS-DE-REPARACION-DE-ESTRUCTURAS-DE-CONCRETO-ARMADO-docx>
- Robles, O. (2007). "Influencia de la densidad de corriente en el potencial de protección y la velocidad de corrosión del acero ASTM A-36 protegido catódicamente con corriente continua sumergido en agua subterránea". (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Rodríguez, L. M., Llongueras, J. G., Uruchurtu Chavarin, J., & Hernández, L. S. (1999). *Corrosividad Atmosférica*. México: Plaza y Valdes.
- Salas, J. (2003). Comportamiento del hormigon con inhibidores de corrosión en el amasado (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- SORETZ, S. (2017). La protección contra la corrosión en los hormigones armado y pretensado. *Materiales de Construcción*, volumen 17(126), 30-51. doi:10.3989/mc.
- Sotelo, J. (2004). Reacción Puzolánica. Perú: Scribd. Recuperado de La formación de productos de hidratación secundarios (principalmente silicatos de calcio hidratados) alrededor de las partículas de puzolana tiende a rellenar las grandes cavidades capilares con un material mic.
- Ulloa Mayorga, V. A. (2012). Durabilidad de hormigones armados, con árido reciclado: una evaluación de la corrosión en un ambiente marino. Valencia, España.
- Universidad Nacional Tecnológica. (s.f.). Protección catódica para acero reforzado en estructuras de concreto. Recuperado de <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/protecciondelhormigon.pdf>.
- Valdez, P. (2002). DESARROLLO DE UN METODO PARA EVALUAR MATERIALES NATURALES CON POTENCIAL PUZOLÁNICO PARA SU USO EN CEMENTO (Tesis doctoral). Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Ciudad Universitaria, México.

- Vera, J., & Zambrano, W. (2013). USOS DE LAS CENIZAS ACTIVADAS DEL CARBÓN PROVENIENTE DE LOS CALDEROS INDUSTRIALES, COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO, PARA FABRICAR MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Zamora, M. A., Mendoza, D. N., Zamora, H. H., & Calderón, F. A. (2009). Monitoring of corrosion Potential and Mechanical Resistance of Contaminated Concrete Exposed to a Chlorinated Environment (review). Portugaliae Electrochimica Acta, 27(3), 237-246. doi:10.4152/pea.200903237.

5.4. Anexos

ANEXO 01 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

A) DETERMINACIÓN DE AGREGADOS

Contenido de Humedad de los Agregados

Agregado Fino			
Ensayo	P. Muestra Húmeda (gr)	P. Muestra Seca (gr)	%Humedad
1	180.1	175.50	2.62
2	180.0	176.00	2.27
3	180.2	175.00	2.97
% Humedad Prom.			2.62

Agregado Grueso			
Ensayo	P. Muestra Húmeda (gr)	P. Muestra Seca (gr)	%Humedad
1	890.2	885.70	0.51
2	891.3	886.80	0.51
3	889.0	884.50	0.51
% Humedad Prom.			0.51

Pesos Unitarios

Agregado Fino					
Ensayo	Peso suelto (g.)	Peso compactado (g.)	Volumen del recipiente (cm³)	P.U. Suelto (kg/m³)	P.U. Compactado (kg/m³)
1	4359.10	4816.80	2751.30	1584.38	1750.74
2	4360.20	4819.00	2751.30	1584.78	1751.54
3	4358.00	4814.60	2751.30	1583.98	1749.94
Promedio				1584.38	1750.74

Agregado Grueso					
Ensayo	Peso suelto (g.)	Peso compactado (g.)	Volumen del recipiente (cm³)	P.U. Suelto (kg/m³)	P.U. Compactado (kg/m³)
1	13904.50	15186.40	9378.70	1482.56	1619.24
2	13903.20	15183.80	9378.70	1482.42	1618.97
3	13905.80	15189.00	9378.70	1482.70	1619.52
Promedio				1482.56	1619.24

Porcentaje de Absorción de los Agregados

peso específico del agregado FINO									
N°	Psss(g)	Peso seco(g)	Volumen picnómetro (ml)	Peso del picnómetro (g)	Peso picnómetro+fino +agua (g)	Peso específico (g/cm³)	Peso Especifico sss (g/cm³)	Peso Especifico Aparente (g/cm³)	Absorción (%)
	V	A	B	C	D	γ	γ _{sss}	γ aparente	Abs %
1	500	493.80	707.1	375.1	1387.90	2.54	2.57	2.63	1.26
2	500	494.30	707.2	375.0	1388.40	2.55	2.58	2.63	1.15
3	500	493.30	707.1	375.1	1387.40	2.53	2.57	2.62	1.36
PROMEDIO					1387.90	2.54	2.57	2.63	1.26

peso específico del agregado GRUESO						
N°	Peso seco(g)	Psss.(g)	Peso sumergido (g.)	Peso específico (g/cm³)	Peso específico Aparente (g/cm³)	Absorción (%)
	A	B	C	γ	γ _{sss}	Abs %
1	2794	2826.8	1720	2.52	2.55	1.17
2	2797	2827.9	1721	2.53	2.55	1.10
3	2791	2825.7	1718	2.52	2.55	1.24
PROMEDIO				2.52	2.55	1.17

