

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



**“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE TIERRA DE DIATOMEAS EN EL
POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL ACERO ASTM A615 DENTRO DEL
CONCRETO REFORZADO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND
TIPO I Y CEMENTO TIPO ICO EN EL DISTRITO DE MÁNCORA – PIURA.”**
**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CONSTRUCCIÓN Y MATERIALES

AUTORES:

BR. SÁNCHEZ PAREDES, Elvis Alonso

BR. TAKAHASHI SOTOMAYOR, Víctor Jhoel

ASESOR:

ING. URTEAGA GARCÍA, Juan Manuel

TRUJILLO - PERÚ

2018

JURADO

PRESIDENTE

ING. VELASQUEZ DIAZ, GILBERTO ANAXIMANDRO
CIP: 29040

SECRETARIO

ING. VEGA BENITES, JORGE ANTONIO
CIP: 78666

VOCAL

ING. DÁVALOS CAPRISTÁN, OMAR ALEXANDER
CIP: 72773

ASESOR

ING. URTEAGA GARCIA, JUAN MANUEL
CIP: 75985

ÍNDICE

PRESENTACION	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vii
SIMBOLOGÍA	ix
LISTADO DE TABLAS	x
LISTADO DE FIGURAS	xi

I. INTRODUCCIÓN

1.1. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4

II. METODOLOGÍA

2.1. FUNDAMENTACION TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	5
2.1.1. El Concreto	5
2.1.1.1. Durabilidad del Concreto	6
2.1.2. Corrosión Electroquímica	7
2.1.2.1. Corrosión del Acero embebido en Concreto	9
2.1.2.2. Mecanismo de Corrosión del Acero	11
2.1.3. Potencial de Corrosión	12
2.1.4. Electrodo de Referencia	15
2.1.5. Deterioro del Concreto Reforzado	17

2.1.5.1. Corrosión por Cloruros	18
2.1.5.2. Corrosión por Carbonatación	22
2.1.5.3. Corrosión por Sulfatación	23
2.1.6. Adiciones Puzolánicas	24
2.1.6.1. Tierra de Diatomeas (Diatomita)	24
2.1.6.2. Mecanismos de Reacción de la puzolana en concreto	26
2.1.7. Evaluación de la corrosión en estructuras de concreto	29
2.1.7.1. Inspección Visual	29
2.1.7.2. Método de la Media Celda	29
2.2. MATERIAL	30
2.2.1. Muestra	30
2.2.2. Instrumentos y materiales para la celda galvánica	31
2.3. MÉTODOS	31
2.3.1. Método de la Media Celda (ASTM C876)	32

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	36
3.2. ENSAYO DE LA MEDIA CELDA	44
3.3. ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO	59

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES	61
4.2. RECOMENDACIONES	63

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
-----------------------------------	----

ANEXOS

ANEXO 01: CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES	67
ANEXO 02: DISEÑO DE MEZCLAS	72
ANEXO 03: RESUMEN DE ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS	78
ANEXO 04: A) RESUMEN FOTOGRAFICO DEL PROCESO DE ELABORACION, CURADO DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN	90
B) RESUMEN FOTOGRAFICO DEL PROCESO DE ELABORACION, CURADO DEL ENSAYO DE LA MEDIA CELDA	94
ANEXO 05: PROCESAMIENTO DE DATOS	96
ANEXO 06: PROCESO DE CÁLCULO PARA LA OBTENCION DE LA RESISTENCIA PROMEDIO	99
ANEXO 07: PROCESO DE CÁLCULO PARA LA OBTENCION DE POTENCIALES DE CORROSION PROMEDIOS	101

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el reglamento de grados y títulos de la universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil es grato poner a vuestra consideración el presente trabajo de investigación titulado

“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE TIERRA DE DIATOMEAS EN EL POTENCIAL DE CORROSIÓN DEL ACERO ASTM A615 DENTRO DEL CONCRETO REFORZADO ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO I Y CEMENTO EXTRAFORTE TIPO IC_o EN EL DISTRITO DE MÁNCORA - PIURA” con el propósito de obtener nuestro título profesional de Ingeniero Civil.

DEDICATORIA

A mis padres Eduvin Sánchez Gonzales y Betty Paredes Aguilar, Mis Hermanos Edwin y Margarita Sánchez Paredes por ser el apoyo en mi vida y en agradecimiento a cada uno de sus esfuerzos. A toda mi familia que me motiva cada día a seguir adelante

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos, A mis Abuelos Glicerio Sánchez Quiñones y Margarita Gonzales Mata por acompañarme los primeros años de mi vida y a mi enamorada Marycarmen Cuba por su amor, cariño, comprensión y apoyo en este trabajo.

Gracias

Atte. Elvis Sánchez

DEDICATORIA

A mis padres Ángel yerowe takahashi Ramírez y Socorro Sotomayor Paredes, Mis Padrinos Henry Pavel Takahashi Ramírez y Tania Takahashi Ramírez por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos, A mis abuelos Ángel takahashi cerna , Hilda rene Ramírez Espinoza y Enriqueta Paredes por ser parte de los primeros años de mi vida y a mis tíos por sus consejos que siempre los tengo presente y en especial a mis tíos Karla Takahashi , Rolando Takahashi y Samuel Sotomayor por ser quienes formaron parte de mí desde muy pequeño y siempre les estaré agradecido, es por eso que este logro quiero dedicarles.

Mis hermanos Misuky Takahashi S. y Ichiro Takahashi S por ser mi motivo más fundamental de este esfuerzo. a mi enamorada Katia por demostrarme su afecto en cada momento vivido a su lado, esto también se lo debo a ustedes.

Gracias

Atte. Victor Jhoel

AGRADECIMIENTO

En primer lugar queremos expresar nuestro integro agradecimiento a la Universidad Privada Antenor Orrego, a la Facultad de Ingeniería; y en especial, a nuestra querida Escuela de Ingeniería Civil y a toda su plana docente, por los conocimientos y orientación impartidos durante nuestra formación profesional.

Al Ing. Juan Manuel Urteaga García, por su asesoramiento y puesta de confianza en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Gerardo Arteaga Cuba, por su continuo asesoramiento en el presente trabajo de investigación.

Al Ing. Gerardo Espinola Villanueva por su apoyo en los laboratorios de la UPAO, quien nos facilitó el espacio y los instrumentos para hacer posible nuestra tesis.

Así mismo resaltar el apoyo y colaboración de nuestros compañeros de la carrera que en todo momento estuvieron dándonos aliento y su cordial ayuda en el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

Y por último a todas aquellas personas que de una u otra manera nos brindaron su apoyo y respaldo.

LOS AUTORES

RESUMEN

En esta investigación se evaluó la Influencia de la adición de un porcentaje de diatomita en el Potencial de Corrosión del Acero A615 embebido en concreto fabricado con Cemento Portland Tipo I y Cemento Portland Extraforte ICo.

El propósito de la investigación fue determinar el porcentaje óptimo de diatomita que se debe adicionar en un concreto fabricado con cemento tipo I y cemento extraforte Ico para disminuir el potencial de corrosión del acero embebido en concreto. Los porcentajes de diatomita estudiados fueron de 5, 10 y 20 % en adición al cemento con relación $a/c = 0.60, 0.65$ y 0.70 .

Se prepararon probetas de 4x8 pulgadas, que en su interior se introdujo una barra de acero de refuerzo de 5/8 de pulgada de diámetro, con una longitud de 25cm, para evaluar el Potencial de Corrosión de acuerdo a la norma ASTM C876. Así mismo se prepararon probetas de 15x30 cm para el ensayo de resistencia a la compresión según la norma ASTM C109.

Los resultados para la relación $a/c = 0.60$, fabricado con Cemento portland Tipo I, referente al ensayo de compresión, muestran una resistencia aceptable al 10% de adición de diatomita en la estructura del concreto con una resistencia de 189.46 kg/cm^2 , similar a la mezcla del 5% con 188.44 kg/cm^2 , siendo la variación menor al 1%; y para el ensayo de la media celda se muestran que los resultados de los potenciales de corrosión menos negativos se obtuvieron con la adición del 10% de diatomita a los 14 días de secado. Y para la mezcla fabricado con Cemento portland extraforte Ico, referente al ensayo de compresión, muestran una resistencia aceptable al 10% de adición de diatomita en la estructura del concreto con una resistencia de 184.59 kg/cm^2 , similar a la mezcla del 5% con 183.86 kg/cm^2 , siendo la variación menor al 1%; y para el ensayo de la media celda se muestran que los resultados de los potenciales de corrosión menos negativos se obtuvieron con la adición del 10% de diatomita a los 14 y 28 días de secado, no obstante el porcentaje del 5% de adición tiene buenos resultados.

Para la relación $a/c = 0.65$, fabricado con Cemento portland Tipo I, referente al ensayo de compresión, muestran una resistencia aceptable al 5% de adición de diatomita en la estructura del concreto con una resistencia de 172.96 kg/cm^2 , similar a la mezcla del 10%

con 172.56 kg/cm^2 , siendo la variación menor al 1%; y para el ensayo de la media celda se muestran que los resultados de los potenciales de corrosión menos negativos se obtuvieron con la adición del 5% de diatomita a los 14 días de secado. Y para la mezcla fabricado con Cemento portland extraforte Ico, referente al ensayo de compresión, muestran una resistencia aceptable al 10% de adición de diatomita en la estructura del concreto con una resistencia de 162.13 kg/cm^2 , similar a la mezcla del 5% con 161.39 kg/cm^2 , siendo la variación menor al 1%; y para el ensayo de la media celda se muestran que los resultados de los potenciales de corrosión menos negativos se obtuvieron con la adición del 10% de diatomita a los 14 días de secado..

Para la relación $a/c = 0.70$, fabricado con Cemento portland Tipo I, referente al ensayo de compresión, muestran una resistencia aceptable al 10% de adición de diatomita en la estructura del concreto con una resistencia de 162.27 kg/cm^2 , similar a la mezcla del 5% con 161.64 kg/cm^2 , siendo la variación menor al 1%; y para el ensayo de la media celda se muestran que los resultados de los potenciales de corrosión menos negativos se obtuvieron con la adición del 10% de diatomita a los 14 días de secado. Y para la mezcla fabricado con Cemento portland extraforte Ico, referente al ensayo de compresión, muestran una resistencia aceptable al 5% de adición de diatomita en la estructura del concreto con una resistencia de 153.86 kg/cm^2 , similar a la mezcla del 5% con 153.35 kg/cm^2 , siendo la variación menor al 1%; y para el ensayo de la media celda se muestran que los resultados de los potenciales de corrosión menos negativos se obtuvieron con la adición del 5% de diatomita a los 14 días de secado.

ABSTRACT

In this investigation the influence of the addition of a percentage of diatomite on the corrosion potential of steel A615 embedded in concrete made with Portland Cement Type I and Portland Cement Extraforte ICo was evaluated.

The purpose of the research was to determine the optimum percentage of diatomite that must be added in a concrete made with Type I cement and Ico extraforte cement to reduce the corrosion potential of steel embedded in concrete. The percentages of diatomite studied were 5, 10 and 20% in addition to the cement with relation to $a / c = 0.60, 0.65$ and 0.70 .

We prepared pieces of 4x8 inch, which was introduced in its interior a reinforcing steel bar of 5/8 of an inch in diameter, with a length of 25cm, to assess the potential for corrosion resistance according to ASTM C876. At the same time prepared pieces of 15x30 cm for the test of resistance to the compression according to ASTM C109.

The results for the ratio $a / c = 0.60$, manufactured with Portland Cement Type I, referring to the compression test, show an acceptable resistance to 10% addition of diatomite in the concrete structure with a resistance of 189.46 kg / cm², similar to the mixture of 5% with 188.44 kg / cm², the variation being less than 1%; and for the half-cell test it is shown that the results of the less negative corrosion potentials were obtained with the addition of 10% of diatomite after 14 days of drying. And for the mixture made with Cement portland Ico, referring to the compression test, show an acceptable resistance to 10% of addition of diatomite in the concrete structure with a resistance of 184.59 kg / cm², similar to the mixture of 5% with 183.86 kg / cm², the variation being less than 1%; and for the half-cell test it is shown that the results of the less negative corrosion potentials were obtained with the addition of 10% of diatomite after 14 and 28 days of drying, however the percentage of 5% addition has good results.

For the ratio $a / c = 0.65$, manufactured with Portland Cement Type I, referring to the compression test, they show an acceptable resistance to 5% addition of diatomite in the concrete structure with a resistance of 172.96 kg / cm², similar to the mixture of 10% with 172.56 kg / cm², the variation being less than 1%; and for the half-cell test it is shown that the results of the less negative corrosion potentials were obtained with the addition of 5%

of diatomite after 14 days of drying. And for the mixture made with Cement portland Ico, referring to the compression test, show an acceptable resistance to 10% of addition of diatomite in the concrete structure with a resistance of 162.13 kg / cm², similar to the mixture of 5% with 161.39 kg / cm², the variation being less than 1%; and for the half-cell test it is shown that the results of the less negative corrosion potentials were obtained with the addition of 10% of diatomite after 14 days of drying.

For the ratio $a / c = 0.70$, manufactured with Portland Cement Type I, referring to the compression test, they show an acceptable resistance to 10% addition of diatomite in the concrete structure with a resistance of 162.27 kg / cm², similar to the mixture of 5% with 161.64 kg / cm², the variation being less than 1%; and for the half-cell test it is shown that the results of the less negative corrosion potentials were obtained with the addition of 10% of diatomite after 14 days of drying. And for the mixture made with Cement portland Ico, referring to the compression test, show an acceptable resistance to 5% addition of diatomite in the concrete structure with a resistance of 153.86 kg / cm², similar to the mixture of 5% with 153.35 kg / cm², the variation being less than 1%; and for the half-cell test it is shown that the results of the less negative corrosion potentials were obtained with the addition of 5% of diatomite after 14 days of drying.

SIMBOLOGÍA

ASTM: American Society for Testing and Materials.

NaCl: Cloruro de Sodio.

a/c: Relación agua/cemento.

Ecorr: Potencial de Corrosión.

Cu/CuSO₄: Cobre / Sulfato de Cobre

Ag/AgCl: Plata / Cloruro de Plata

(C – S – H)_S : Silicatos de calcio hidratados de estequiometria no definida

C – S – H : Silicatos de calcio

C – H : Hidróxido de calcio

H₂O: Agua.

CO₂: Dióxido de carbono

SiO₂: Óxido de Silicio

Al₂O₃: Óxido de Aluminio

Fe₂O₃ : Óxido de Hierro.

Al: Aluminio

C: Carbono.

Si: Silicio.

FC: Resistencia a la Compresión

F: carga axial aplicada (Kg)

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1. Normas ASTM vigentes para el uso de componentes de concreto	5
Tabla 2.2. Rango de Potenciales de corrosión norma ASTM C 876-15.	14
Tabla 2.3. Potenciales de los electrodos de referencia.	17
Tabla 2.4. Composición química de Diatomitas en el Perú	25
Tabla 2.5: Relaciones de a/c a diferentes porcentajes	30

LISTADO DE FIGURAS

Figura 2.1. Factores que influyen en la durabilidad del Concreto reforzado	6
Figura 2.2. Celda Electroquímica	7
Figura 2.3. Proceso de Corrosión del acero embebido en concreto	10
Figura 2.4. Medición del Potencial de Corrosión norma ASTM C 876-15	13
Figura 2.5. Esquema del electrodo de Cu/CuSO ₄	16
Figura 2.6. Diferentes secciones en corrosión por picaduras	20
Figura 2.7. Proceso de fisuración del concreto	21
Figura 2.8. Tiempo de vida útil de una estructura	21
Figura 2.9. Reacción química del Carbonato de Calcio	22
Figura 2.10. Carbonatación del Concreto	23
Figura 2.11. Influencia del contenido de C ₃ A sobre la velocidad de degradación del concreto.	24
Figura 2.12. Cambios en función del tiempo, en la distribución del tamaño de poro de pastas de cemento con contenido variable de puzolana.	27
Figura 2.13. Dimensión del acero usado y probetas a utilizar	31
Figura 2.14: Esquema de la celda galvánica.	32
Figura 3.1 Ensayo de Resistencia a la compresión a 28 días de relación a/c = 0.60 – Cemento Portland Tipo I	37
Figura 3.2 Ensayo de Resistencia a la compresión a 28 días de relación a/c = 0.65 – Cemento Portland Tipo I	38
Figura 3.3 Ensayo de Resistencia a la compresión a 28 días de relación a/c = 0.70 – Cemento Portland Tipo I	39
Figura 3.4 Ensayo de Resistencia a la compresión a 28 días – Cemento Portland Tipo I	40
Figura 3.5 Ensayo de Resistencia a la compresión a 28 días de relación a/c = 0.60 – Cemento Portland Extraforte Ico	41

Figura 3.6 Ensayo de Resistencia a la compresión a 28 días de relación a/c = 0.65 – Cemento Portland Extraforte Ico	42
Figura 3.7 Ensayo de Resistencia a la compresión a 28 días de relación a/c = 0.70 – Cemento Portland Extraforte Ico	43
Figura 3.8 Ensayo de Resistencia a la compresión a 28 días – Cemento Portland Extraforte Ico	44
Figura 3.9 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.60 – Cemento Portland Tipo I a 7 días de curado	45
Figura 3.10 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.65 – Cemento Portland Tipo I a 7 días de curado	46
Figura 3.11 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.70 – Cemento Portland Tipo I a 7 días de curado	47
Figura 3.12 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.60 – Cemento Extraforte Ico a 7 días de curado	48
Figura 3.13 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.65 – Cemento Extraforte Ico a 7 días de curado	49
Figura 3.14 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.70 – Cemento Extraforte Ico a 7 días de curado	50
Figura 3.15 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.60 – Cemento Portland Tipo I a 7 días de curado	50
Figura 3.16 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.65 – Cemento Portland Tipo I a 7 días de curado	51
Figura 3.17 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.70 – Cemento Portland Tipo I a 7 días de curado	52
Figura 3.18 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.60 – Cemento Extraforte Ico a 7 días de curado	53
Figura 3.19 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.65 – Cemento Extraforte Ico a 7 días de curado	54
Figura 3.20 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.70 – Cemento Extraforte Ico a 7 días de curado	54

Figura 3.21 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.60 – Cemento Tipo I a 28 días de secado	55
Figura 3.22 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.65 – Cemento Tipo I a 28 días de secado	56
Figura 3.23 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.70 – Cemento Tipo I a 28 días de secado	56
Figura 3.24 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.60 – Cemento Extraforte ICo a 28 días de secado	57
Figura 3.25 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.65 – Cemento Extraforte ICo a 28 días de secado	58
Figura 3.26 Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.70 – Cemento Extraforte ICo a 28 días de secado	58
Figura 3.27 Análisis comparativo Cemento Tipo I (0% vs 5%)	59
Figura 3.28 Análisis comparativo Cemento Extraforte ICo (0% vs 5%)	60
Figura 3.29 Análisis comparativo C. Tipo I vs C. Extra. ICo	60

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de los problemas del concreto reforzado con varillas de acero, es que son susceptibles a la corrosión si están expuestos a ambientes agresivos, por ello la importancia del presente trabajo de investigación en evaluar el desempeño de la tierra de diatomeas como un material puzolánico capaz de disminuir la probabilidad de corrosión del acero dentro del concreto.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. General

- Determinar la influencia de la adición de tierra de diatomeas en el potencial de corrosión del acero ASTM - A615 dentro del concreto reforzado fabricado con cemento tipo ICo y cemento portland tipo I en el distrito de Máncora - Piura.