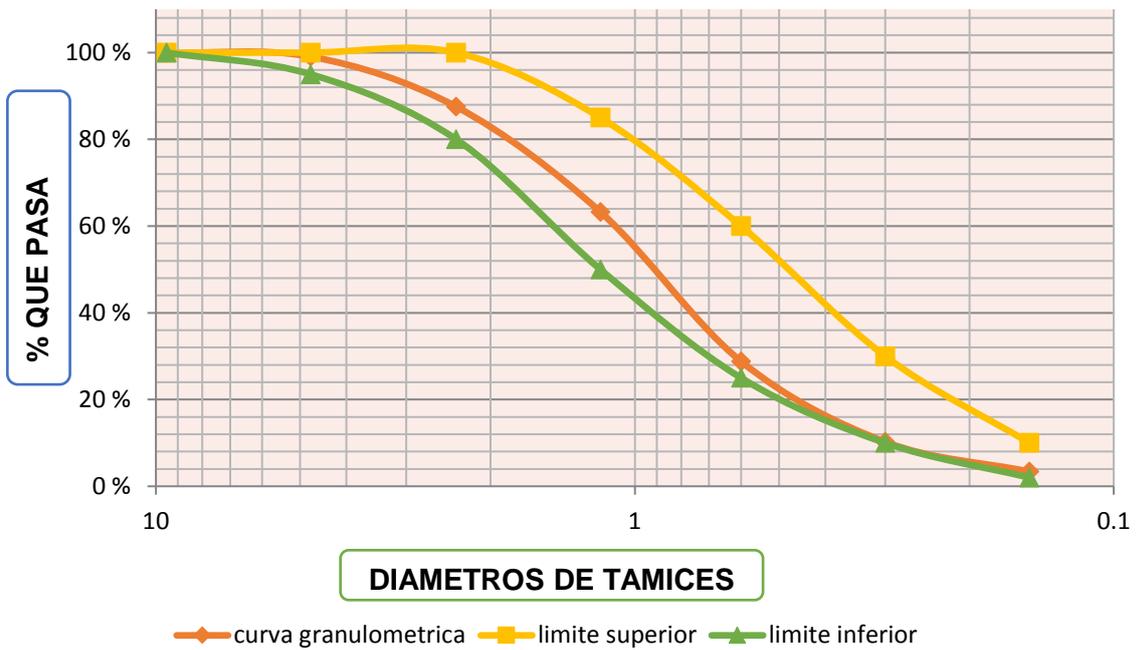
ANALISIS GRANULOMÉTRICO (NTP 400.012)
AGREGADO FINO

AGREGADO FINO							
TAMIZ #	ABERT. (mm)	PESO RETENIDO(g)	% RETENIDO	%RET. ACUMULADO	% QUE PASA	Límite Inferior	Límite Superior
3/8"	9.5	0.00	0	0	100	100	100
4	4.75	4.60	0.9	0.9	99.1	95	100
8	2.36	57.40	11.5	12.5	87.5	80	100
16	1.18	120.60	24.3	36.7	63.3	50	85
30	0.6	171.40	34.5	71.2	28.8	25	60
50	0.3	92.30	18.6	89.8	10.2	10	30
100	0.149	34.10	6.9	96.6	3.4	2	10
200	0.075	11.30	2.3	98.9	1.1		
FONDO	-	5.50	1.1	100.0	0.0		
SUMATORIA	-	497.20	100				

TM	3/8"
TMN	#4
MF	3.08

TAMIZ #	ABERT. (mm)	% QUE PASA	Límite Inferior	Límite Superior
3/8"	9.5	100	100	100
4	4.75	99.07	95	100
8	2.36	87.53	80	100
16	1.18	63.27	50	85
30	0.6	28.80	25	60
50	0.3	10.2	10	30
100	0.15	3.38	2	10

CURVA GRANULOMETRICA DE A. FINO

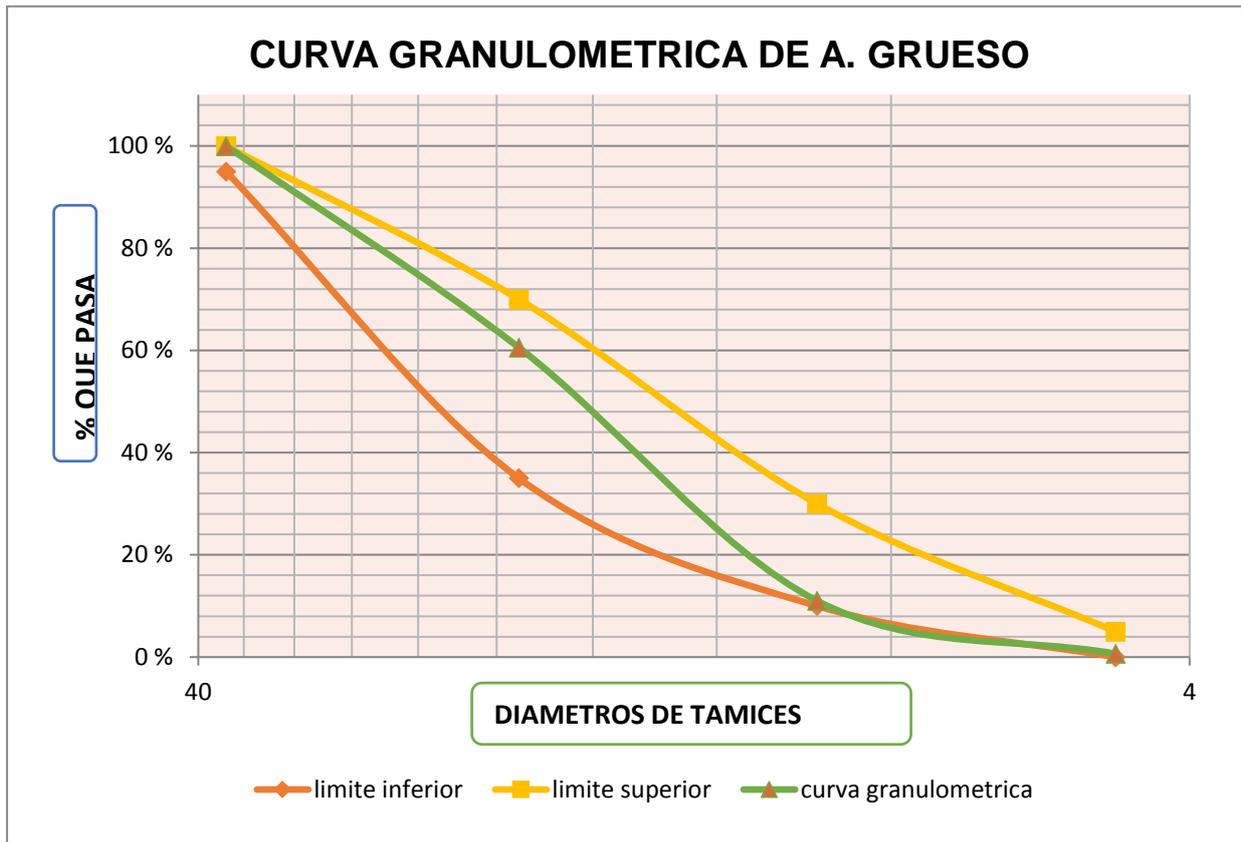


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (NTP 400.012) AGREGADO GRUESO

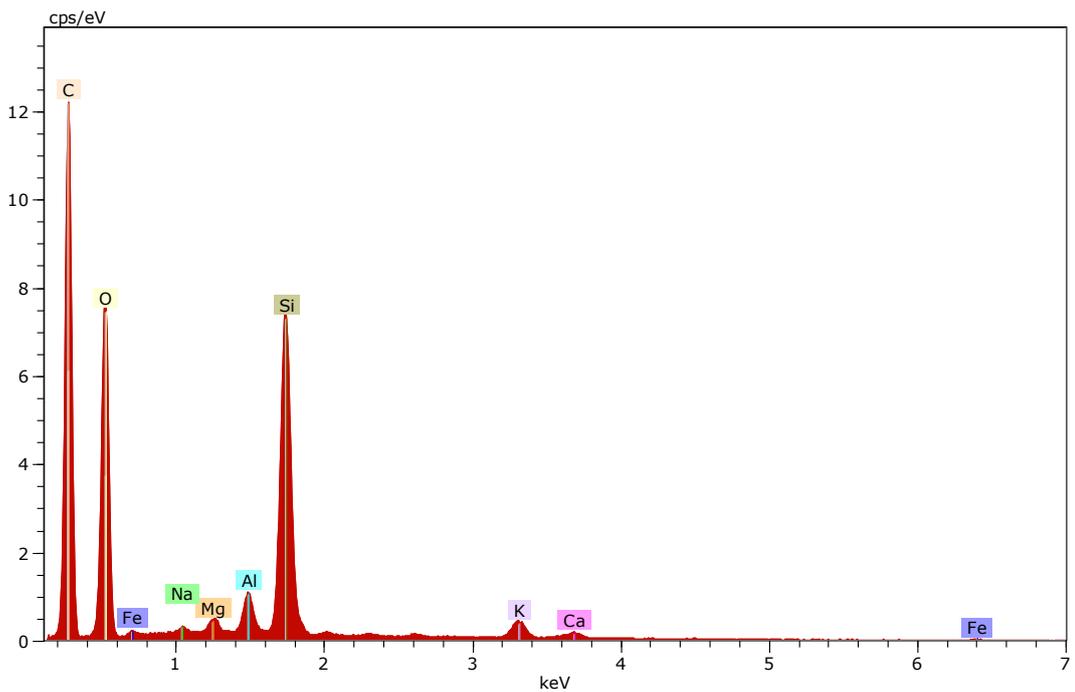
AGREGADO GRUESO							
TAMIZ #	ABERT. (mm)	PESO RETENIDO(g)	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	Límite Inferior	Límite Superior
1 1/2"	37.5	0	0.0	0	100.0	95	100
1"	25	301.8	10.7	10.7	89.3		
3/4"	19	807.9	28.7	39.4	60.6	35	70
1/2"	12.5	1044.7	37.1	76.5	23.5		
3/8"	9.5	351.2	12.5	89.0	11.0	10	30
1/4"	6.3	252.7	9.0	98.0	2.0		
4	4.75	37.8	1.3	99.3	0.7		
FONDO	-	18.4	0.7	100.0	0.0	0	5
SUMATORIA	-	2814.5	100.0				

TM	1 1/2"
TMN	1"
MF	6.3

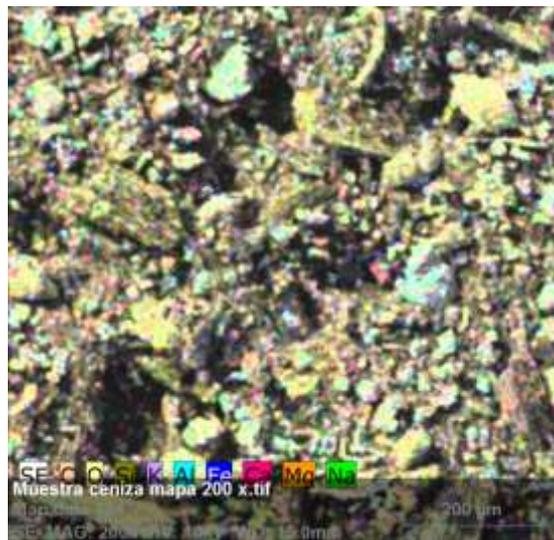
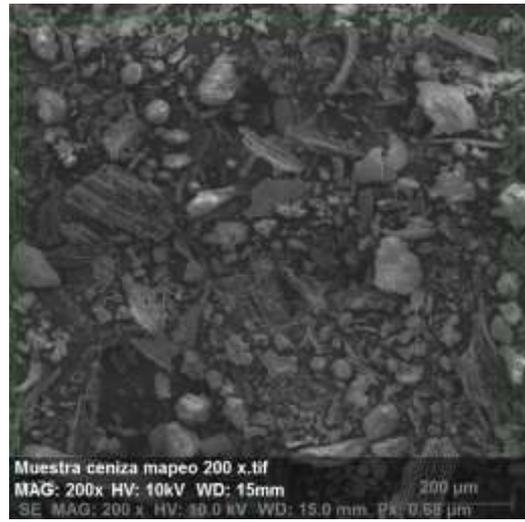
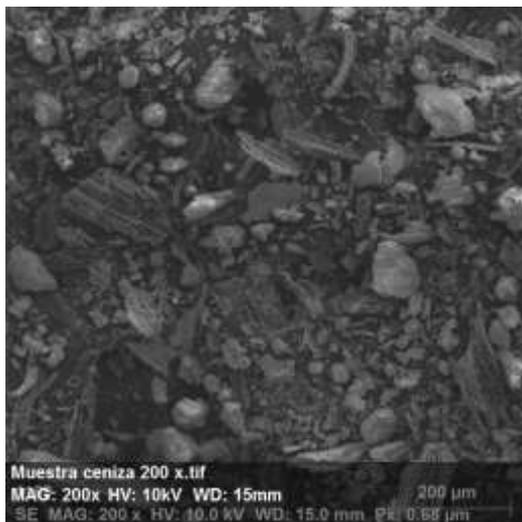
TAMIZ #	ABERT. (mm)	% QUE PASA	Limite Inferior	Límite Superior
1 1/2"	37.5	100.00	95	100
3/4"	19	60.57	35	70
3/8"	9.5	11.00	10	30
4	4.75	0.65	0	5



B) ANALISIS DE PARTICULAS ELEMENTALES DE LA CENIZA PRODUCTO DE LA QUEMA DE CAÑA DE AZÚCAR.