1.2.2. Específicos

- Determinar la relación que existe entre la resistencia a la compresión ($f'c$) y el potencial de corrosión (E_{corr}).

1.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Internacionales:

- A) Baltazar Zamora, M. (2009), en su investigación titulada: “Monitorización de Potenciales de Corrosión y Resistencia Mecánica de un hormigón Contaminado Expuesto a un Medio Clorado”, presentada en la Universidad de Veracruzana, México. Con los resultados obtenidos concluyeron que: *Los especímenes de cemento impermeable expuestos a un medio limpio presentan potenciales que indican incertidumbre de que exista corrosión, 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. [1]

- B)** Tagnit Hamou, A. (2003), en su investigación titulada: “Propiedades del concreto agregando tierra de diatomeas”, presentada en la Universidad de Sherbrooke, Canadá. Con los resultados obtenidos concluyeron que: *La incorporación de tierra de diatomeas en concreto puede aumentar sustancialmente la resistencia a la compresión y la resistencia a la reacción de álcali-sílice al mismo tiempo que reduce y refina significativamente la porosidad y mejora la resistencia a la penetración de iones cloruro (ASTM C 1202-97). [2]*

1.3.2. Nacionales:

- C)** Leandro Espinoza, J. (2010), en su tesis titulada: “Evaluación del uso de la diatomita como adición mineral en el concreto de alta resistencia”, presentada en la Universidad Ricardo Palma. Con los resultados obtenidos concluyeron que: *La resistencia del concreto con los diferentes tipos de diatomitas es baja inicialmente, pero la ganancia de resistencia es continuada por un periodo de tiempo más largo comparado con la mezcla que sólo posee cemento, lo que da como resultado resistencia última más elevada y también reducen el % de vacíos y poros permeables, evitando así la penetración de agua y sales. [3]*
- D)** Astete García, J. (2015), en su tesis titulada: “Estudio experimental del empleo de la diatomita en la producción de concreto con agregados de mina roja, Cunyac y Vicho”, presentada en la Universidad Andina del Cusco. Con los resultados obtenidos concluyeron que: *La resistencia del concreto con una adición de 25% de diatomita, alcanzó una resistencia de 220.75 Kg/cm², que se considera mejorado con respecto a una mezcla patrón que alcanzó una resistencia de 210.75 Kg/cm². [4]*

- E)** Sánchez Stasiw, C. (2008), en su tesis titulada: “Estudio experimental del empleo de diatomita en la producción de concreto de alto desempeño”, presentada en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Con los resultados obtenidos concluyeron que: *A diferentes reemplazos de cemento por diatomita, el desarrollo de la misma cumplió con los resultados esperados de superar los 600 Kg/cm² pero sin alcanzar los 800 Kg/cm² logrados por el concreto con micro sílice y la mezcla más impermeable es la DCD-05(5%) alcanzando un valor de $0.002 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ en comparación con la mezcla patrón que alcanzó un valor de $0.005 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.* [5]
- F)** Ordoñez Malaver, J. (2016) en su tesis titulada: “Influencia en la resistencia a la compresión axial al sustituir parcialmente cemento portland tipo I por diatomita en un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ”, presentada en la Universidad Privada del Norte. Con los resultados obtenidos concluyeron que: *Existe una influencia positiva al sustituir parcialmente cemento Portland tipo I por Diatomita donde al sustituir 10% de cemento Portland tipo I por Diatomita se alcanza una resistencia a la compresión axial máxima de $f'c = 247.12 \text{ Kg/cm}^2$ incrementándose un 7.73%.* [6]
- G)** Chumpitaz Colán, P. (2007) en su tesis titulada: “Estudio experimental del uso de tierras diatomáceas en la producción de concretos de alta resistencia”, presentada en la Universidad Nacional de Ingeniería. Con los resultados obtenidos concluyeron que: *La diatomita puede ser utilizada como adición mineral, en reemplazo de la microsíllice, para introducir CAR de una resistencia a la compresión que varía desde 40 a 80 MPa empleando una proporción de 5% a 10% de reemplazo de cemento.* [7]

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El distrito de Máncora, provincia de Talara, departamento de Piura, cuenta con una población de 430.319 habitantes, se encuentra aproximadamente a 187 km de la ciudad de Piura y a orillas del océano Pacífico, se caracteriza por su clima tropical y sus playas cristalinas. Por su cercanía al mar, el ambiente contiene entre otras sales el ion cloruro.

El Sistema estructural de las construcciones en la ciudad es básicamente de Albañilería Confinada, los muros confinados y los entre pisos y techos denominados diafragmas rígidos son de concreto reforzado. Los elementos de concreto reforzado en presencia del ion cloruro se ven afectados en su durabilidad al producirse la corrosión del acero y generando la fisuración del recubrimiento del concreto. Fenómeno que se aprecia en varias construcciones al estar expuesto a un ambiente agresivo.

La evaluación del fenómeno de corrosión del acero en concreto se cuantifica con el parámetro denominado potencial de corrosión (E_{corr}) que se medirá en mili voltios (mV), cuando este llega a un valor -200mV el riesgo de que ocurra corrosión es de 10%, si esta entre -200mV y -350mV indica que se tiene incertidumbre y si son más negativos que -350mV se tendrá una probabilidad del 90% de que el acero dentro del concreto se corroerá. Con esta información es posible evaluar a los materiales antes de construir que minimicen este valor y por lo tanto alarguen el tiempo de inicio de corrosión.

Los materiales que hacen visible el mayor tiempo de inicio de la corrosión, es el tipo de cemento y los materiales puzolánicos entre los conocidos están el cemento tipo MS, la microsílice y dentro de los desconocidos esta la denominada tierra de diatomeas o diatomita. Material abundante en la zona con características similares a una puzolana. Pero cuyo comportamiento en el proceso de corrosión se desconoce.

Por tal motivo en este trabajo se evaluará el desempeño de la diatomita en la disminución del potencial de corrosión del acero ASTM A615 dentro del concreto reforzado.

CAPITULO II METODOLOGÍA

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. El Concreto

El concreto hidráulico preparado con cemento portland es de apariencia simple, pero de una naturaleza muy compleja, su constitución es básicamente agregados pétreos, agua y cemento. En la reacción química de hidratación entre el agua y el cemento se forman silicatos hidratados de calcio (C-S-H) que se enlazan y endurecen en un solo conjunto con los agregados, dando como resultado un material con apariencia similar al de una roca. Adicionalmente a los componentes principales se emplean aditivos químicos, minerales o naturales para obtener características específicas, como alta resistencia a edades tempranas, concretos fluidos, también llamados auto-consolidantes.

Las diferentes propiedades del concreto están en función de los tipos de materiales empleados y de sus características particulares, sin embargo, se menciona que el concreto en conjunto es más que la suma de sus componentes y una vez dosificado y mezclado influye en la formación de su estructura la relación A/C, tiempo y tipo de curado y grado de hidratación del cemento. La selección de los componentes para elaborar concreto se lleva a cabo con base en la evaluación indicada por las normas correspondientes. [8]

Tabla 2.1 Normas ASTM vigentes para el uso de componentes de concreto.

Componente	ASTM
Cemento	C 150
Agua	C 1602
Agregado fino	C 33
Agregado grueso	C 33
Adiciones minerales	C 989, C 618, C1240

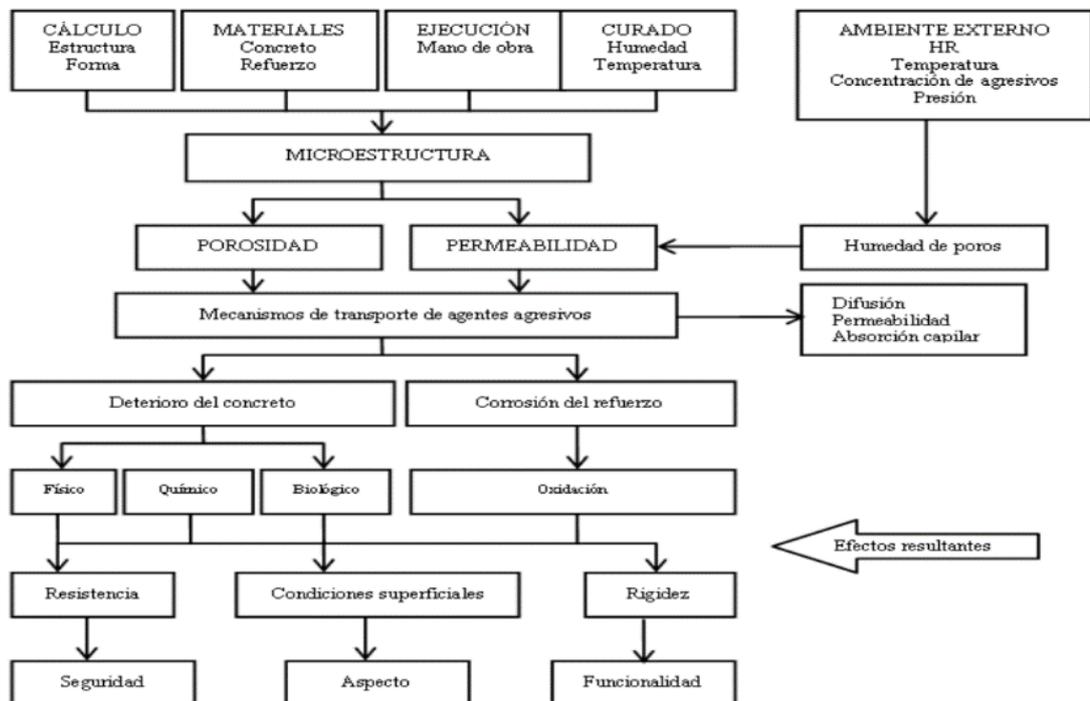
Fuente: Guzmán, O. (2008) – Influencia del agrietamiento del concreto en la corrosión.

2.1.1.1. Durabilidad del Concreto

Además de las consideraciones mecánicas del mismo concreto es necesario tomar en cuenta su durabilidad potencial en función del entorno, es decir, la capacidad del material de mantener sus propiedades a lo largo del tiempo sin que afecte a la seguridad, funcionalidad y estabilidad para las cuales se ha diseñado. En el caso del concreto reforzado la durabilidad de la estructura depende tanto de las características del concreto, como del acero y la relación entre ellos.

Los factores que pueden dañar al concreto armado pueden ser físicos, químicos o biológicos. Entre los físicos se encuentra la erosión, abrasión, impacto, congelamiento-deshielo y las cargas; entre los químicos las aguas puras, marinas, ácidas y sulfáticas; y entre los biológicos los microorganismos. [8]

Figura 2.1: Factores que Influyen en la durabilidad del Concreto Reforzado. [8]

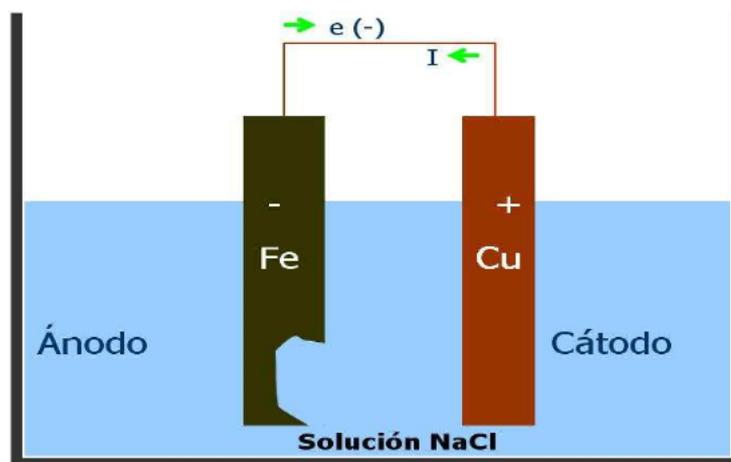


Fuente: Guzmán, O. (2008) – Influencia del agrietamiento del concreto en la corrosión.

2.1.2. Corrosión Electroquímica

La corrosión metálica en medio ambiente húmedo es un proceso de naturaleza electroquímica que involucra reacciones de oxidación y reducción, ocasionando el deterioro del material metálico y de sus propiedades. El origen del fenómeno es la presencia de heterogeneidades en la superficie de los metales, que producen zonas de diferentes niveles de energía y propician la formación de la celda electroquímica.

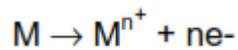
Figura 2.2: Celda Electroquímica. [8]



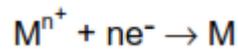
Fuente: Guzmán, O. (2008) – Influencia del agrietamiento del concreto en la corrosión.

En esta celda se identifican los siguientes elementos: una zona anódica: donde ocurre la reacción de oxidación o disolución del metal; una zona catódica: donde ocurre la reacción de reducción; un conductor eléctrico: donde fluyen los electrones del ánodo al cátodo; y un conductor iónico: como medio de transporte de los iones. Como puede apreciarse, en una celda electroquímica son indispensables los siguientes elementos:

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, que se representa con la siguiente reacción:



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.



En el cátodo se cierra el circuito eléctrico a través de un conductor externo.

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

Diferencia de potencial: Desigualdad en el estado energético entre los dos electrodos que provoca un flujo de electrones desde el ánodo hasta el cátodo.

Conductor metálico: Cable externo que conecta eléctricamente los electrodos (conduce los electrones desde el ánodo hacia el cátodo).

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.

Durante el proceso de corrosión en estructuras de concreto, la zona anódica y la zona catódica están localizadas en la superficie del acero de refuerzo, mientras que el concreto actúa como el electrolito, completándose así los elementos que se requieren para formar la celda electroquímica. En algunos textos, la celda electroquímica también es llamada "pila de corrosión", "celda electrolítica" o "celda galvánica". La frontera entre un metal y un electrolito recibe el nombre de interfase y es la región en la que se llevan a cabo las reacciones de oxidación y reducción. [9]

2.1.2.1. Corrosión del Acero embebido en Concreto

El concreto reforzado con varillas de acero es uno de los materiales de construcción más ampliamente usados, sin embargo, las estructuras que los emplean tienen el inconveniente de ser susceptibles a la corrosión. El problema del deterioro de las estructuras de concreto debido a procesos de corrosión es serio y de implicaciones económicas mayores. La habilidad para evaluar la corrosión de las varillas de refuerzo en estructuras y poder estimar la vida en servicio remanente es tema de estudios en el ámbito mundial. Además, el problema de corrosión produce agrietamientos y desprendimientos del material que provoca el deterioro estético y funcional de la estructura, aun cuando no se produzca el colapso de la misma.

La corrosión es la interacción de un metal con el medio que lo rodea, se hace mención de la presencia de un ánodo, un cátodo, un conductor eléctrico, un conductor iónico (electrolito) y una diferencia de potencial entre el cátodo y el ánodo y sus características electroquímicas, produciendo por consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas. La característica fundamental de este fenómeno, es que solo ocurre en presencia de un electrolito; en el acero dentro del concreto se produce generalmente por el ataque de sales disueltas en el medio ambiente como por ejemplo el ion cloruro, que penetra en el concreto por los poros o vacíos llegando al acero. Para este fenómeno existen procesos como por ejemplo la corrosión por carbonatación del hormigón y la corrosión por acción de cloruros.

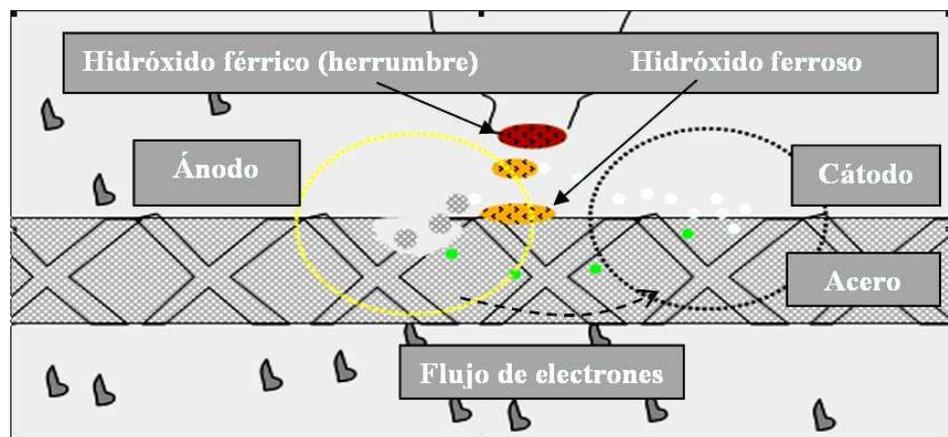
Corrosión por acción de cloruros este fenómeno generalmente se produce en las zonas costeras, los iones de cloruro que se encuentran en el ambiente penetran en el hormigón destruyendo la capa protectora que cubre el acero y provocando una pequeña zona anódica con relación a la catódica, las condiciones 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 el cemento, agua, agregados, aditivos o también en el ambiente. El componente del cemento que reacciona con los iones de cloruro es el aluminato tricalcico (C3A), formando Cloro aluminato cálcico lo cual provoca la disminución del PH provocando el medio ácido que genera la corrosión.

Los efectos en el acero son la reducción transversal de la armadura de refuerzo, es el efecto más inmediato de la corrosión, debido a la disolución del metal en las zonas anódicas. Esto implica la pérdida de capacidad resistente de forma progresiva y afecta la seguridad y la funcionalidad de la estructura, puede producirse de manera uniforme a lo ancho de la sección de la armadura.

La corrosión que se presenta en el acero de refuerzo en concreto es electroquímica y consta de los mismos elementos con las siguientes consideraciones: la zona anódica: es una parte del acero de refuerzo, la zona catódica: es otra parte del acero de refuerzo, el conductor eléctrico: es el acero de refuerzo y el conductor iónico: es la solución existente en los poros del concreto. Esquemáticamente la corrosión del acero de refuerzo se presenta de la siguiente forma. [8]

Figura 2.3: Proceso de Corrosión del acero embebido en concreto. [8]



Fuente: Guzmán, O. (2008) – Influencia del agrietamiento del concreto en la corrosión.

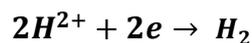
Una manera de evitar que la corrosión esté presente es disminuyendo la porosidad en el concreto que se puede lograr con la relación agua cemento o con adiciones minerales como las puzolanas que pueden ser naturales o artificiales.

Entre las puzolanas naturales está la tierra de diatomeas, con un alto índice de actividad puzolánica debido a que está compuesta casi en su totalidad por sílice. Tiene como característica una alta porosidad pero que finamente molida puede ser agregada a la mezcla del concreto disminuyendo su porosidad e impidiendo que el acero esté en contacto con las sales minerales. Si el acero no está en contacto con sales u otros agentes oxidantes hay una alta probabilidad de que la corrosión no esté presente. Una manera de cuantificar este fenómeno es con el potencial de corrosión que se medirá en mili voltios (mV). [10]

2.1.2.2. Mecanismo de Corrosión del Acero



El fierro al liberar dos electrones se convierte en un ión con carga positiva, ésta es una reacción de oxidación y la porción del metal donde ocurre esta reacción es el ánodo.



Los electrones liberados por el fierro viajan a través del conductor eléctrico hasta el cátodo para combinarse con iones hidrogeno y formar gas hidrógeno.



El gas hidrógeno se combina con el oxígeno para formar agua



El agua, el oxígeno y los electrones provenientes del ánodo se combinan y forman iones hidroxilo u oxidrilo.



El ion de carga positiva se combina con los iones hidroxilo para formar el hidróxido ferroso



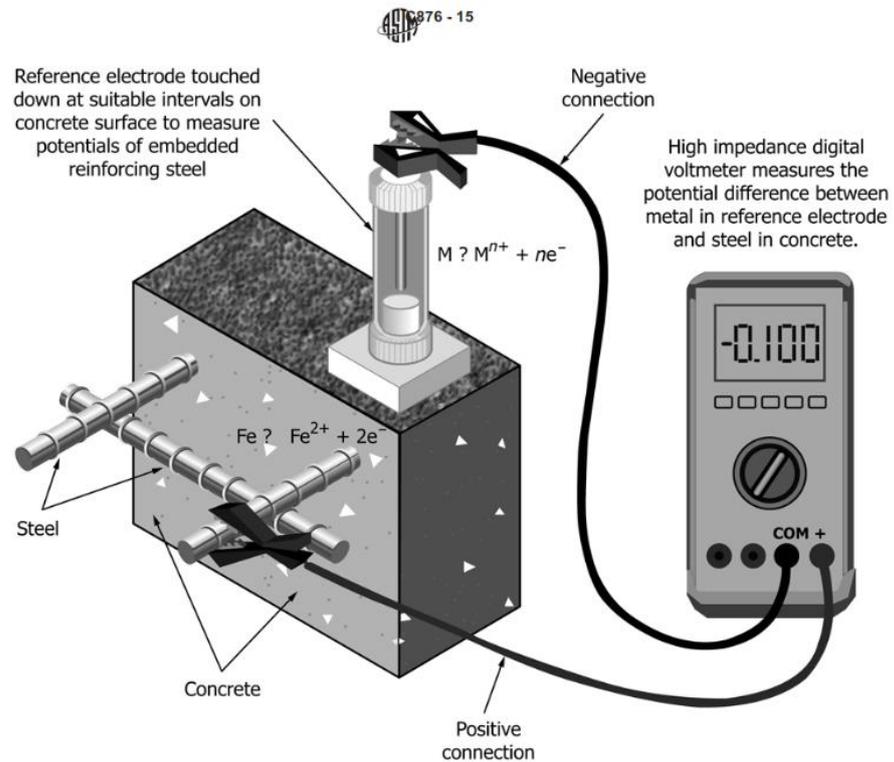
El hidróxido ferroso se combina con el agua y con moléculas de oxígeno para formar finalmente el hidróxido férrico o herrumbre de color rojizo, que tiene un volumen 8 veces mayor al volumen inicial de la molécula de hierro. [8]

2.1.3. Potencial de Corrosión

La norma ASTM C 876-15 establece la medición del potencial de media celda como un parámetro de estimación de la probabilidad de ocurrencia de corrosión. Aunque se ha cuestionado su validez, sigue siendo empleada para mediciones en condiciones reales.

Esta medición informa si la corrosión está presente o no y, en caso de hallarse presente, de su severidad; sin embargo, no proporciona una medida de la velocidad de la corrosión. Este método ha sido utilizado tan ampliamente como lo amerita, particularmente porque es sencillo en sus principios y fácilmente aplicable. Proporciona un valioso respaldo a técnicas como la de resistencia de polarización, y es muy útil por si sola aun cuando no proporciona una medida directa de la velocidad de corrosión o de la corrosión total, se obtiene información sobre la naturaleza del proceso de corrosión el cual puede ser difícil o imposible de obtener por otros métodos, y adicionalmente su respuesta es rápida. [12]

Figura 2.4: Medición del Potencial de Corrosión norma ASTM C-876-15 [11]



Fuente: ASTM C-876-15 – Método estándar para la medición de Potencial de Corrosión.

El monitoreo de potencial es una técnica termodinámica en la cual se relaciona el estado de corrosión y el potencial de corrosión de un metal (E_{corr}), como una medida del inicio o de la severidad de la corrosión. Un estado pasivo (tipificado por una velocidad de corrosión baja) se refleja en un potencial de corrosión noble, mientras el mismo material en un estado activo (tipificado por una velocidad de corrosión más alta), tiene un potencial menos noble. Consecuentemente el potencial puede ser monitoreado para mostrar si el material se corroe lenta o rápidamente.

El método es convenientemente aplicado para materiales (por ejemplo, aceros inoxidables, aleaciones base níquel titanio, acero de refuerzo, entre otros) que deben su resistencia a la corrosión a la presencia y conservación de una película superficial protectora, la cual los hace pasivos en muchos medios. Cuando la pasividad se pierde, su potencial cambia drásticamente. [12]

Uno de las ventajas de este método es que mide la condición de la estructura misma, más que de la probeta con la que se busca representar condiciones de planta y esto permite monitorear condiciones diferentes a las de corrosión generalizada. Por ejemplo, puede ser utilizado para monitoreo de formas de ataque localizado tales como corrosión bajo tensión, corrosión por picadura, corrosión en estructuras de concreto reforzado, corrosión selectiva de fase, etc.

Cuando el acero se corroe en el concreto, existe sobre el acero una diferencia de potencial entre las áreas de media celda anódicas y las áreas de media celda catódicas. El potencial de corrosión de media celda puede medirse por comparación con una celda de referencia normalizada, la cual tiene un valor constante conocido. [12]

Este método consiste en conectar una terminal de un voltímetro de alta impedancia al acero de refuerzo y la otra terminal, al electrodo de referencia de sulfato de cobre posicionado sobre el concreto.

El procedimiento para la evaluación de la corrosión del acero de refuerzo embebido en concreto está contenido en la Norma ASTM C 876-15, la cual establece criterios que relacionan al potencial de corrosión y su condición de corrosión, mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 2.2: Rango de Potenciales de Corrosión ASTM C876-15 [11]

Potenciales de Corrosión Norma ASTM C 876-15	
Potenciales más positivos que -200 mV	El riesgo de que ocurra corrosión es de 10%
Si está entre -200 y -350 mV	Se tiene una probabilidad del 50%
Si son más negativos que -350 mV	Se tendrá una probabilidad del 90% de que se está corroyendo el concreto

Fuente: ASTM C-876-15 – Método estándar para la medición de Potencial de Corrosión.

2.1.4. Electrodo de Referencia

Es una pila prácticamente impolarizable y de potencial constante, que sirve para medir y controlar el potencial del electrodo sometido a estudio en la celda de ensayo, refiriéndolo a una escala arbitraria.

El electrodo de referencia patrón es el Electrodo de hidrógeno estándar (SHE), pero desgraciadamente, este electrodo es frágil y muy sensible a la contaminación, por cuya razón las medidas suelen realizarse con respecto a otros electrodos de referencia. El más utilizado en el laboratorio es el de cobre/sulfato de cobre (CSE) y de Calomel (SCE)

Los electrodos de referencia de mayor uso en los trabajos de campo y laboratorio son los de Cu/CuSO₄; Ag/AgCl y Cinc. En los trabajos de protección catódica de estructuras enterradas y en la detección de corrientes vagabundas se prefieren los electrodos de cobre sulfato de cobre (Cu / CuSO₄). [13]

Un electrodo muy útil para trabajo de campo, sobre todo en las mediciones de la corrosión, es el de **Cu/CuSO₄**. Este electrodo de construcción simple como vemos en la figura 1.5, se estructura con una barra de cobre sumergida en una solución de sulfato de cobre saturada, que contiene cristales de CuSO₄ para mantener la saturación.

Para establecer el contacto iónico (permitir el paso de los iones y de esta manera la corriente sin causar la contaminación indirecta significativa), se realiza mediante un puente salino el cual se emplea un tapón de madera (de pino o equivalente), el cual debe ir colocado en uno de los extremos de un tubo de vidrio de aproximadamente 20 cm de longitud, el cual contendrá el CuSO₄ y el Cu. En el otro extremo deberá ir una cubierta del mismo material, de preferencia roscada, que permitirá la salida del cable de contacto eléctrico.

El potencial de electrodo se estima por medio de la Ec. de Nernst, considerando el equilibrio de un sistema metal-ión metálico en solución (Cu⁰/Cu²⁺), es decir:

$$E_{Cu^{2+}/Cu^0} = E^{\circ}_{Cu^{2+}/Cu^0} + 2.303 \frac{RT}{nF} \log a_{Cu^{2+}} \dots \dots \dots (1)$$

La concentración nominal de una solución saturada de CuSO_4 a $25\text{ }^\circ\text{C}$, es de 1.3605 M siendo su coeficiente de actividad 0.0374 por tanto, dado que el potencial standard para el sistema es de 0.337 v , tenemos

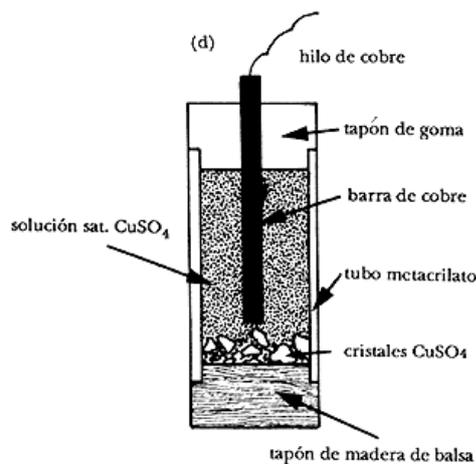
$$E^\circ_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0} = 0.2988\text{ v}$$

y los valores experimentales reportados oscilan entre 0.300 y 0.316 V .

Su uso principal se da en las medidas en el campo; para lo que el electrodo debe ser resistente al choque y donde su usual tamaño grande reduce al mínimo los errores de polarización.

La precisión de este electrodo es adecuada para la mayor parte de las medidas de corrosión en campo, aunque esta algo por debajo de la que se obtiene con electrodos de calomelanos o de cloruro de plata, más propios de uso en el laboratorio.

Figura 2.5: Esquema del electrodo de Cu/CuSO_4 . [13]



Fuente: Cárdenas, D. (1998). Corrosión y Protección de Metales.

Los electrodos de Ag / AgCl son utilizados generalmente para la medición de potenciales en agua de mar y del acero embebido en concreto contaminado con cloruros. [13]

Tabla 2.3. Potenciales de los electrodos de referencia. [13]

Electrodo	Electrolito	Potencial (V)
Calomel (SCE)	Saturado KCl	+0.2420
Plata/Cloruro de Plata (SSC)	Agua de mar	+0.25 aprox.
Cobre / Sulfato de cobre (CSE)	Agua de mar	+0.30 aprox.
Zinc	Agua de mar	-0.79 aprox.

Fuente: Cárdenas, D. (1998). Corrosión y Protección de Metales.

2.1.5. Deterioro del Concreto Reforzado.

El concreto es un material discontinuo, duro y de alta densidad. El concreto simple, sin refuerzo, es resistente a la compresión, pero es débil en tracción, lo que limita sus aplicaciones como material estructural. Para resistir cargas de tracción se emplea refuerzo de acero, generalmente en forma de barras, colocado en las zonas en donde se prevé que se desarrollarán tensiones bajo las acciones de servicio. El acero restringe el desarrollo de las grietas originadas por la poca resistencia a la tensión del concreto. El uso del refuerzo no está limitado a la finalidad anterior; también se emplea en zonas de compresión para aumentar la resistencia del elemento reforzado, para reducir las deformaciones debidas a cargas de larga duración y para proporcionar confinamiento lateral al concreto, lo que indirectamente aumenta su resistencia a la compresión [14].

Las estructuras de grandes ciudades, costas, puentes, etc., están reforzadas interiormente con varillas de acero las cuales se cubren de concreto (mezcla de cemento Portland, arena, agua y agregado de pH alto, aproximadamente 12). Debido a su propia constitución, contiene una gran cantidad de poros, los cuales pueden estar interconectados, siendo por tanto permeable a líquidos y gases. Esto es de una gran importancia para el proceso de corrosión del acero de refuerzo, pues tanto el oxígeno como el agua pueden difundirse hacia el acero a través de la masa de concreto.

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

- Fractura localizada de la película de pasivación por iones cloruro.
- Carbonatación. Decrecimiento del pH, lo que produce una pérdida de la pasivación; esto se puede deber a la lixiviación producida por agua (lluvia, nieve) la cual disuelve y elimina al hidróxido de calcio. También se puede presentar un intercambio iónico (iones Mg, amonio, sulfato, oxidrilo) entre los componentes de la pasta y el medio ambiente, reacciones que dan lugar a la formación de componentes solubles en el agua, la cual los va retirando del concreto.
- Sulfatación. La acción del SO₂ actúa sobre la superficie del acero de refuerzo, llevando a cabo un ataque localizado desde afuera hacia adentro del concreto.

2.1.5.1. Corrosión por Cloruros

La corrosión por iones cloruros es más frecuente en las zonas costeras. Los cloruros provienen de sales inorgánicas que abundan en la naturaleza; y por eso, suelen encontrarse en el concreto desde la formación de la pasta de cemento. La presencia excesiva de cloruros en el concreto se puede originar por vía interna y externa.

- ✓ *Vía interna:* es cuando los cloruros han sido adicionados a la pasta desde la fabricación del concreto, al estar contenidos en el agua empleada para formar la pasta; en los agregados o con algún aditivo.
- ✓ *Vía externa:* es cuando los cloruros se encuentran en el medio ambiente que está en contacto con la estructura (suelo, agua, aire) y penetran en el concreto a través de fisuras o por difusión.