Elemento	Unn. (wt. %)	C.nom. (wt. %)	C.Atom. (at. %)	C.Error (1sigma)
Carbón	54.13	45.28	57.70	6.13
Oxígeno	31.71	31.71	30.33	4.37
Sílice	20.52	17.16	9.35	0.86
Potasio	2.31	1.93	0.76	0.11
Aluminio	1.77	1.48	0.84	0.11
Fierro	1.08	0.91	0.25	0.11
Calcio	0.95	0.79	0.30	0.06
Magnesio	0.62	0.52	0.32	0.06
Sodio	0.25	0.21	0.14	0.04



C) FICHA TÉCNICA DE CEMENTO PORTLAND TIPO I-PACASMAYO

 Pacasmayo	<h3 style="margin: 0;">ESPECIFICACIÓN TÉCNICA CEMENTO TIPO I</h3>	P-CC-EST-08 Versión 19 / 03 de setiembre de 2018 Página 1/1
Control de Calidad		

Descripción: El Cemento Pórtland TIPO I es un producto que se obtiene mediante la pulverización conjunta de clinker, yeso y en ocasiones caliza en pequeñas proporciones. El clinker es un mineral artificial y esta compuesto esencialmente de silicatos de calcio producidos a partir de materiales calcáreos y correctores de sílice, alúmina y hierro en un proceso efectuado a temperaturas cercanas a los 1450°C. Este tipo de cemento sigue los requisitos de la Norma Técnica Peruana 334.009 y de la ASTM C 150. Es un cemento de uso general, para proyectos que no requieran propiedades especiales.

Ensayos	Requisitos			Normas de Referencia	Normas de Ensayo
REQUERIMIENTOS QUÍMICOS					
MgO	Máximo	6.0	%	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C114 NTP 334.086
SO₃	Máximo	3.0	%	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C114 NTP 334.086
Pérdida por Ignición	Máximo	3.5	%	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C114 NTP 334.086
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C114 NTP 334.086
REQUERIMIENTOS FÍSICOS					
Contenido de Aire	Máximo	12	%	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C185 NTP 334.048
Finura, Superficie Específica	Mínimo	2,600	cm ² /g	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 204 NTP 334.002
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 151 NTP 334.004
Resistencia a la Compresión					
a) Resistencia compresión a 1 día (*)	Mínimo	12.0 (1,740)	MPa (psi)	n / a	ASTM C 109 NTP 334.051
b) Resistencia compresión a 3 días	Mínimo	12.0 (1,740)	MPa (psi)	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 109 NTP 334.051
c) Resistencia compresión a 7 días	Mínimo	19.0 (2,760)	MPa (psi)	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 109 NTP 334.051
d) Resistencia compresión a 28 días	Mínimo	28.0 (4,060)	MPa (psi)	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 109 NTP 334.051
Tiempo de Fraguado Vicat					
a) Fraguado Inicial	Mínimo	45	minutos	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 191 NTP 334.006
b) Fraguado Final	Máximo	375	minutos	ASTM C150 NTP 334.009	ASTM C 191 NTP 334.006
REQUERIMIENTOS DE PESOS NETOS					
Peso unitario (Neto)	Mínimo	41.65	kg	ASTM C 150 NTP 334.009	n / a
Peso promedio por lotes ≥ 50 bolsas (Neto)	Mínimo	42.50	kg	ASTM C 150 NTP 334.009	n / a
Generado por:		Revisado por:		Aprobado por:	
Ing. Victor Milla Analista de Aseguramiento de la Calidad		Ing. Gabriel Mansilla Superintendente de Aseguramiento de la Calidad e Investigación y Desarrollo		Ing. Hugo Villanueva Castillo Gerente Central de Operaciones	

(*) Requisito interno impuesto por la compañía.

D) FICHA TÉCNICA DEL ACERO A615-ACEROS AREQUIPA

DENOMINACIÓN:

Fierro Corrugado ASTM A615-Grado 60.

DESCRIPCIÓN:

Barras de acero rectas de sección circular, con resaltes Hi-bond de alta adherencia con el concreto.

USOS:

Se utiliza en la construcción de edificaciones de concreto armado de todo tipo: en viviendas, edificios, puentes, obras industriales, etc.

NORMAS TÉCNICAS:

Composición Química, Propiedades Mecánicas y Tolerancias dimensionales:

- ASTM A615 Grado 60.
- Norma Técnica Peruana NTP 341.031 Grado 60.
- Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.

PRESENTACIÓN:

Se produce en barras de 9 m y 12 m de longitud en los siguientes diámetros: 6 mm, 8 mm, 3/8", 12 mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1" y 1 3/8". Previo acuerdo, se puede producir en otros diámetros y longitudes requeridos por los clientes.

Se suministra en paquetes de 2 toneladas y en varillas. Las barras de 6 mm también se comercializan en rollos de 550 Kg.

DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:

DIÁMETRO DE BARRA		SECCIÓN (mm ²)	PERÍMETRO (mm)	PESO MÉTRICO NOMINAL (kg/m)
Pulg.	mm			
-	6	28	18.8	0.220
-	8	50	25.1	0.395
3/8	-	71	29.9	0.560
-	12	113	37.7	0.888
1/2	-	129	39.9	0.994
5/8	-	199	49.9	1.552
3/4	-	284	59.8	2.235
1	-	510	79.8	3.973
1 3/8	-	1,006	112.5	7.907

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia (f_y) = 4,280 kg/cm² mínimo.
 Resistencia a la Tracción (R) = 6,320 kg/cm² mínimo.
 Relación R/ f_y \geq 1.25

Alargamiento en 200 mm:

Diámetros:

6 mm, 8 mm, 3/8", 12 mm, 1/2", 5/8" y 3/4" = 9% mínimo
 1" = 8% mínimo
 1 3/8" = 7% mínimo

Doblado a 180° = Bueno en todos los diámetros.