Por ejemplo, cuando la estructura de concreto está en contacto frecuente con agua que contenga iones de cloruro (agua de mar), a través de la propia porosidad del concreto puede llegar a las varillas de acero. En este momento se inicia la corrosión del acero. La herrumbre que se va formando como resultado del proceso de corrosión en el acero, por una

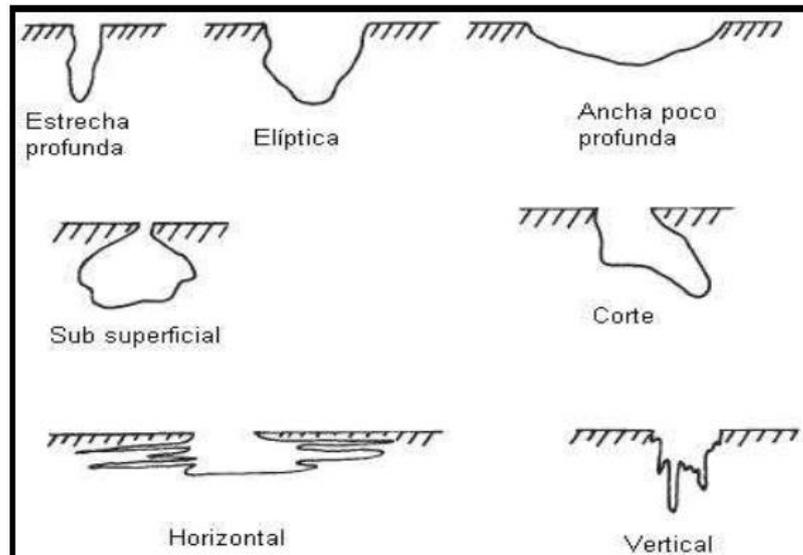
parte disminuye la sección original de la varilla, y por otra, hace perder la adherencia inicial y deseada entre el acero y el concreto. El óxido de hierro formado (herrumbre) ocupa un volumen aproximadamente cuatro veces mayor que el acero sin corroer [15].

A medida que se va formando herrumbre por la corrosión del acero, ésta ejerce una gran presión sobre el concreto que lo rodea. Las fuerzas son de tal magnitud dentro del concreto que provocan grietas que lo fragilizan, perdiendo éste sus buenas propiedades mecánicas; el proceso continua hasta que la herrumbre llega a aparecer en la superficie del concreto y se pueden observar las estructuras "manchadas". Los cloruros existen en dos formas básicas como cloruros libre y cloruros enlazados, los primeros representan elementos móviles en solución, mientras que los segundos representan iones relativamente fijos que interactúan con la pasta del cemento.

Una de las teorías que explica el mecanismo de ataque de los cloruros en el acero es la siguiente: Formación de compuesto: esta teoría plantea que los cloruros libres forman un compuesto soluble con los iones de fierro ($2\text{Fe}^{++} + 6\text{Cl}^- \rightarrow 2\text{FeCl}_3 + 4e^-$), alejándolos del ánodo, en busca de un pH alto y oxígeno disuelto, en estas condiciones los compuestos se disocian precipitando el hidróxido de fierro liberando los iones cloruros ($\text{FeCl}_3 + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + 3\text{Cl}^-$). En esta reacción los cloruros no se agotan, el proceso continúa formando óxidos o hidróxidos por la combinación del hierro con el oxígeno. Por lo tanto en vez de que la reacción se propague a lo largo del acero se desarrollan picaduras profundas en el acero.

Una vez limpia la superficie del metal de los compuestos de corrosión se puede identificar algunas de las siguientes formas según la norma ASTM G46-05.

Figura 2.6: Diferentes secciones en corrosión por picaduras. [08]

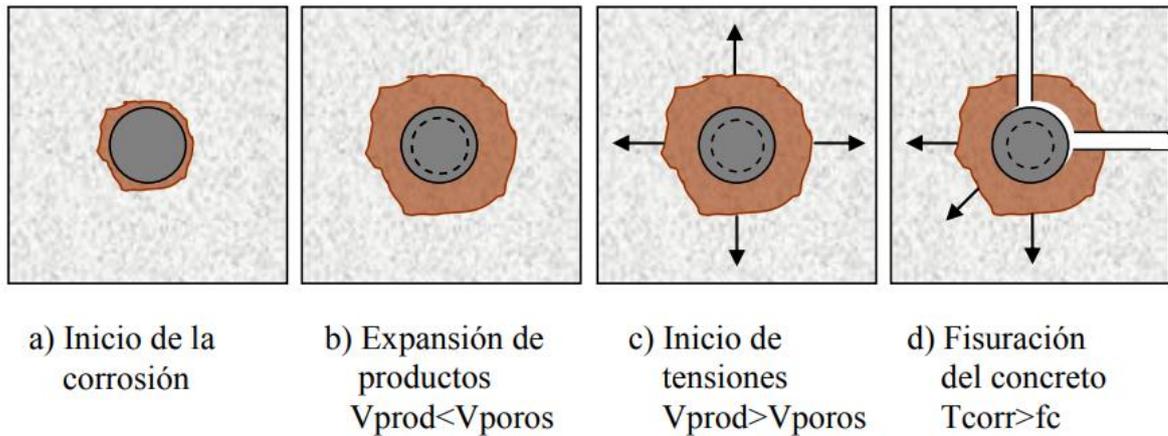


Fuente: Guzmán, O. (2008) – Influencia del agrietamiento del concreto en la corrosión.

De acuerdo con el modelo de Tutti (1982) el proceso de corrosión puede ser diferenciado claramente mediante dos períodos. En primer lugar, se tiene un proceso de iniciación el cual corresponde con el tiempo que tarda la carbonatación y/o los cloruros en provocar la despasivación. Posteriormente, se inicia el período de propagación donde propiamente el acero se corroe hasta llegar a un deterioro inaceptable de seguridad, funcionalidad o estética de la estructura.

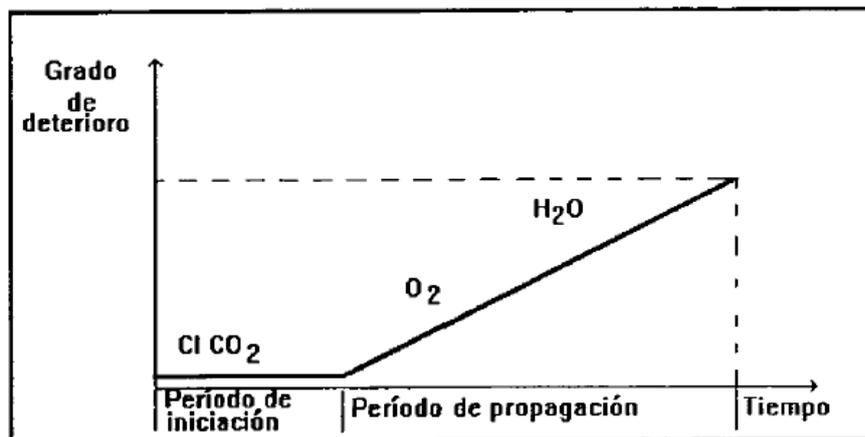
La corrosión progresiva del acero de refuerzo no solo es un daño en sí mismo del metal, si no que se traduce también en un deterioro irreversible del concreto donde la manifestación principal es el agrietamiento y desprendimiento del material. En la figura 1.7 y 1.8, se muestran esas etapas [16].

Figura 2.7. Proceso de fisuración del concreto (Weyers, R, 1998). [16]



Fuente: González, F. (2010). Realcalinización Electroquímica del Concreto reforzado carbonatado.

Figura 2.8 Tiempo de vida útil de una estructura. [09]



Fuente: Pérez, T. (2001). El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado.

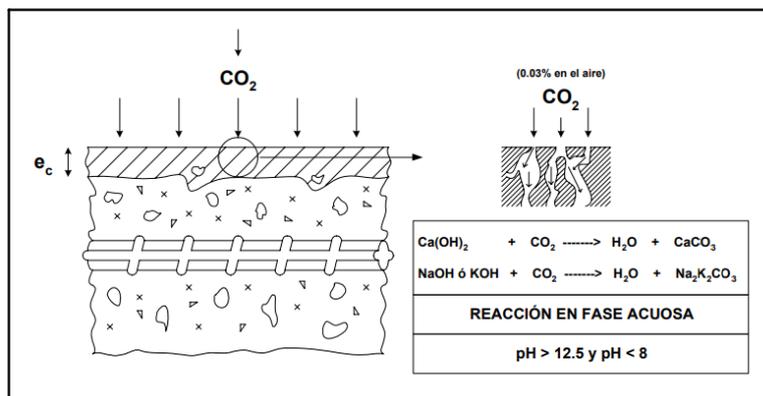
Los efectos de los cloruros sobre la corrosión son:

- Incrementan la conductividad de la mezcla, lo cual permite el movimiento de los iones hidroxilo (OH)⁻ entre el cátodo y el ánodo.
- Formación de ácido clorhídrico, lo cual produce el deterioro en la película de pasivación. Esto se presenta en el caso de que el grado de concentración de cloruros sea muy grande.

2.1.5.2. Corrosión por Carbonatación

La carbonatación en el concreto está dada por la modificación del pH que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio con alto pH (fuertemente alcalino) a carbonato de calcio, que tiene un pH más neutral.

Figura 2.9 Carbonatación del Concreto Armado



Fuente: Babiche, I. (2005) – Carbonatación del recubrimiento del concreto.

El concreto protege al acero de refuerzo ahogado contra la corrosión; esta protección se logra por la formación de una capa de óxido pasivo sobre la superficie del acero que permanece estable en el ambiente altamente alcalino. Cuando progresa la carbonatación hacia la profundidad del refuerzo, la capa de óxido protectora y pasivadora deja de ser estable. A este nivel de pH (por debajo de 9.5), es posible que empiece la corrosión, resultando finalmente en el agrietamiento y astillamiento del concreto. Aunque la difusión del dióxido de carbono a través de los poros de concreto pueda requerir años antes de que ocurra el daño por corrosión, puede ser devastadora y muy costosa de reparar.

Por las condiciones de proceso, la carbonatación se presenta como un frente paralelo a la superficie del material, el cual se desplaza en dirección perpendicular. El frente de avance de la carbonatación se

puede determinar a través de la aplicación de sustancias orgánicas como la fenolftaleína. [16]

Figura 2.10 Carbonatación del Concreto (prueba con fenolftaleína).



Fuente: Babiche, I. (2005) – Carbonatación del recubrimiento del concreto

2.1.5.3. Corrosión por Sulfatación (SO_2)

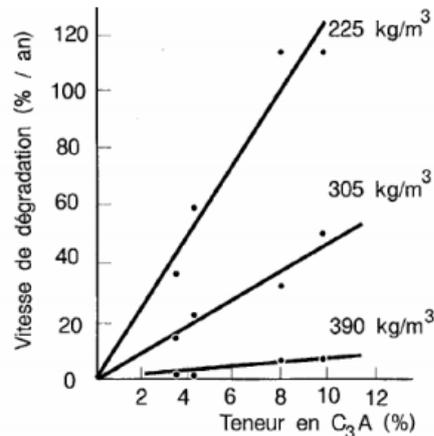
La degradación de los hormigones por la acción de los sulfatos se debe, principalmente, a los fenómenos de expansión relacionados con la cristalización de Etringita denominada “secundaria”.

Estudios previos manifiestan que el deterioro por concentraciones altas de dióxido de azufre (SO_2), se presenta de forma más rápida en este tipo de elementos (concreto reforzado), considerando que la herrumbre se formaba más rápidamente durante ciertas estaciones del año, donde el contenido de SO_2 era elevado, aun considerando que la presencia en volumen de dicho contaminante es pequeño (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 cemento portland formando la 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. Esta expansión produce grandes tensiones internas que, por lo general, no pueden ser

absorbidas por el material y desencadena una serie de fisuras y desprendimientos superficiales de material. [16]

Figura 2.11 Influencia del contenido de C_3A sobre la velocidad de degradación del hormigón.



Fuente Blanco, F. (2015) – Resistencia a los sulfatos.

2.1.6. Adiciones Puzolánicas

Las puzolanas son aquellos materiales silíceos o sílico-aluminoso que por sí mismo posee poco o ningún valor cementante. Sin embargo, en forma finamente molida y en presencia del agua sus constituyentes forman un material gelatinoso que fija el hidróxido de calcio, ($Ca(OH)$) liberado por la hidratación del cemento Portland, y producen compuestos estables (CSH), que sellan porosidades en el interior de la mezcla. Bajo el nombre de puzolanas se incluyen productos que son bastante diferentes en cuanto a su origen, estructura, composición química y mineralógica y que tienen en común lo que se denomina “actividad puzolánica”. Los materiales puzolánicos más conocidos son las tierras diatomáceas, cenizas volcánicas, las arcillas, tobas volcánicas, ceniza volante y la piedra pómez. [08]

2.1.6.1. Tierra de Diatomeas (Diatomita)

Las diatomitas son rocas sedimentarias y organogénicas, formadas por frústulas de diatomeas. Las frústulas están compuestas esencialmente por sílice amorfa (ópalo). Su acumulación se produce en medios sedimentarios extensos y poco profundos, en los que el agua contiene abundantes nutrientes y sílice. Además, debe tratarse de medios

protegidos de los aportes terrígenos, para que la acumulación sea suficientemente rica en restos silíceos. [17]

Las características y propiedades principales de las diatomitas se resumen a continuación:

- El color por lo regular es blanco aunque pueden estar coloreadas.
- Alta porosidad.
- Baja densidad.
- Capacidad muy alta para absorber líquidos.
- Capacidad abrasiva suave.
- Dureza (Mohs) 1,5 a 2.
- Conductividad térmica muy baja.
- Alta resistencia a la temperatura.
- Químicamente Inerte

Tabla 2.4. Composición química de Diatomitas en el Perú. [17]

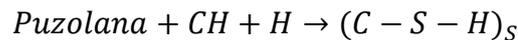
Tipo de yacimiento	LACUSTRE			MARINO		
	Región	Arequipa	Ayacucho	Tacna	Piura	Ica
SiO ₂		84.89	85.78	68.00	65.50	73.80
Al ₂ O ₃		2.62	2.71	8.15	2.00	9.70
Fe ₂ O ₃		1.04	1.22	3.00	1.30	3.00
CaO		0.94	0.64	2.00	9.60	2.90
MnO		0.03	0.01	0.56	-	-
MgO		0.50	0.55	2.57	3.30	1.20
TiO ₂		-	0.14	0.31	-	-
Na ₂ O		0.92	0.26	1.38	1.90	1.80
P ₂ O ₅		0.01	0.02	0.33	-	-
K ₂ O		0.58	0.39	1.45	0.50	1.30
PXC		7.34	8.29	11.20	14.75	4.66

PXC: Perdida por calcinación

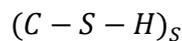
Fuente: Ramírez, J. (2010) – Diatomitas en el Perú, características y aplicaciones.

2.1.6.2. Mecanismos de Reacción de la Puzolana en concreto

Cuando una puzolana se usa en combinación con el cemento portland, este durante su hidratación, es la fuente de hidróxido cálcico que reacciona con los aluminosilicatos presentes en la puzolana para formar compuestos cementantes. La reacción puzolánica puede representarse mediante:

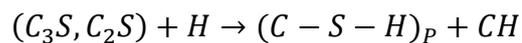


Donde:



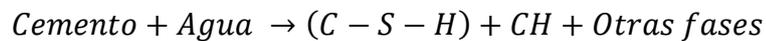
: *Silicatos de calcio hidratados de estequiometría no definida*

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



Reacciones Hidráulicas del cemento

Hidratación del cemento Portland



Donde:

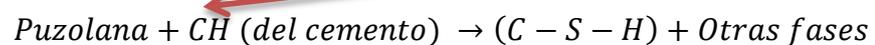
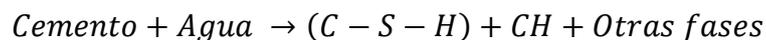
➤ *C - S - H: Silicato de calcio*

"Pegamento" que mantiene todo unido y principalmente responsable de la Resistencia y la impermeabilidad del concreto

➤ *C - H: Hidróxido de calcio*

No tiene valor de cementación, es de fácilmente lixiviado y participa en el ataque de los sulfatos

Reacciones Puzolánicas



Donde:

➤ *C - S - H: Silicato de calcio*

Se obtiene más "Pegamento" y más Resistencia y por lo tanto mayor impermeabilidad del concreto. Además como su composición son esferas muy pequeñas tapan los poros del concreto.

Las propiedades técnicas de los materiales con adiciones puzolánicas, se derivan, principalmente, de tres características de la reacción puzolánica:

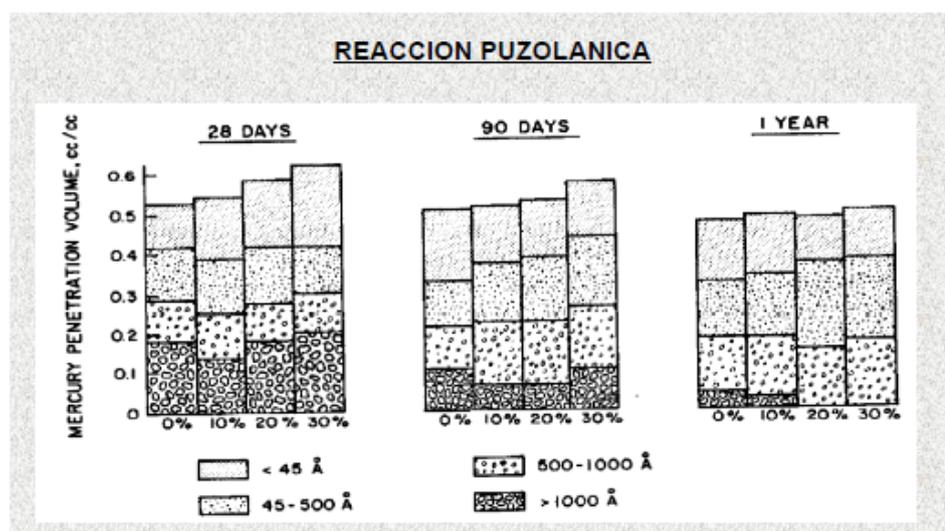
1. Es una reacción lenta, al contrario que la reacción de hidratación del cemento que es rápida, por tanto, la velocidad de liberación del calor y el desarrollo de resistencias serán procesos más lentos

2. Es una reacción que consume hidróxido de calcio en vez de generarlo, lo que es importante para la durabilidad de las pastas hidratadas en ambientes ácidos.

3. Al producirse en un tiempo posterior los productos de reacción rellenan, de forma muy eficiente, los espacios capilares que quedan después de la hidratación de los componentes del cemento.

Así se mejora la impermeabilidad y la resistencia mecánicas del sistema (menor porosidad). [18]

Figura 2.12 Cambios en función del tiempo, en la distribución del tamaño de poro de pastas de cemento con contenido variable de puzolana. [18]



Fuente: Blanco, F. (2014) – Reacción Puzolánica.

(i) Refinamiento de tamaño de Poro:

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».

(ii) El refinamiento de tamaño de grano.

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. El proceso de transformación de un sistema que contiene granos grandes de un componente en un producto que contiene los granos más pequeños se denomina «refinamiento del tamaño de grano».

Tanto el proceso de refinamiento del tamaño del poro como de grano dan lugar a que aumente la resistencia de la pasta de cemento. [18]

Desde el punto de vista de la Impermeabilidad y Durabilidad

Los efectos de la reacción del puzolánica son probablemente más importantes en el hormigón que en la pasta de cemento hidratada.

La permeabilidad del hormigón, generalmente, es más alta que la de la pasta de cemento debido a las microgrietas que se producen en la zona de la transición.

Se ha sugerido que los procesos de refinamiento del tamaño del poro y del tamaño de grano fortalecen la zona de la transición, reduciéndose la microfisuración y aumentando la impermeabilidad del hormigón. [18]

2.1.7. Evaluación de la corrosión en estructuras de concreto

Debido a que la corrosión en el concreto reforzado es de tipo electroquímico es posible estudiarla con métodos afines como: inspección visual, media celda, resistencia a la polarización lineal (RPL), impedancia electroquímica o ruido electroquímico. La selección de las técnicas en un estudio específico depende del tipo de corrosión y de consideraciones económicas.

2.1.7.1. Inspección visual

La ventaja principal de este método radica en que es accesible y sirve para evaluar en cualquiera que sea la condición de la estructura, es confiable y no se requiere de una inversión económica alta.

2.1.7.2. El método de la Media Celda

Este método estima la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo en concreto interpretando su potencial de corrosión. Sin embargo este potencial no puede ser medido directamente, pues al intentarlo es necesaria una segunda terminal cuyo potencial absoluto se desconoce, por esta razón, se adopta el electrodo normal de hidrógeno (ENH) al cual se le ha asignado un valor de 0 volts.

En estos términos el ENH resulta ser un electrodo de referencia, para lo cual su potencial de equilibrio en la reacción óxido-reducción debe ser constante. Existen diferentes electrodos de referencia que pueden emplearse para determinar la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo: plata / cloruro de plata (Ag/AgCl), mercurio / cloruro de mercurio (Hg/HgCl , Calomel) y cobre / sulfato de cobre (Cu/CuSO_4).

[11]

2.2. MATERIAL

2.2.1. MUESTRA

Se elaboraron probetas de concreto con dos tipos de cementos portland, un total de 48 probetas cilíndricas con las relaciones de agua/cemento = 0.60, 0.65 y 0.70. Las probetas cilíndricas de concreto fueron de 4"x8" pulgadas. A las probetas se le incorporó 0%, 5%, 10% y 20% en peso de tierra de diatomeas, en la siguiente tabla 2.1 se muestra la información de las dosificaciones de cada cemento utilizado.

Tabla 2.5: Probetas a elaborarse con diferente relaciones A/C y porcentajes de Diatomita.

TIERRAS DE DIATOMEAS (DIATOMITA)					
TIPO DE CEMENTO	RELACION A/C	PORCENTAJE DE DIATOMITA			
		0%	5%	10%	20%
CEMENTO TIPO I	0.60	2	2	2	2
	0.65	2	2	2	2
	0.70	2	2	2	2
CEMENTO EXTRAFUERTE Ico	0.60	2	2	2	2
	0.65	2	2	2	2
	0.70	2	2	2	2

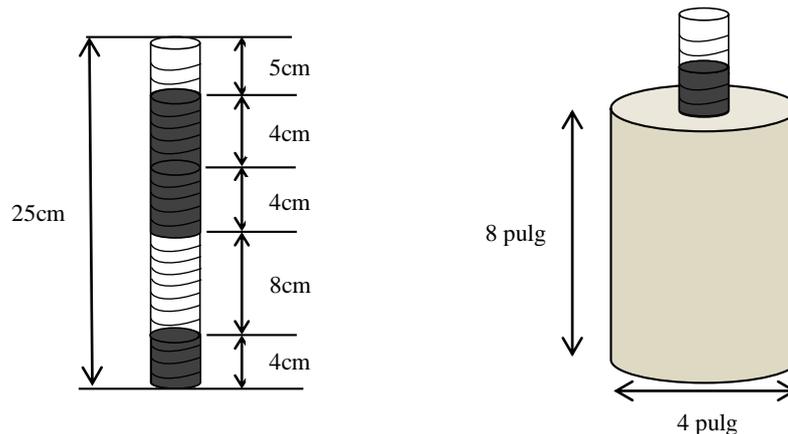
Fuente: Elaboración Propia.

Las probetas se elaboraron con cemento portland tipo I y cemento portland extraforte ICo producido por la empresa Pacasmayo y con tierra de diatomeas que se obtuvo de la Planta INSUMEX (LIMA-PERÚ).

Se utilizó agregado grueso y fino de canteras que son propios de la provincia donde se realizó el proyecto. Se utilizó agua potable, cuyos iones y características fisicoquímicas están dentro de los rangos permitidos por la norma de diseño de mezcla ASTM C1602/C1602M. Finalmente, se utilizará un acero de baja aleación, ASTM A615, grado 60 y diámetro de 5/8 de pulgada para refuerzo de concreto.

En cada probeta se colocó una varilla de acero ASTM A615 como electrodo de trabajo con una longitud de 25 cm los cuales estarán en la parte céntrica de la probeta lo cual se muestra en la figura 2.1 y estas probetas se crearon específicamente para esta tesis procurando crear las condiciones reales del acero en las edificaciones

Figura 2.13: Dimensión del acero usado y probetas a utilizar



Fuente: Elaboración Propia.

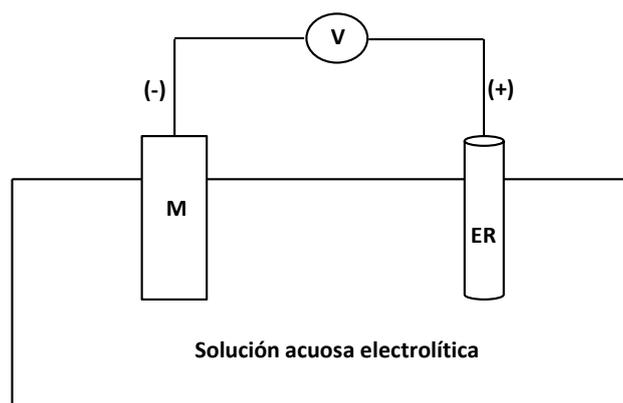
2.2.2. INSTRUMENTOS Y MATERIALES PARA LA CELDA GALVÁNICA

- ✓ Un Voltímetro digital
- ✓ Electrodo de Referencia (Cu/CuSO₄) ($\varnothing_i = 27\text{mm}$)
- ✓ Cloruro de Sodio (NaCl)
- ✓ Cristales de Sulfato de cobre (CuSO₄)
- ✓ Un recipiente de plástico para solución acuosa electrolítica

2.3. MÉTODOS

Antes de proceder a medir los potenciales de la media celda, primero verificamos que el electrodo de referencia nos dé una lectura correcta del potencial de corrosión con respecto a otro metal y para eso utilizamos una celda galvánica que consta de un metal que en este caso es el Zinc por ser un metal activo y más fácil de conseguir, un voltímetro digital, una solución acuosa electrolítica (NaCl al 3.0%) capaz de la transferencia de electrones en el medio, un recipiente para la colocación de la solución y un electrodo de referencia Cu/CuSO₄. En la siguiente figura 2.2 se muestra el montaje de la celda galvánica.

Figura 2.14: Esquema de la celda galvánica.



Fuente: Elaboración Propia.

Se coloca la solución en el recipiente para luego sumergir parcialmente el metal zinc y el electrodo de referencia, después se conecta los cables conectores del voltímetro al metal Zinc y al electrodo de referencia, el voltímetro debe indicar una diferencia de potenciales de la reacción catódica y la reacción anódica igual a +1.10 voltios.

El objetivo principal del montaje de la celda galvánica es el de obtener que el electrodo de referencia tome valores correctos al medir potenciales en el método de la media celda.

El procedimiento para la evaluación de la corrosión del acero de refuerzo embebido en concreto está contenido en la Norma ASTM C 876-15, la cual establece criterios que relacionan al potencial de corrosión y su condición de corrosión. [7]

2.3.1. Método de la Media Celda (ASTM C 876-15)

1. Espaciamiento entre medidas:

Cuando no está pre-definido un espaciamiento mínimo entre medidas en la superficie del miembro de concreto, es de valor pequeño para tomar dos medidas desde virtualmente el mismo punto. Contrariamente, las medidas tomadas con espaciamiento muy ancho tampoco pueden detectar la actividad corrosiva que está presente ni resulta en la acumulación adecuada de datos para evaluación. El espaciamiento será entonces consistente con el elemento que está siendo investigado y el proyectado uso final de las mediciones.

2. Conexión Eléctrica para el Acero:

2.1. Haga una conexión eléctrica directa con el acero de refuerzo, por medio de una compresión tipo abrazadera o por soldadura, a una varilla saliente. Para asegurar una conexión de resistencia eléctrica baja, raspe o cepille la varilla antes de conectar al acero de refuerzo. En algunos casos, esta técnica puede requerir la remoción de alguna parte de concreto para exponer el acero de refuerzo. Conecte eléctricamente el acero de refuerzo al terminal positivo del voltímetro.

2.2. El acoplamiento puede ser directamente al acero de refuerzo, excepto en casos donde esto pueda ser documentado que un miembro de acero expuesto está directamente adherido al acero de refuerzo. Algunos miembros, tales como presas de expansión, placas, trabajos elevados y parapeto de rieles pueden no estar directamente ligados al acero de refuerzo y entonces puede producir la invalidez de las lecturas. La continuidad eléctrica de los componentes del acero con el acero de refuerzo puede ser establecida mediante la medida de la resistencia entre los componentes del acero separados extensamente sobre la cubierta. Donde la medida de ensayos duplicados es continuada sobre un largo período de tiempo, idénticos puntos de conexión deben ser usados cada vez, para una medida dada.

3. Conexión Eléctrica de la Media Celda: Una conexión eléctrica al final del cable conductor de la media celda y el otro extremo del mismo cable al terminal negativo del voltímetro.

4. Pre-humedecimiento de la Superficie de Concreto:

4.1. Bajo ciertas condiciones, la superficie de concreto o un material de sobrecapa, o ambas, pueden ser pre-humedecidas por cualquiera de los métodos descritos en la Norma para decrecer la resistencia eléctrica del circuito.

4.2. Un ensayo para determinar la necesidad de pre-humedecer puede ser hecho así:

4.2.1 Coloque la media celda en la superficie de concreto y manténgala sin moverse.

- 4.2.2** Observe el voltímetro para una de las condiciones siguientes:
- a) El valor medido del potencial de media celda no cambia o fluctúa con el tiempo.
 - b) El valor medido del potencial de media celda cambia o fluctúa con el tiempo.
- 4.2.3** Si la condición (a) es observada, el pre-humedecimiento de la superficie de concreto no es necesario. Sin embargo, si la condición (b) es observada, el pre-humedecimiento es requerido para una cantidad de tiempo en la cual la lectura del voltaje es estable (± 0.02 V) observada por al menos 5 minutos. Si el pre-humedecimiento no puede obtener la condición (a), la resistencia eléctrica del circuito es demasiado grande para obtener medidas validas de potenciales de media celda del acero o corrientes erradas desde un sistema de tracción de corriente directa cercana u otra fluctuación de corriente directa, tales como soldadura de arco, está afectando la lectura. En ambos casos, el método de media celda no debe ser usado.

5. Mediciones Horizontales y Verticales bajo el agua (Underwater)

- 5.1.** Las medidas de potencial detectan la actividad corrosiva pero no necesariamente la localización de la actividad corrosiva. La localización precisa de la actividad corrosiva requiere conocimiento de la resistencia eléctrica del material entre la media celda y el acero corroído. Mientras que las mediciones bajo el agua sean posibles, los resultados con respecto a la localización de corrosión pueden ser interpretados muy cuidadosamente. Frecuentemente no es posible localizar con precisión puntos de actividad corrosiva bajo el agua en ambientes de agua salada porque las lecturas de potencial a lo largo del elemento aparecen uniformes. Sin embargo, la magnitud de las lecturas sirve para indicar que ya sea o no, la actividad corrosiva está ocurriendo. Tener cuidado durante todas las mediciones bajo el agua que la media celda no sea contaminada y que ninguna otra parte que la punta porosa del electrodo de media celda con sulfato de cobre-cobre está en contacto con el agua.

El comportamiento horizontal y vertical ascendente de las mediciones es exactamente como en las mediciones verticales descendentes. Sin embargo, asegurar adicionalmente que la solución de sulfato de cobre-cobre en la media celda hace contactos eléctricos simultáneos con el tapón poroso y la varilla de cobre todo el tiempo.

6. Registro de los Valores de Potencial de Media Celda

- 6.1.** Registre los potenciales eléctricos de media celda con una precisión de 0.01 V. Reporte todos los potenciales de media celda en voltios y corríjalos por temperatura si la temperatura de la media celda esta fuera del rango de 72 ± 10 °F (22.2 ± 5.5 °C). [7]

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan los resultados obtenidos luego de realizar el ensayo de compresión (ASTM C 39 y ASTM C 31) y el ensayo de la Media Celda (ASTM C876-15) a probetas de concreto a base de cemento portland tipo I y cemento portland extraforte ICo con diferentes adiciones porcentuales de tierra de diatomeas.

3.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

En las siguientes figuras se presentan los resultados de resistencia a la compresión a 28 días de curado en función al porcentaje de adición de tierras de diatomeas en probetas cilíndricas a base de cemento portland tipo I y cemento portland extraforte ICo con tierras de diatomeas a diferentes relaciones agua/cemento.

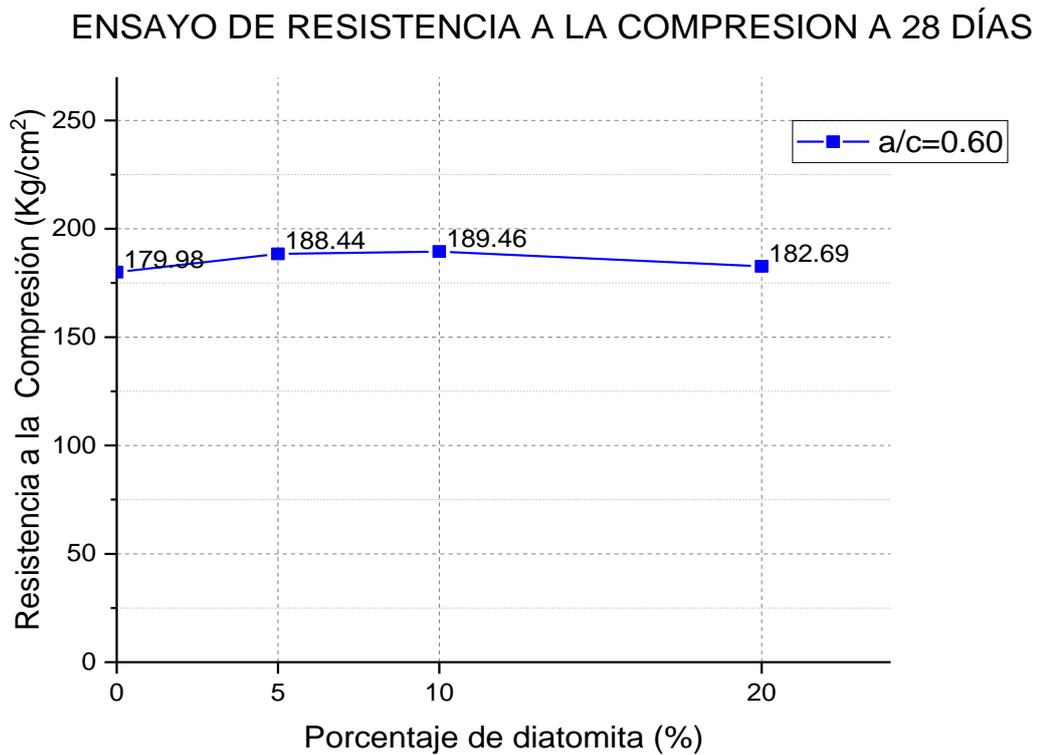
En la figura 3.1 se representa la relación de $a/c = 0.60$ elaborado con cemento portland tipo I, y a medida que se incrementa el porcentaje hasta un 10% en peso de adición de tierras de diatomeas la resistencia a la compresión tiene una tendencia casi similar que la del 5%, pero a medida que se sigue incrementando el porcentaje de diatomita, hasta de 20%, observamos que disminuye linealmente.

El comportamiento casi similar de la resistencia a la compresión del concreto a 5% se debe a que la diatomita ha reaccionado con suficiente hidróxido de calcio del cemento para alcanzar a la mezcla de 10% de diatomita, con dicha resistencia.