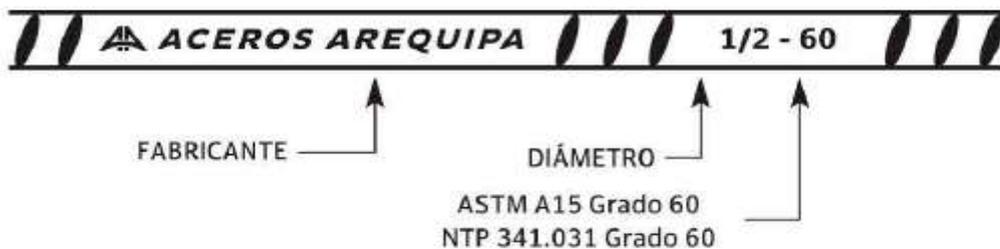
Los diámetros de doblado especificados por las Normas Técnicas para la prueba de doblado son:

DIÁMETRO BARRA (d)	6 mm	8 mm	3/8"	12 mm	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 3/8"
DIÁMETRO DOBLADO	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	5.0d	5.0d	7.0d
mm	21.0	28.0	33.3	42.0	44.5	55.6	95.3	127.0	250.7

"d" .- se considera el diámetro nominal de la barra establecido por la norma ASTM A615

IDENTIFICACIÓN:

Los fierros son identificados por marcas de laminación en alto relieve que indican el fabricante, el diámetro y el grado del acero.



ANEXO 02

A.) DISEÑO DE MEZCLAS PARA RELACION A/C= 0.40

Características de los Agregados		ARENA	PIEDRA
Módulo de Fineza		3.08	6.28
Tamaño Max. Nominal		#4	1"
%Contenido de Humedad		2.62	0.51
%Absorción		1.26	1.17
Peso Específico (Kg/m3)		2541.45	2523.64
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)		1584.38	1482.56
Peso Unitario Compactado (Kg/m3)		1750.74	1619.24
Características de Cemento			
Tipo		Cemento Portland tipo I	
Peso Específico (Kg/m3)		3.1	
Requerimiento del Concreto			
Relación A/C		0.40	
Slump		3" a 4"	

Diseño de Mezclas para Concreto		
Cemento		
Nombre:	Pacasmayo	
Tipo:	TIPO I	
F'c:	210	kg/cm2
Pe=	3.1	g/cm3
slump=	4	"
Pe Agua=	1000	kg/m3

Cálculo de F'cr (resistencia promedio requerida)		
F'cr=	294	kg/cm2

Contenido de Aire	
aire=	1.5 %

Contenido de agua	
a=	193 Lt/m3

relación agua/cemento

$$x = 0.4 = a/c$$

contenido de cemento

$$\frac{\text{contenido de agua}}{\text{cemento}} = a/c$$

$$\frac{193}{c} = 0.4$$

$$1 \text{ bls} = 42.5 \text{ kg}$$

$$c = 482.50$$

$$11.353 \text{ bls}$$

Peso de agregado Grueso

$$\text{peso a.g.} = \frac{b}{b_0} * \text{peso u.s.c}$$

$$\frac{b}{b_0} = 0.64 \quad \text{valor interpolado para 3.08}$$

$$\text{peso a.g.} = 1039.55 \text{ kg}$$

volumen absoluto

cemento: 0.156 m³

agua: 0.193 m³

aire: 0.015 m³

volumen A.G: 0.412 m³

sumatoria 0.776 m³

Vol.A.F: 0.224 m³

peso de agregado fino = 570.3705666 kg

Presentación de diseño en estado seco

cemento:	482.50	kg
agua:	193.00	litros
A.G:	1039.55	kg
A.F:	570.37	kg

Corrección por humedad de los agregados

$$\text{Peso seco} \times \left(\frac{w\%}{100} + 1 \right)$$

Agregado Fino =	585.32	kg
Agregado Grueso =	1044.84	kg

Aporte de agua a la mezcla

$$\frac{(w\% - \%abs) \times \text{Agregado seco}}{100}$$

Agregado Fino =	7.79	Lt
Agregado Grueso =	-6.92	Lt
sumatoria =	0.87	Lt

Agua Efectiva

Agua = 192.13 Lt

Proporciones para Relación a/c=0.40

MATERIALES POR PROBETA	
Cemento (kg)	0.214
A. Fino (kg)	0.259
A. Grueso (kg)	0.463
Agua (kg)	0.085

MEDIA CELDA	CENIZA
	0%
N° Probetas	3
CEMENTO (kg)	0.214
CENIZA (Kg)	0.000
A. FINO (kg)	0.259
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL POR MEZCLA

desperdicio 10%

CEMENTO (kg)	0.641	0.706
CENIZA (Kg)	0.000	0.000
A. FINO (kg)	0.778	0.856
A. GRUEGO (kg)	1.389	1.528
AGUA (kg)	0.255	0.281

MEDIA CELDA	CENIZA
	5%
N° Probetas	3
CEMENTO (kg)	0.214
CENIZA (Kg)	0.011
A. FINO (kg)	0.259
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL POR MEZCLA

desperdicio 10%

CEMENTO (kg)	0.641	0.706
CENIZA (Kg)	0.032	0.035
A. FINO (kg)	0.778	0.856
A. GRUEGO (kg)	1.389	1.528
AGUA (kg)	0.255	0.281

MEDIA CELDA	CENIZA
	10%
N° Probetas	3
CEMENTO (kg)	0.214
CENIZA (Kg)	0.021
A. FINO (kg)	0.259
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL POR MEZCLA

desperdicio
10%

CEMENTO (kg)	0.641	0.706
CENIZA (Kg)	0.064	0.071
A. FINO (kg)	0.778	0.856
A. GRUEGO (kg)	1.389	1.528
AGUA (kg)	0.255	0.281

MEDIA CELDA	CENIZA
	15%
N° Probetas	3
CEMENTO (kg)	0.214
CENIZA (Kg)	0.032
A. FINO (kg)	0.259
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL POR MEZCLA

desperdicio
10%

CEMENTO (kg)	0.641	0.706
CENIZA (Kg)	0.096	0.106
A. FINO (kg)	0.778	0.856
A. GRUEGO (kg)	1.389	1.528
AGUA (kg)	0.255	0.281

B.) DISEÑO DE MEZCLAS PARA RELACIÓN A/C=0.45

Características de los Agregados		
	ARENA	PIEDRA
Módulo de Fineza	3.08	6.28
Tamaño Max. Nominal	#4	1"
%Contenido de Humedad	2.62	0.51
%Absorción	1.26	1.17
Peso Específico (Kg/m ³)	2541.45	2523.64
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1584.38	1482.56
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1750.74	1619.24
Características de Cemento		
Tipo	Cemento Portland tipo I	
Peso Específico (Kg/m ³)	3.1	