Esta tendencia decreciente de la resistencia a compresión se debe a que la diatomita al ser una puzolana tiene una reacción o fraguado lento a diferencia del cemento que es rápida, es decir que la adición de 20% tiene una tendencia decreciente en cuanto a la resistencia debido a que todas las partículas de diatomita aún no han sido hidratadas y no reaccionan con el hidróxido de calcio presente en el cemento.

Es importante señalar que los incrementos de la resistencia a la compresión se dan a periodos de tiempos muy largos por lo que a edades tempranas no se observa dicho efecto en el concreto y que la permeabilidad depende de la hidratación de las partículas de los compuestos.

Figura 3.1: Ensayo de Resistencia a la Compresión a 28 días de relación $a/c = 0.60$



Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab)

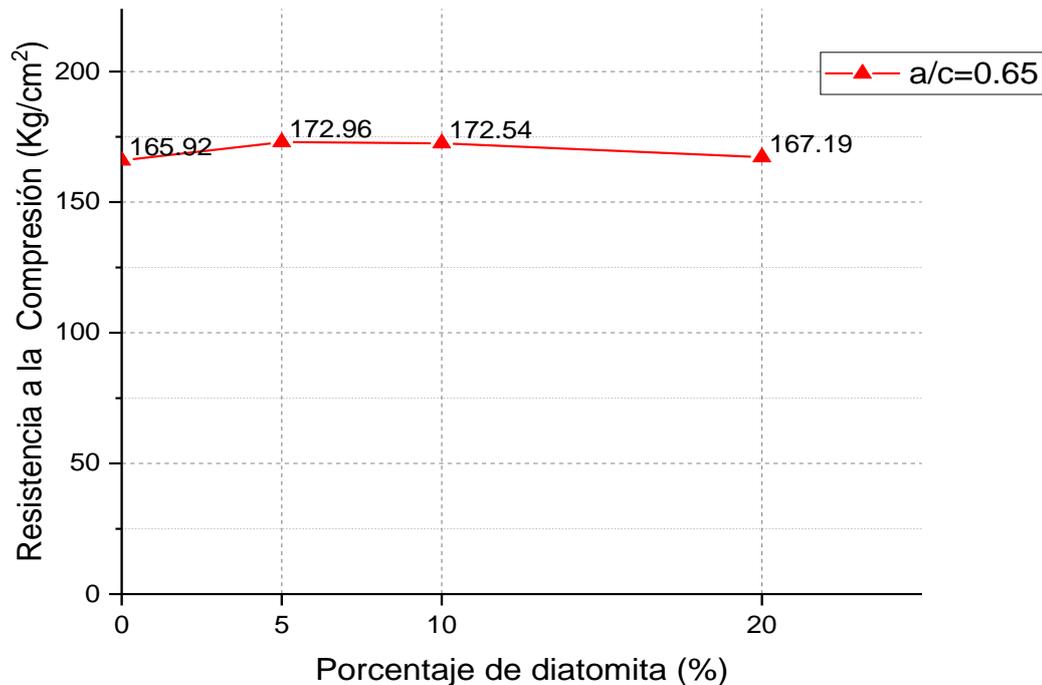
En la figura 3.2 se representa gráficamente los resultados para la relación de $a/c = 0.65$ elaborado con cemento portland tipo I. Se observa que a medida que se incrementa el porcentaje hasta un 10% de adición de diatomita en peso, la resistencia a la compresión tiene una tendencia similar a la mezcla de 5% de adición de diatomita, pero a medida que se sigue incrementando el porcentaje de diatomita, hasta el 20%, observamos que disminuye linealmente.

Este comportamiento decreciente de la resistencia se debe a la actividad puzolánica de la diatomita que tiene una reacción lenta, es decir que la adición de 20% tiene una

tendencia decreciente en cuanto a la resistencia debido a que todas las partículas de diatomita aún no han sido hidratadas y no reaccionan con el hidróxido de calcio para una mayor resistencia.

Figura 3.2: Ensayo de Resistencia a la Compresión a 28 días de relación $a/c = 0.65$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION A 28 DÍAS



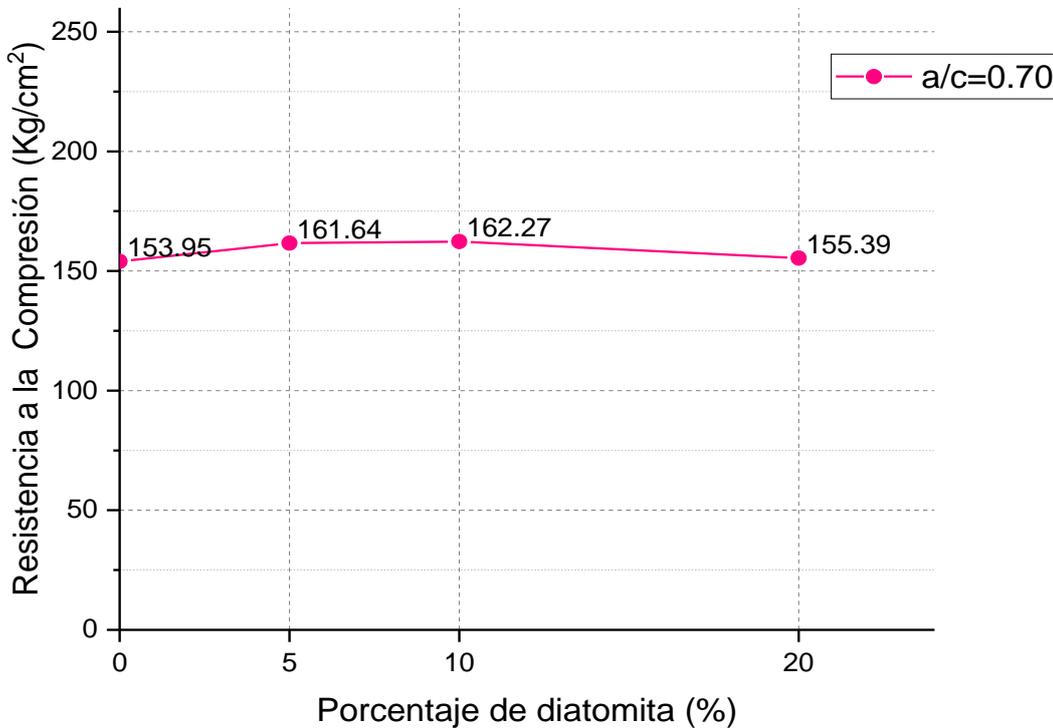
Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.3 se representa la relación de $a/c = 0.70$ elaborado con cemento portland tipo I, y a medida que se incrementa el porcentaje hasta un 10% en peso de adición de tierras de diatomeas la resistencia a la compresión tiene una tendencia casi similar que la del 5%, pero a medida que se sigue incrementando el porcentaje de diatomita, hasta de 20%, observamos que disminuye linealmente.

Esta tendencia decreciente de la resistencia a compresión se debe a que la diatomita al ser una puzolana tiene una fraguado lento por tanto el desarrollo de resistencia será un proceso que aumentará con el tiempo, es decir que la adición de 20% tiene una tendencia decreciente en cuanto a la resistencia debido a que todas las partículas de diatomita aún no han sido hidratadas y no reaccionan con el hidróxido de calcio presente en el cemento.

Figura 3.3: Ensayo de Resistencia a la Compresión a 28 días de relación $a/c = 0.70$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION A 28 DÍAS



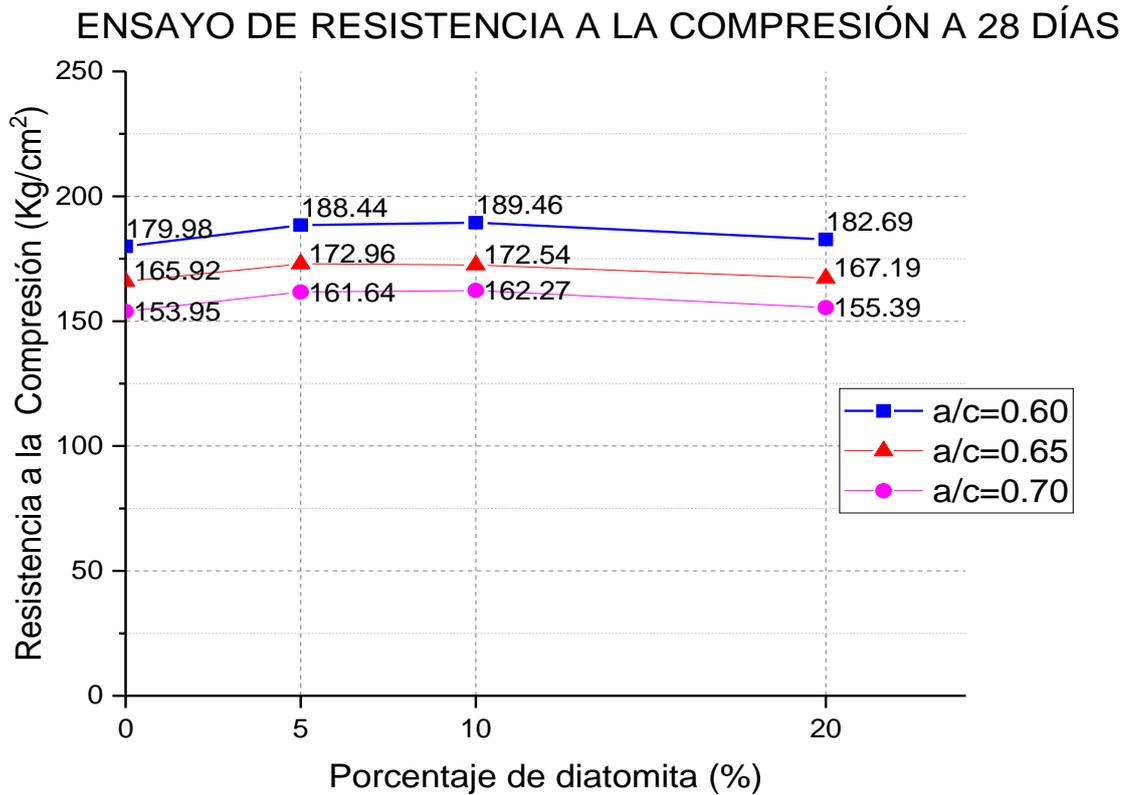
Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.4 se representa todos los diseños de mezcla que se elaboró con cemento portland tipo I y se muestra una clara diferencia de resistencia a la compresión entre todos ellos. Se aprecia que la relación de $a/c = 0.60$ tiene más resistencia que todos debido a que necesita menos agua y por ende tiene menos porosidad que las demás relaciones.

Se puede apreciar, también, que a mayor relación a/c , menor es la resistencia a la compresión, lo cual es lógico dado que las relaciones a/c mayores, tendrán menor cantidad de cemento en la mezcla.

En las tendencias de las curvas se pueden notar que a medida que se incrementa la adición porcentual de diatomita al cemento, estas pierden resistencia, además se aprecia los que tienen una resistencia similar a la mezcla del 10%, son las adiciones al 5% de diatomita en todas las relaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70. Se aprecia que en todos los porcentajes de adiciones de diatomita, sus resistencias son mayores a la mezcla de control como se aprecia en la figura 3.4.

Figura 3.4: Ensayo de Resistencia a la Compresión a 28 días



Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.5 se representa la relación de $a/c = 0.60$ elaborado con cemento portland extraforte ICo, y a medida que se incrementa el porcentaje hasta un 10% en peso de adición de tierras de diatomeas la resistencia a la compresión tiene una tendencia casi similar que la del 5%, pero a medida que se sigue incrementando el porcentaje de diatomita, hasta de 20%, observamos que disminuye linealmente.

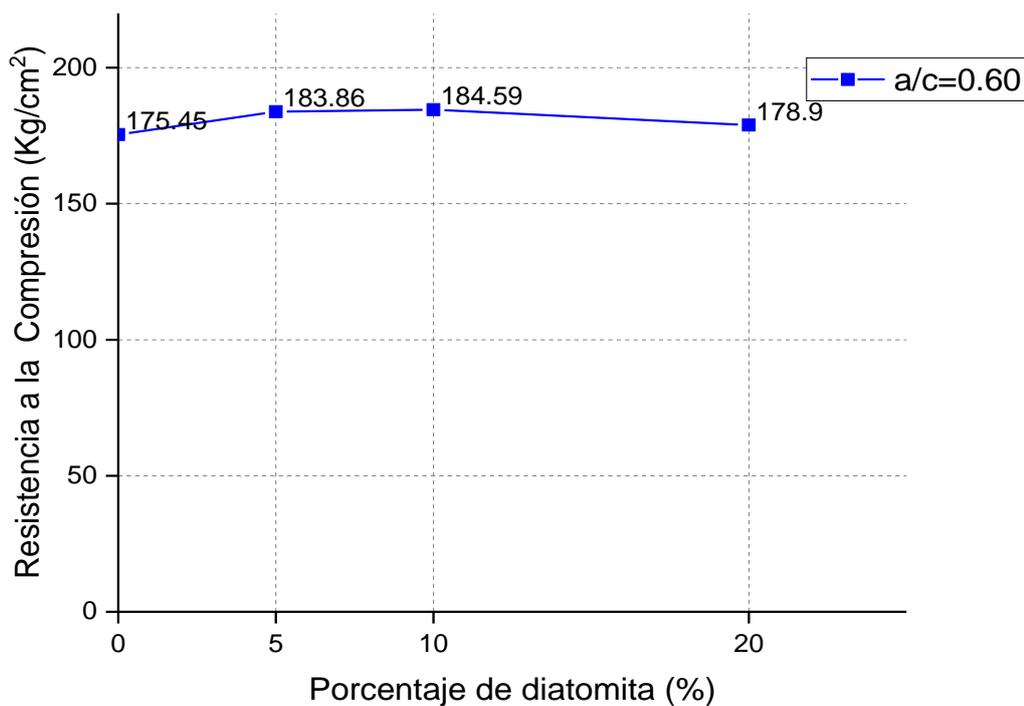
El comportamiento casi similar de la resistencia a la compresión del concreto a 5% se debe a que la diatomita ha reaccionado con suficiente hidróxido de calcio del cemento para alcanzar a la mezcla de 10% de diatomita, con dicha resistencia.

Esta tendencia decreciente de la resistencia a compresión se debe a que la diatomita al ser una puzolana tiene una reacción o fraguado lento a diferencia del cemento que es rápida, es decir que la adición de 20% tiene una tendencia decreciente en cuanto a la resistencia debido a que todas las partículas de diatomita aún no han sido hidratadas y no reaccionan con el hidróxido de calcio presente en el cemento.

Es importante señalar que los incrementos de la resistencia a la compresión se dan a periodos de tiempos muy largos por lo que a edades tempranas no se observa dicho efecto en el concreto.

Figura 3.5: Ensayo de Resistencia a la Compresión a 28 días de relación $a/c = 0.60$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION A 28 DÍAS

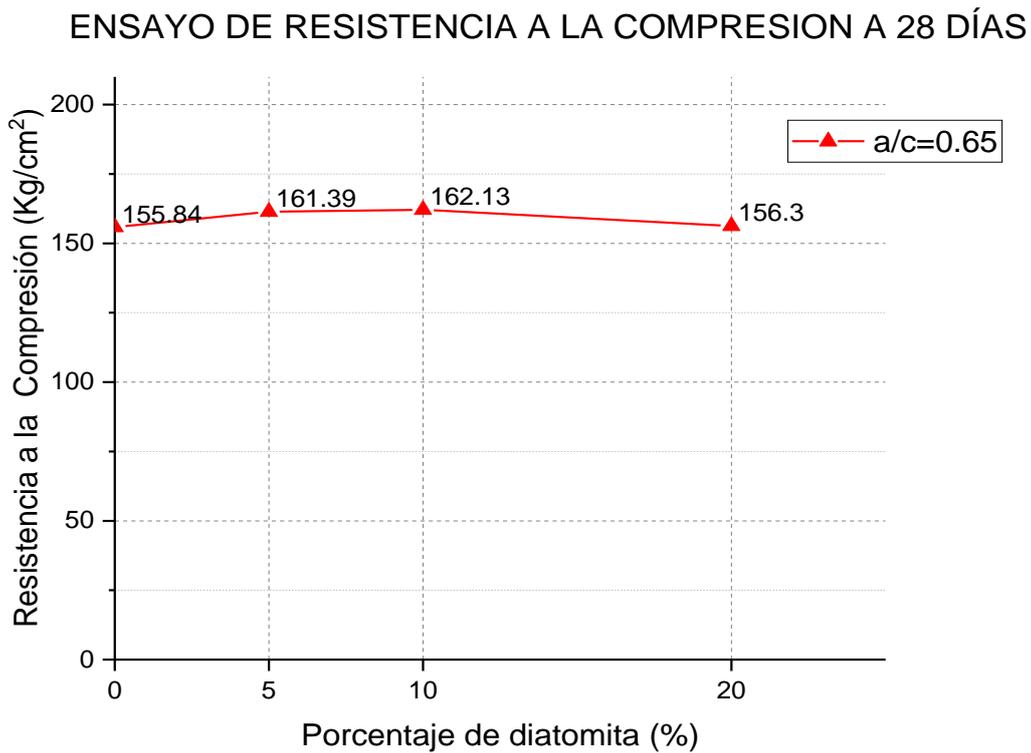


Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.6 se representa gráficamente los resultados para la relación de $a/c = 0.65$ elaborado con cemento portland extraforte Ico. Se observa que a medida que se incrementa el porcentaje hasta un 10% de adición de diatomita en peso, la resistencia a la compresión tiene una tendencia similar a la mezcla de 5% de adición de diatomita, pero a medida que se sigue incrementando el porcentaje de diatomita, hasta el 20%, observamos que disminuye linealmente.