Requerimiento del Concreto	
Relación A/C	0.45
Slump	3" a 4"

Diseño de mezclas para concreto		
Cemento		
Nombre:	Pacasmayo	
Tipo:	TIPO I	
F'c:	210	kg/cm ²
Pe=	3.1	g/cm ³
slump=	4	"
Pe Agua=	1000	kg/m ³

Cálculo de F'cr (resistencia promedio requerida)	
F'cr= 294	kg/cm ²

Contenido de Aire	
aire=	1.5 %

Contenido de agua	
a=	193 Lt/m ³

relación agua/cemento

$$x = 0.45 = a/c$$

contenido de cemento

$$\frac{\text{contenido de agua}}{\text{cemento}} = a/c$$

$$\frac{193}{c} = 0.45$$

$$1 \text{ bls} = 42.5 \text{ kg}$$

$$c = 428.89$$

$$10.092 \text{ bls}$$

Peso de agregado Grueso

$$\text{peso a.g.} = \frac{b}{b_0} * \text{peso u.s.c}$$

$$\frac{b}{b_0} = 0.64 \quad \text{valor interpolado para 3.08}$$

$$\text{peso a.g.} = 1039.55 \text{ kg}$$

volumen absoluto

cemento: 0.138 m³

agua: 0.193 m³

aire: 0.015 m³

volumen A.G: 0.412 m³

sumatoria 0.758 m³

Vol.A.F: 0.242 m³

peso de agregado

fino= 614.322104 kg

Presentación de diseño en estado seco

cemento: 428.89 kg

agua: 193.00 litros

A.G: 1039.55 kg

A.F: 614.32 kg

Correccion por humedad de los agregados

$$\text{Peso seco} \times \left(\frac{w\%}{100} + 1 \right)$$

Agregado

Fino = 630.43 kg

Agregado

Grueso= 1044.84 kg

Aporte de agua a la mezcla

$$\frac{(w\% - \%abs) \times \text{Agregado seco}}{100}$$

Agregado

Fino= 8.39 Lt

Agregado -

Grueso= 6.92 Lt

sumatoria= 1.47 Lt

Agua Efectiva
Agua= 191.53 Lt

Proporciones para Relación a/c=0.45

MATEARIALES POR PROBETA	
CEMENTO (kg)	0.190
A. FINO (kg)	0.279
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

MEDIA CELDA	CENIZA
	0%
N° Probetas	3
CEMENTO (kg)	0.190
CENIZA (Kg)	0.000
A. FINO (kg)	0.279
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL POR MEZCLA

desperdicio 10%

CEMENTO (kg)	0.570	0.627
CENIZA (Kg)	0.000	0.000
A. FINO (kg)	0.838	0.922
A. GRUEGO (kg)	1.389	1.528
AGUA (kg)	0.255	0.280

MEDIA CELDA	CENIZA
	5%
N° Probetas	3
CEMENTO (kg)	0.190
CENIZA (Kg)	0.010
A. FINO (kg)	0.279
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL POR MEZCLA

desperdicio 10%

CEMENTO (kg)	0.570	0.627
CENIZA (Kg)	0.029	0.031
A. FINO (kg)	0.838	0.922
A. GRUEGO (kg)	1.389	1.528
AGUA (kg)	0.255	0.280

MEDIA CELDA	CENIZA
	10%
N° Probetas	3
CEMENTO (kg)	0.190
CENIZA (Kg)	0.019
A. FINO (kg)	0.279
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL POR MEZCLA

desperdicio 10%

CEMENTO (kg)	0.570	0.627
CENIZA (Kg)	0.057	0.063
A. FINO (kg)	0.838	0.922
A. GRUEGO (kg)	1.389	1.528
AGUA (kg)	0.255	0.280

MEDIA CELDA	CENIZA
	15%
N° Probetas	3
CEMENTO (kg)	0.190
CENIZA (Kg)	0.029
A. FINO (kg)	0.279
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL POR MEZCLA

desperdicio 10%

CEMENTO (kg)	0.570	0.627
CENIZA (Kg)	0.086	0.094
A. FINO (kg)	0.838	0.922
A. GRUEGO (kg)	1.389	1.528
AGUA (kg)	0.255	0.280

C.) DISEÑO DE MEZCLAS PARA RELACIÓN A/C=0.50

Características de los Agregados		
	ARENA	PIEDRA
Módulo de Fineza	3.08	6.28
Tamaño Max. Nominal	#4	1"
%Contenido de Humedad	2.62	0.51
%Absorción	1.26	1.17
Peso Específico (Kg/m ³)	2541.45	2523.64
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1584.38	1482.56
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1750.74	1619.24

Características de Cemento	
Tipo	Cemento Portland tipo I
Peso Específico (Kg/m ³)	3.1

Requerimiento del Concreto	
Relación A/C	0.50
Slump	3" a 4"

Diseño de mezclas para concreto

Cemento		
Nombre:	Pacasmayo	
Tipo:	TIPO I	
F'c:	210	kg/cm ²
Pe=	3.1	g/cm ³
slump=	4	"
Pe Agua=	1000	kg/m ³

Cálculo de F'cr (resistencia promedio requerida)	
F'cr= 294	kg/cm ²

Contenido de Aire	
aire=	1.5 %

Contenido de agua	
a=	193 Lt/m ³

relación agua/cemento

$$x = 0.50 = a/c$$

contenido de cemento

$$\frac{\text{contenido de agua}}{\text{cemento}} = a/c$$

$$\frac{193}{c} = 0.50$$

1bls= 42.5 kg

$$c = 386.00$$

9.082 bls

Peso de agregado Grueso

$$\text{peso a.g.} = \frac{b}{b_0} * \text{peso u.s.c}$$

$$\frac{b}{b_0} = 0.64 \quad \text{valor interpolado para 3.08}$$

$$\text{peso a.g.} = 1039.55 \text{ kg}$$

volumen absoluto

cemento: 0.125 m³

agua: 0.193 m³

aire: 0.015 m³

volumen A.G: 0.412 m³

sumatoria 0.744 m³

Vol.A.F: 0.256 m³

peso de agregado

fino= 649.4833339 kg

Presentación de diseño en estado seco

cemento: 336.00 kg

agua: 193.00 litros

A.G: 1039.55 kg

A.F: 649.48 kg

Correccion por humedad de los agregados

$$\text{Peso seco} \times \left(\frac{w\%}{100} + 1 \right)$$

Agregado

Fino = 666.51 kg

Agregado

Grueso= 1044.84 kg

Aporte de agua a la mezcla

$$\frac{(w\% - \%abs) \times \text{Agregado seco}}{100}$$

Agregado

Fino= 8.87 Lt

Agregado

Grueso= -6.92 Lt

sumatoria= 1.95 Lt

Agua Efectiva
Agua= 191.05 Lt

Proporciones para Relación a/c=0.45

MATEARIALES POR PROBETA	
CEMENTO (kg)	0.171
A. FINO (kg)	0.295
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