Esta tendencia decreciente de la resistencia a compresión se debe a que la diatomita al ser una puzolana tiene una fraguado lento por tanto el desarrollo de resistencia será un proceso que aumentará con el tiempo, es decir que la adición de 20% tiene una tendencia decreciente en cuanto a la resistencia debido a que todas las partículas de diatomita aún no han sido hidratadas y no reaccionan con el hidróxido de calcio presente en el cemento.

Figura 3.6: Ensayo de Resistencia a la Compresión a 28 días de relación $a/c = 0.65$

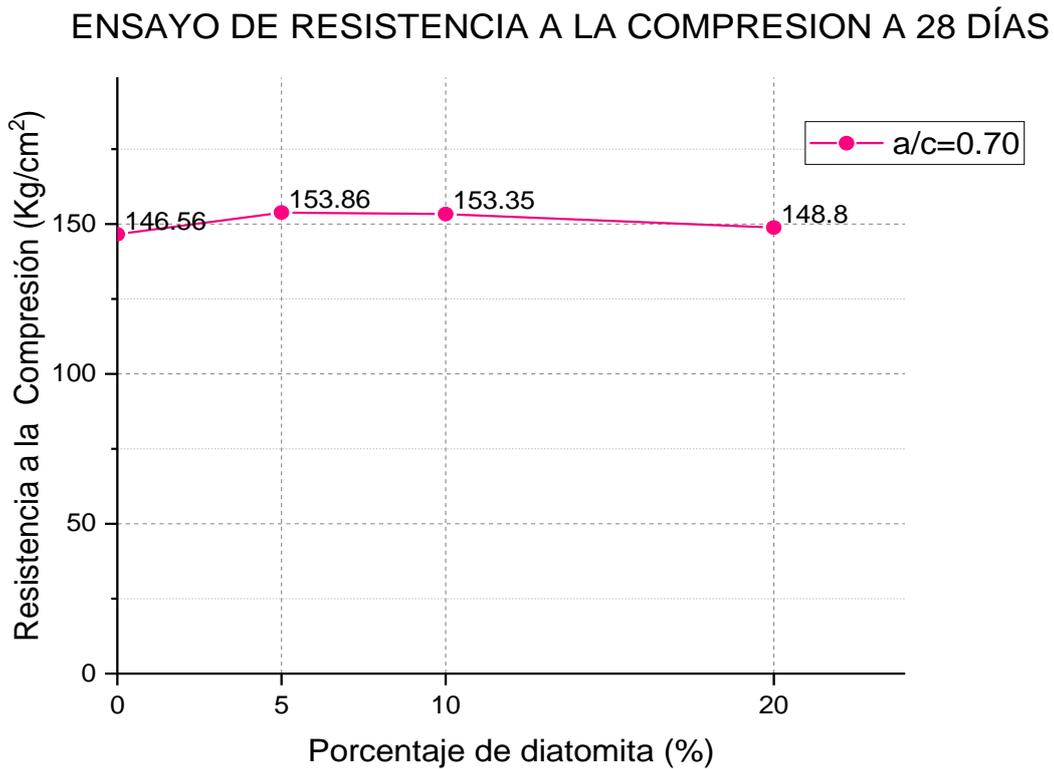


Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.7 se representa la relación de $a/c = 0.70$ elaborado con cemento portland extraforte Ico, y a medida que se incrementa el porcentaje hasta un 10% en peso de adición de tierras de diatomeas la resistencia a la compresión tiene una tendencia casi similar que la del 5%, pero a medida que se sigue incrementando el porcentaje de diatomita, hasta de 20%, observamos que disminuye linealmente.

Esta tendencia decreciente de la resistencia a compresión se debe a que la diatomita al ser una puzolana tiene una reacción o fraguado lento a diferencia del cemento que es rápida, es decir que la adición de 20% tiene una tendencia decreciente en cuanto a la resistencia debido a que todas las partículas de diatomita aún no han sido hidratadas y no reaccionan con el hidróxido de calcio presente en el cemento.

Figura 3.7: Ensayo de Resistencia a la Compresión a 28 días de relación $a/c = 0.70$



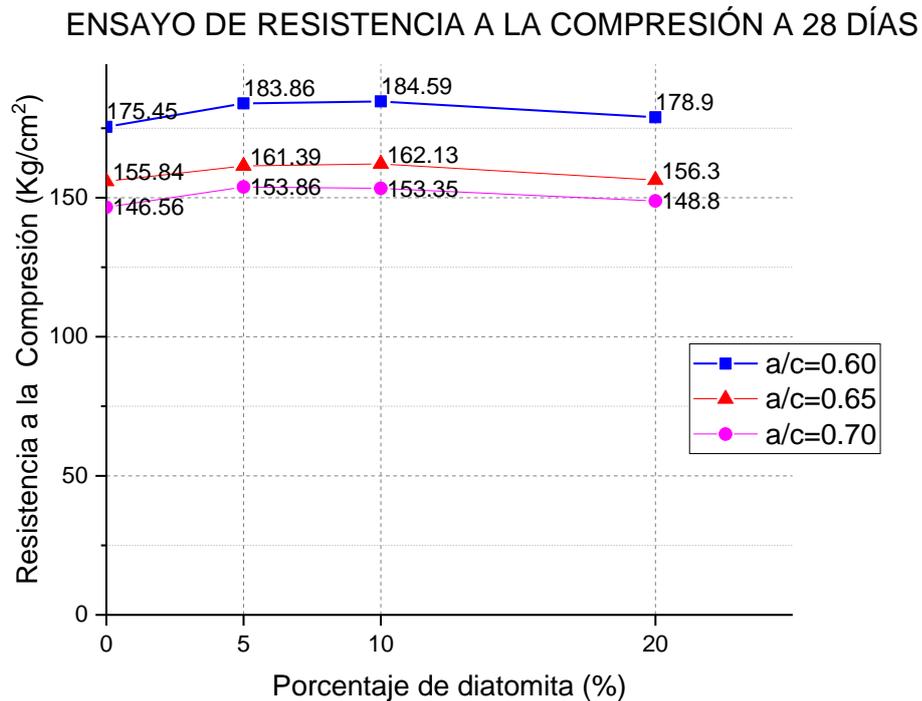
Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.8 se representa todos los diseños de mezcla que se elaboró con cemento portland tipo ICo y se muestra una clara diferencia de resistencia a la compresión entre todos ellos. Se aprecia que la relación de $a/c = 0.60$ tiene más resistencia que todos debido que necesita menos agua y por ende tiene menos porosidad que las demás relaciones.

Se puede apreciar, también, que a mayor relación a/c , menor es la resistencia a la compresión, lo cual es lógico dado que las relaciones a/c mayores, tendrán menor cantidad de cemento en la mezcla.

En las tendencias de las curvas se pueden notar que a medida que se incrementa la adición porcentual de diatomita al cemento, estas pierden resistencia, además se aprecia los que tienen una resistencia similar a la mezcla del 10%, son las adiciones al 5% de diatomita en todas las relaciones a/c 0.60, 0.65 y 0.70. Se aprecia que en todos los porcentajes de adiciones de diatomita, sus resistencias son mayores a la mezcla de control como se aprecia en la figura 3.8.

Figura 3.8: Ensayo de Resistencia a la Compresión a 28 días



Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

3.2. ENSAYO DE LA MEDIA CELDA

En las siguientes figuras se aprecian las gráficas de los comportamientos de potenciales de corrosión (E_{corr}) de los aceros embebidos en concreto con distintos porcentajes de adición de diatomita al cemento, los cuales fueron sometidos a un medio agresivo acuoso de Cloruro de Sodio al 3.5% simulando el agua de mar durante 105 días (14 semanas). Las probetas estuvieron sumergidas en intervalos de 07 días, luego se exponían al medio ambiente y se tomaban lecturas a los 07 y 14 días de secado.

3.2.1. Cemento Tipo I – 07 Días de secado.

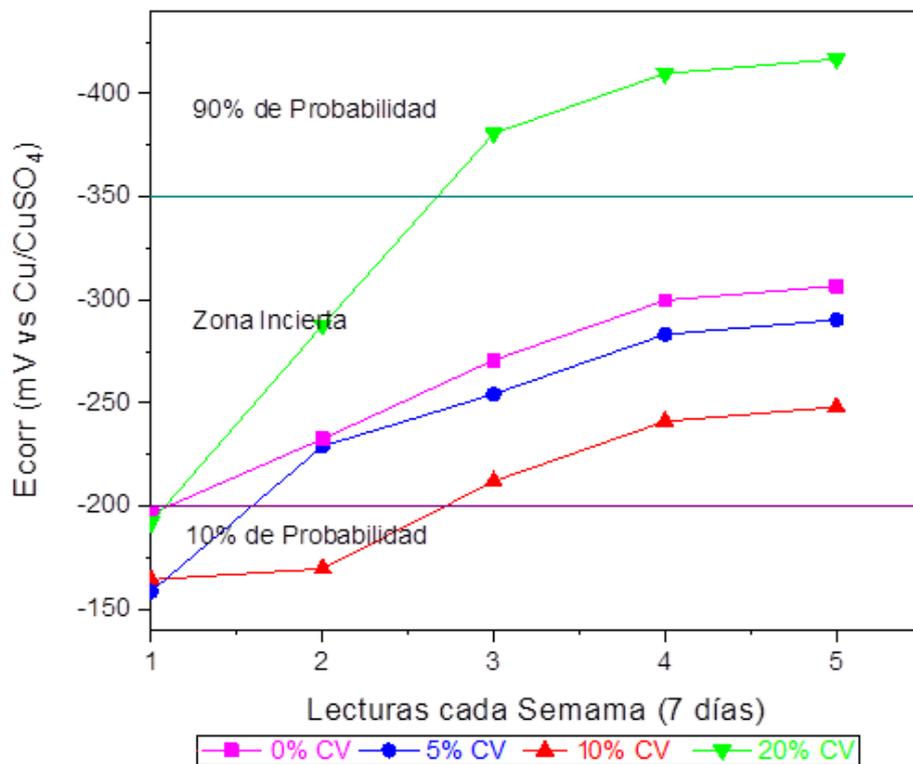
En la figura 3.9 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (E_{corr}) de los diferentes porcentaje de adición de diatomita con relación $a/c = 0.60$ con cemento portland Tipo I, durante las semanas de exposición de las probetas se observa que los potenciales del 0%, 5% y 10% 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 18 días el porcentaje del 20% varían entre los -350 a -421.25 mV que de acuerdo a la norma ASTM C876 que se tiene una probabilidad de 90% que se esté corroyendo el acero, lo cual no significa que el acero se está corroyendo sino que el medio en el que se encuentra terminaría siendo perjudicial para el acero embebido.

Entre los diferentes porcentajes de adición de diatomita, el que más influyó en el potencial del acero embebido en concreto, fue al que se le incorporó 10% de diatomita, esta mezcla tiene los potenciales menos negativos y debido a la acción del hidróxido de calcio del cemento con la diatomita, y además que las puzolanas obtienen mejores propiedades a lo largo del tiempo.

Figura 3.9: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.60

Potenciales de Corrosion a relación a/c = 0.60



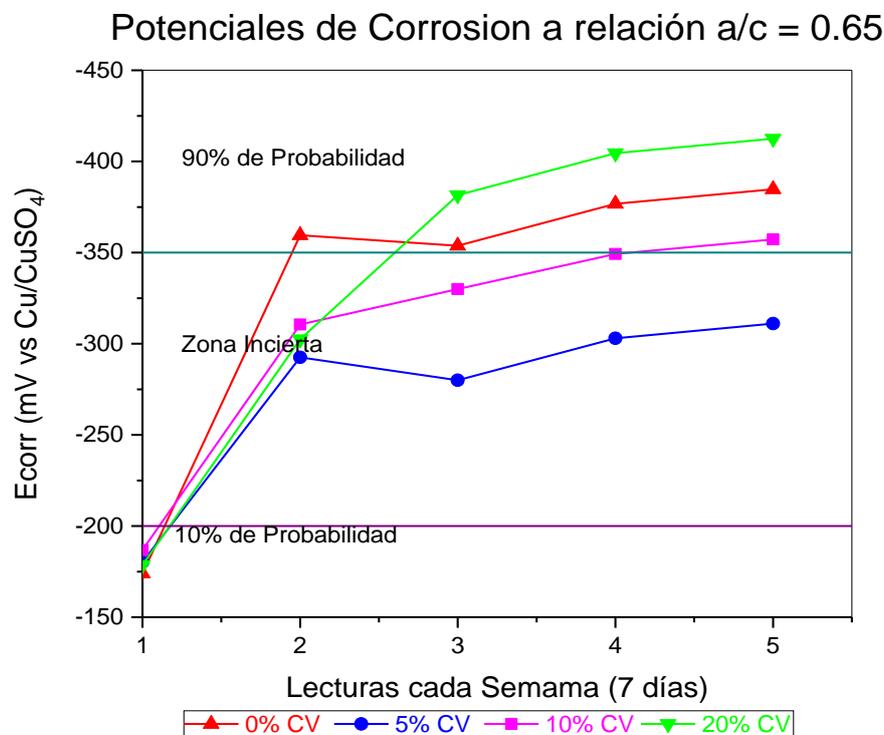
Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.10 se observa el comportamiento de los potenciales de Corrosión (Ecorr) de los diferentes porcentajes de adición de diatomita al cemento portland Tipo I, con relación a/c = 0.65. Durante la toma de datos en las semanas las relaciones 0%, 10% y 20% varían entre los -350 a más negativo que de acuerdo a la norma ASTM C876 se tiene una probabilidad de 90% de corrosión en el acero. Pero además el porcentaje con

5% 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 a que hay presencia de cloruros en el interior del concreto que han llegado al acero, el cual tiende a formar una película pasiva protectora.

Entre los diferentes porcentajes de adición de diatomita elaborados, el que tiene un mejor comportamiento haciendo menos negativo el potencial del acero en concreto, es al que se incorporó el 5% de diatomita, debido a la acción del hidróxido de calcio del cemento con la diatomita; además que las puzolanas obtienen mejores resistencias a lo largo del tiempo.

Figura 3.10: Gráfica de E_{corr} de la relación $a/c = 0.65$

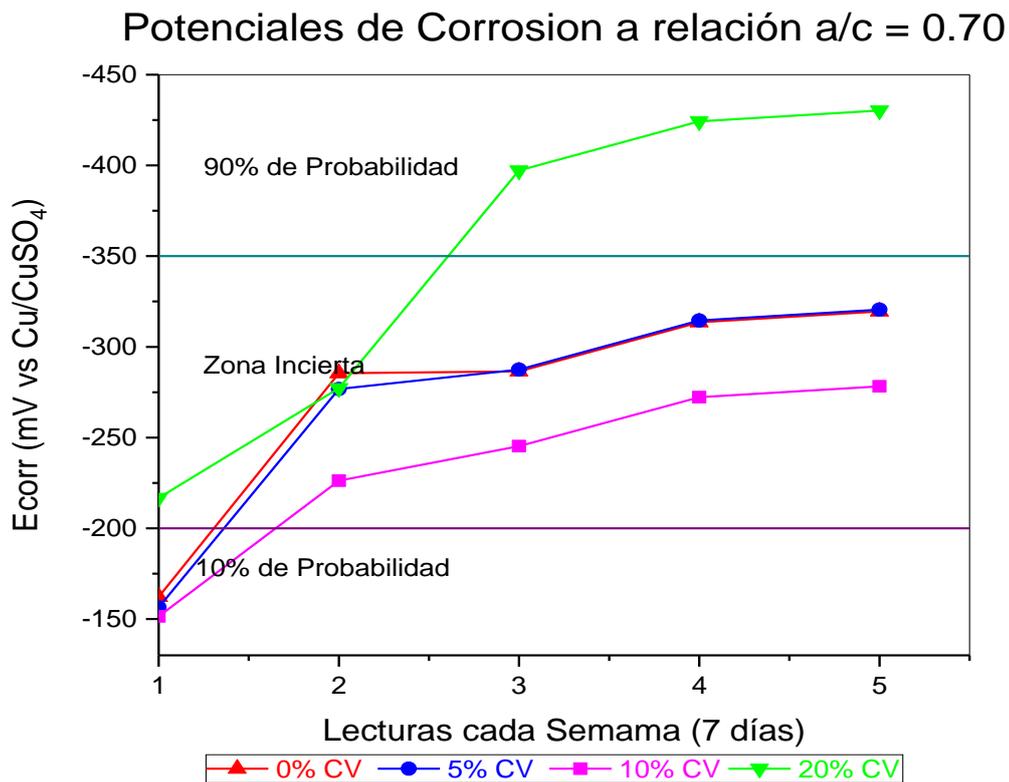


Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.11 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (E_{corr}) de los diferentes porcentaje de adición de diatomita con relación $a/c = 0.70$ con cemento portland Tipo I, durante las semanas de exposición de las probetas se observa que los potenciales del 0%, 5% y 10% 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 días para el porcentaje del 20% varían entre los -350 a -430.25 mV que de acuerdo a la norma ASTM C876 que se tiene una probabilidad de 90% que se esté corroyendo el acero, lo cual no significa que el acero se está corroyendo sino que el medio en el que se encuentra terminaría siendo perjudicial para el acero embebido.