MEDIA CELDA	CENIZA
	0%
N° Probetas	3
CEMENTO (kg)	0.171
CENIZA (Kg)	0.000
A. FINO (kg)	0.295
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL POR MEZCLA

desperdicio 10%

CEMENTO (kg)	0.513	0.564
CENIZA (Kg)	0.000	0.000
A. FINO (kg)	0.886	0.975
A. GRUEGO (kg)	1.389	1.528
AGUA (kg)	0.254	0.279

MEDIA CELDA	CENIZA
	5%
N° Probetas	3
CEMENTO (kg)	0.171
CENIZA (Kg)	0.009
A. FINO (kg)	0.295
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL POR MEZCLA

desperdicio 10%

CEMENTO (kg)	0.513	0.564
CENIZA (Kg)	0.026	0.028
A. FINO (kg)	0.886	0.975
A. GRUEGO (kg)	1.389	1.528
AGUA (kg)	0.254	0.279

MEDIA CELDA	CENIZA
	10%
N° Probetas	3
CEMENTO (kg)	0.171
CENIZA (Kg)	0.017
A. FINO (kg)	0.295
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL POR MEZCLA

desperdicio 10%

CEMENTO (kg)	0.513	0.564
CENIZA (Kg)	0.051	0.056
A. FINO (kg)	0.886	0.975
A. GRUEGO (kg)	1.389	1.528
AGUA (kg)	0.254	0.279

MEDIA CELDA	CENIZA
	15%
N° Probetas	3
CEMENTO (kg)	0.171
CENIZA (Kg)	0.026
A. FINO (kg)	0.295
A. GRUEGO (kg)	0.463
AGUA (kg)	0.085

CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL POR MEZCLA

desperdicio 10%

CEMENTO (kg)	0.513	0.564
CENIZA (Kg)	0.077	0.085
A. FINO (kg)	0.886	0.975
A. GRUEGO (kg)	1.389	1.528
AGUA (kg)	0.254	0.279

Material total para todas las relaciones a/c

cemento 7.44796276 kg = 0.17524618 bls
ceniza 0.54801326 kg
ag fino 11.1290341 kg
ag grueso 18.3353235 kg
agua 3.36019053 kg

ANEXO 3

A.) OBTENCIÓN DE MATERIALES:

Agregado Fino y Grueso

Cantera Huanchaco	Cantera San Carlos-Laredo
	

Ceniza producto de Quema de Caña de Azúcar-Quirihuac



B.) ENSAYOS DE LABORATORIO:

Granulometría de Agregados



Peso Unitario Agregado Grueso



Peso suelto ag. grueso



Peso compactado ag. grueso

Peso Unitario Agregado Fino



Peso suelto ag. Fino



Peso compactado ag. Fino

Contenido de Humedad de Agregados Grueso



Peso muestra húmeda



Peso muestra seca

Porcentaje de Absorción de Agregado Grueso



Peso seco



Peso saturado



Muestras en reposo

Porcentaje de Absorción de Agregado Fino



Peso muestra saturada



Peso muestra Seco



Picnómetro ag. fino y agua

C.) PROCESO DE ELABORACIÓN, CURADO Y ENSAYO DE MEDIA CELDA:

Materiales a utilizar



Mezcla de Concreto



Llenado de probetas



Curado de probetas



Ciclo de exposición de las probetas con NaCl



ANEXO 4

PROCESAMIENTO DE DATOS

Armado de media Celda



Pre-humedecimiento



Medición de Potencial de Corrosión del Acero



ANEXO 4

PROCESO DE CÁLCULO PARA LA OBTENCIÓN DE POTENCIALES DE CORROSIÓN PROMEDIO RELACIÓN A/C= 0.40

Semana		0		1		2		3		4		5		6	
Dosificación	Ceniza	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
0.40	0%	-136.50	-92.80	-153.4	-105.7	-209.1	-136.0	-248.7	-201.9	-430.3	-422.3	-418.0	-401.1	-222.3	-248.0
	0%	-100.10	-110.90	-124.2	-133.8	-170.6	-158.9	-248.2	-198.5	-469.7	-379.0	-479.2	-377.9	-336.7	-175.8
	0%	-124.60	-97.30	-151.5	-113.0	-202.0	-147.4	-256.1	-189.8	-439.2	-408.7	-467.3	-376.9	-275.8	-228.0
	5%	-120.20	-94.70	-129.3	-106.3	-177.2	-147.9	-223.5	-198.4	-403.0	-431.6	-409.0	-451.7	-167.7	-211.5
	5%	-97.40	-98.90	-110.5	-124.0	-155.7	-149.3	-229.6	-202.6	-455.2	-390.0	-477.5	-398.7	-276.7	-200.6
	5%	-93.30	-93.30	-115.9	-114.4	-147.5	-142.4	-218.6	-220.5	-398.4	-454.0	-409.3	-479.0	-166.4	-279.3
	10%	-119.60	-124.90	-134.3	-152.0	-177.8	-193.9	-224.5	-243.1	-403.8	-426.5	-409.6	-442.1	-176.4	-254.7
	10%	-121.40	-97.70	-135.2	-123.9	-198.3	-183.4	-267.2	-234.1	-484.4	-455.4	-502.2	-459.0	-310.9	-228.7
	10%	-116.70	-109.80	-129.6	-135.1	-175.1	-196.6	-245.5	-269.5	-423.4	-492.2	-428.2	-508.8	-194.0	-320.4
	15%	-123.70	-111.60	-143.5	-145.8	-181.8	-184.1	-227.8	-232.6	-415.9	-429.2	-423.2	-437.3	-177.1	-230.0
	15%	-129.00	-132.20	-162.0	-153.2	-208.9	-195.7	-277.1	-245.7	-503.5	-480.6	-523.4	-501.3	-317.2	-254.1
	15%	-122.20	-119.90	-141.0	-155.1	-210.3	-220.0	-280.0	-292.2	-470.7	-524.5	-476.3	-546.9	-231.7	-338.1

semanas		0	1	2	3	4	5	6
0.40	0%	-110.37	-130.27	-170.67	-223.87	-424.87	-420.07	-247.77
	5%	-99.63	-116.73	-153.33	-215.53	-422.03	-437.53	-217.03
	10%	-115.02	-135.02	-187.52	-247.32	-447.62	-458.32	-247.52
	15%	-123.10	-150.10	-200.13	-259.23	-470.73	-484.73	-258.03

RELACIÓN A/C= 0.45

Semana		0	1	2	3	4	5	6							
0.45	0%	-167.70	-156.30	-197.1	-226.5	-228.1	-290.9	-270.8	-353.1	-449.2	-552.6	-445.1	-557.4	-237.8	-354.5
	0%	-114.00	-106.30	-151.0	-160.7	-163.2	-210.4	-248.3	-285.7	-477.8	-501.5	-481.6	-514.2	-293.5	-355.5
	0%	-129.20	-128.80	-142.8	-175.6	-169.7	-221.2	-225.5	-254.1	-438.7	-504.7	-440.1	-511.9	-277.0	-334.0
	5%	-101.60	-85.10	-128.4	-152.7	-170.3	-205.6	-210.7	-265.5	-395.1	-471.0	-389.2	-474.0	-135.6	-224.8
	5%	-94.80	-64.50	-129.2	-116.3	-157.5	-178.0	-240.3	-251.0	-475.8	-472.8	-477.8	-483.7	-243.4	-278.7
	5%	-124.70	-107.80	-135.7	-152.0	-172.8	-200.1	-226.3	-230.7	-445.5	-487.3	-445.1	-492.7	-235.7	-268.5
	10%	-123.40	-139.30	-147.8	-153.3	-194.0	-232.9	-242.0	-290.9	-439.7	-511.2	-441.0	-513.3	-238.2	-343.8
	10%	-132.80	-115.60	-178.2	-141.3	-205.6	-206.2	-273.6	-279.5	-482.9	-511.4	-486.4	-515.7	-272.5	-335.1
	10%	-113.30	-108.80	-147.0	-143.8	-189.1	-204.6	-221.8	-242.6	-464.7	-429.3	-461.2	-438.4	-266.2	-250.0
	15%	-129.10	-106.70	-164.1	-131.3	-206.2	-166.8	-269.3	-221.8	-463.2	-438.3	-476.0	-451.9	-264.2	-273.4
	15%	-94.30	-104.90	-150.3	-141.2	-176.2	-193.5	-261.2	-270.4	-466.7	-498.5	-481.7	-514.3	-258.8	-324.7
	15%	-121.70	-80.00	-166.0	-125.6	-224.9	-194.1	-273.7	-285.3	-512.8	-468.2	-520.8	-488.8	-316.8	-291.4

semanas		0	1	2	3	4	5	6
0.45	0%	-133.72	-175.62	-213.92	-272.92	-487.42	-491.72	-308.72
	5%	-96.42	-135.72	-180.72	-237.42	-457.92	-460.42	-231.12
	10%	-122.20	-151.90	-205.40	-258.40	-473.20	-476.00	-284.30
	15%	-106.12	-146.42	-193.62	-263.62	-474.62	-488.92	-288.22

RELACIÓN A/C= 0.50

Semana		0	1	2	3	4	5	6							
0.50	0%	-117.60	-133.10	-144.7	-193.5	-169.5	-245.2	-188.8	-331.5	-357.9	-615.6	-370.7	-707.4	-124.0	-610.7
	0%	-146.00	-106.90	-162.0	-156.2	-193.5	-214.6	-216.6	-297.1	-399.3	-583.0	-429.5	-657.4	-137.2	-554.1
	0%	-101.30	-100.90	-136.2	-142.4	-168.3	-193.5	-199.4	-268.0	-380.1	-555.9	-412.7	-627.9	-325.3	-319.7
	5%	-143.90	-110.60	-161.9	-165.0	-178.3	-225.6	-207.0	-321.3	-371.5	-616.2	-333.0	-614.1	-106.9	-488.2
	5%	-122.70	-106.40	-149.2	-152.3	-175.1	-203.4	-207.6	-295.3	-350.9	-611.4	-319.8	-601.9	-117.8	-451.9
	5%	-134.00	-117.90	-159.0	-165.3	-188.0	-213.3	-228.5	-297.2	-362.8	-622.3	-333.8	-610.7	-268.2	-324.3
	10%	-115.20	-96.30	-142.7	-141.6	-170.9	-214.0	-195.1	-305.2	-321.3	-636.6	-315.5	-635.0	-103.0	-455.5
	10%	-119.50	-107.60	-161.4	-140.3	-183.1	-219.2	-200.6	-317.1	-331.0	-644.3	-325.9	-642.0	-116.9	-459.0
	10%	-123.00	-108.90	-152.3	-156.0	-182.9	-226.0	-205.2	-319.1	-312.5	-669.4	-307.9	-666.6	-222.3	-360.2
	15%	-180.20	-163.00	-195.0	-177.6	-273.5	-197.1	-299.1	-308.5	-418.2	-628.0	-416.5	-627.7	-161.0	-392.6
	15%	-82.80	-156.50	-99.5	-183.2	-117.8	-262.9	-146.8	-370.9	-274.3	-682.0	-272.8	-681.5	213.1	-676.8
	15%	-133.00	-150.30	-161.8	-178.9	-191.1	-247.6	-224.2	-351.5	-345.7	-668.6	-344.5	-667.8	-225.0	-296.7

semanas		0	1	2	3	4	5	6
0.50	0%	-117.63	-155.83	-197.43	-250.23	-481.97	-534.27	-345.17
	5%	-122.58	-158.78	-197.28	-259.48	-489.18	-468.88	-292.88
	10%	-111.75	-149.05	-199.35	-257.05	-485.85	-482.15	-286.15
	15%	-144.30	-166.00	-215.00	-283.50	-502.80	-501.80	-256.50