Figura 3.11: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.70



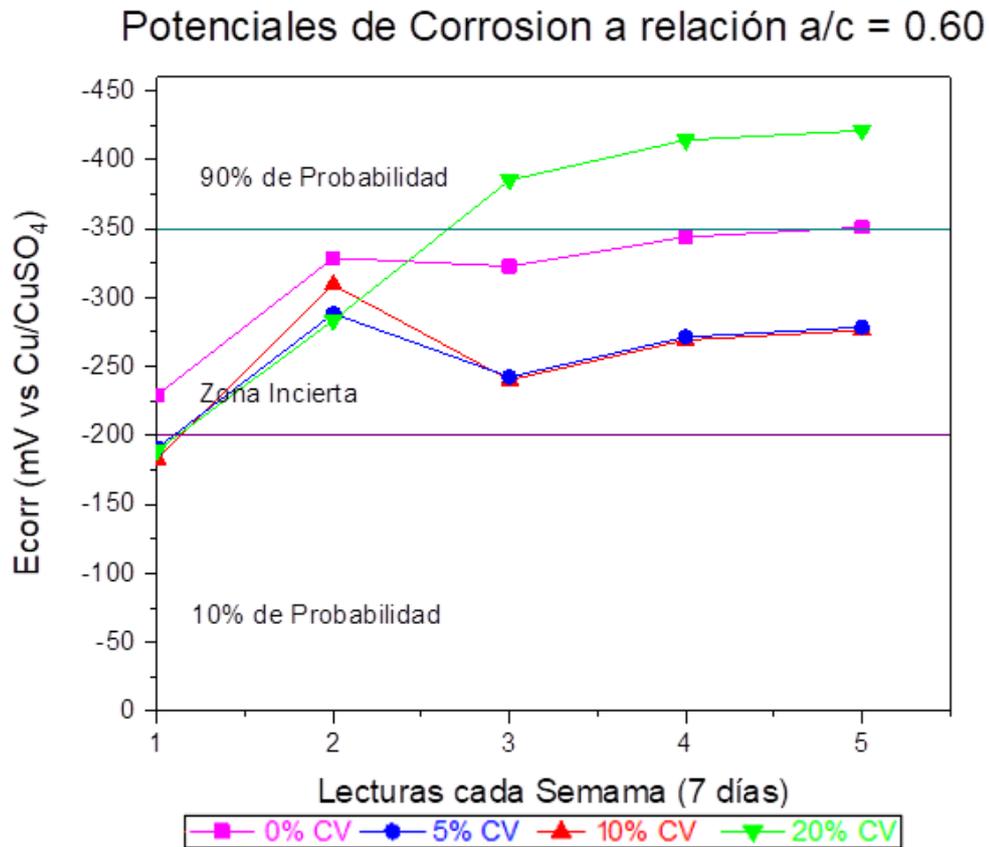
Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

3.2.2. Cemento Tipo ICo – 07 Días de secado.

En la figura 3.12 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (Ecorr) de los diferentes porcentaje de adición de diatomita con relación a/c = 0.60 con cemento portland Extraforte Ico, durante las semanas de exposición de las probetas se observa que los potenciales del 0%, 5% y 10% 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 días en el porcentaje del 20% varían entre los -350 a -416.75mV que de acuerdo a la norma ASTM C876

que se tiene una probabilidad de 90% que se esté corroyendo el acero, lo cual no significa que el acero se está corroyendo sino que el medio en el que se encuentra terminaría siendo perjudicial para el acero embebido. Este comportamiento es casi similar a las gráficas anteriores mostradas.

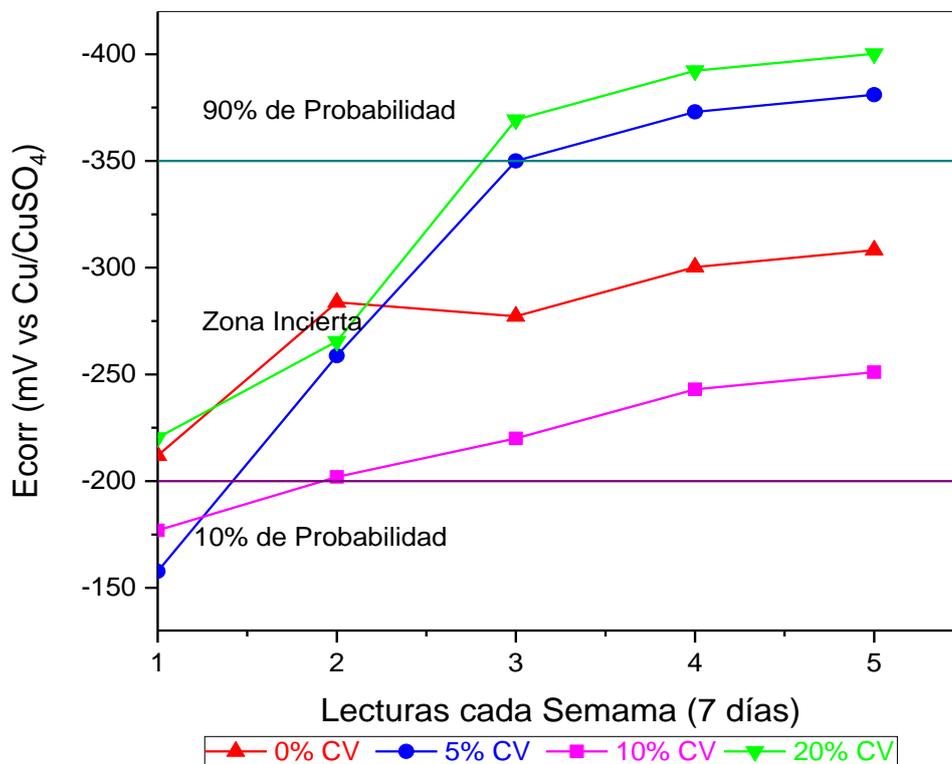
Figura 3.12: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.60



Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.13 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (Ecorr) de los diferentes porcentaje de adición de diatomita con relación a/c = 0.65 con cemento portland Extraforte ICo, durante las semanas de exposición de las probetas se observa que los potenciales del 0% y 10% 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 14 días en el porcentaje del 0% y 20% varían entre los -350 a -400.25mV que de acuerdo a la norma ASTM C876 que se tiene una probabilidad de 90% que se esté corroyendo el acero.

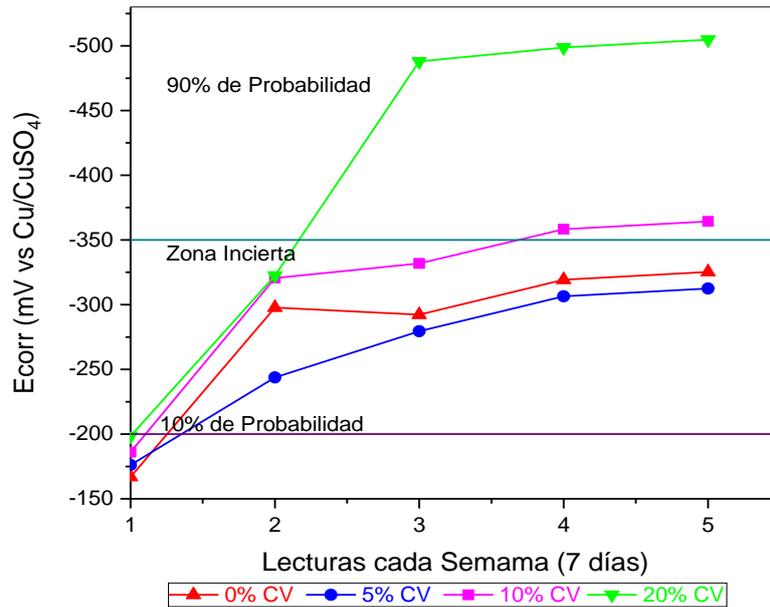
Figura 3.13: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.65
Potenciales de Corrosion a relación a/c = 0.65



Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.14 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (Ecorr) de los diferentes porcentaje de adición de diatomita con relación a/c = 0.70 con cemento portland Extraforte ICo, durante las semanas de exposición de las probetas se observa que los potenciales del 0% y 5% 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 en intervalo de los 14 días en el porcentaje del 0% y 20% varían entre los -350 a -400.25mV que de acuerdo a la norma ASTM C876 que se tiene una probabilidad de 90% que se esté corroyendo el acero.

Figura 3.14: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.70
Potenciales de Corrosion a relación a/c = 0.70

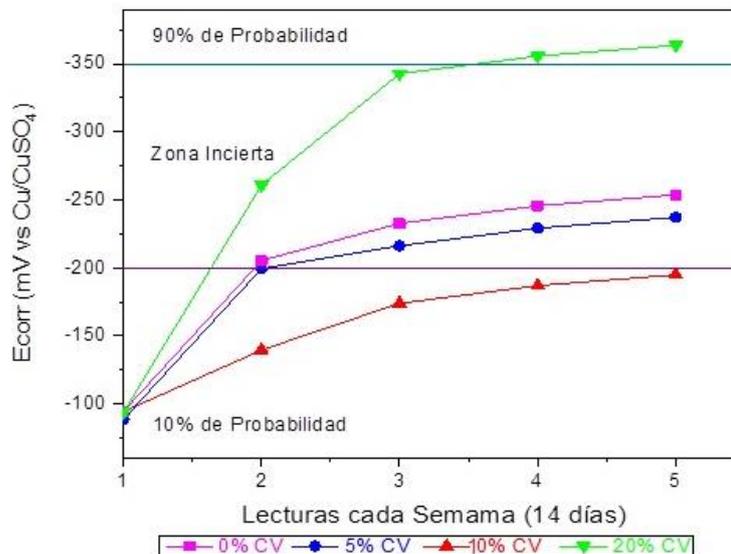


Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

3.2.3. Cemento Tipo I – 14 Días de secado

En la figura 3.15 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (Ecorr) de los diferentes porcentaje de adición de diatomita con relación a/c = 0.60 con cemento portland Tipo I tomada las lecturas a 14 días de secado, y se observa que a más tiempo de secado, su potencial es mucho menor que tomadas a 7 días de secado tal como se observa en la anterior figura 3.9.

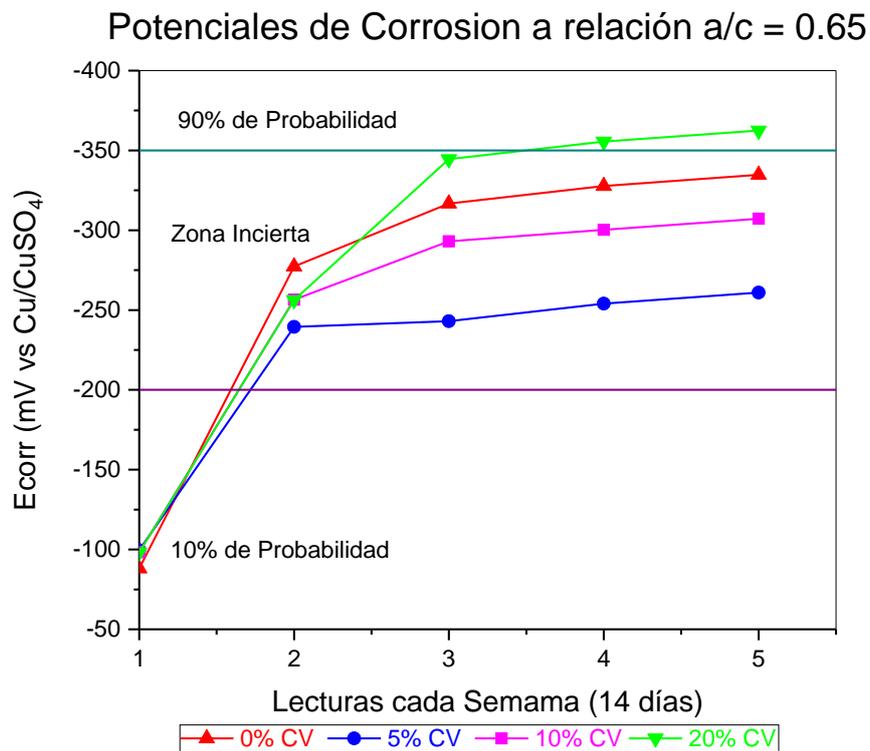
Figura 3.15: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.60
Potenciales de Corrosion a relación a/c = 0.60



Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.16 se observa el comportamiento de los potenciales de Corrosión (E_{corr}) de los diferentes porcentajes de adición de diatomita con relación $a/c = 0.65$ con cemento portland Tipo I tomada las lecturas a 14 días de secado, y se observa que a más tiempo de secado, su potencial es mucho menor que tomadas a 7 días de secado tal como se observa en la anterior figura 3.10, y se aprecia que el porcentaje de 5% de adición es mucho menor que los otros.

Figura 3.16: Gráfica de E_{corr} de la relación $a/c = 0.65$

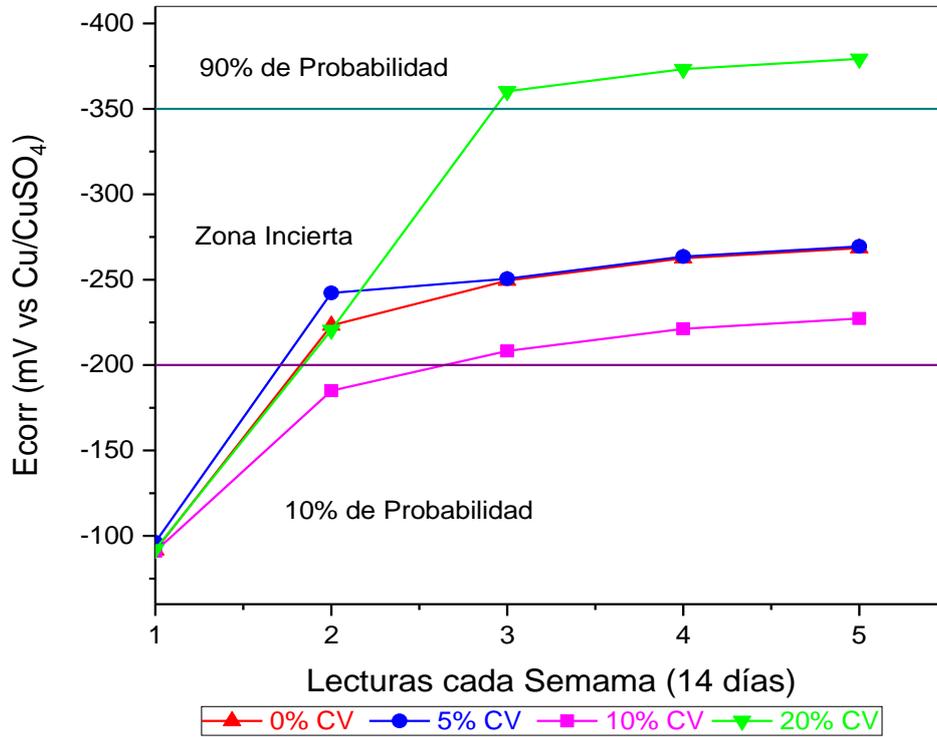


Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.17 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (E_{corr}) de los diferentes porcentaje de adición de diatomita con relación $a/c = 0.70$ con cemento portland Tipo I tomada las lecturas a 14 días de secado, y se observa que a más tiempo de secado, su potencial es mucho menor que tomadas a 7 días de secado tal como se observa en la anterior figura 3.11, y se aprecia que en todos los porcentajes de adición es mucho menor que los otros tomados a 7 días.

Figura 3.17: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.70

Potenciales de Corrosion a relación a/c = 0.70



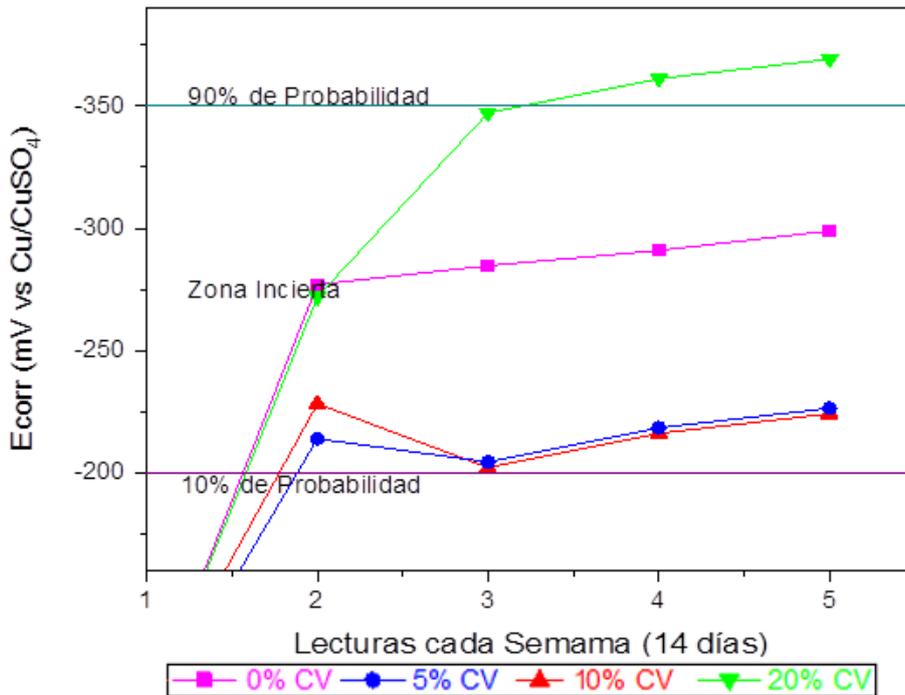
Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

3.2.4. Cemento Tipo ICo – 14 Días de secado.

En la figura 3.18 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (Ecorr) de los diferentes porcentajes de adición de diatomita con relación a/c = 0.60 con cemento portland Extraforte Ico, tomadas las lecturas a 14 días de secado, y se observa que, a más tiempo de secado, su potencial es mucho menor que tomadas a 7 días de secado tal como se observa en la anterior figura 3.12, y se aprecia que en todos los porcentajes de adición es mucho menor que los otros tomados a 7 días. No obstante, el porcentaje del 0% se encuentra en la zona del 10% de probabilidad de corrosión.

Figura 3.18: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.60

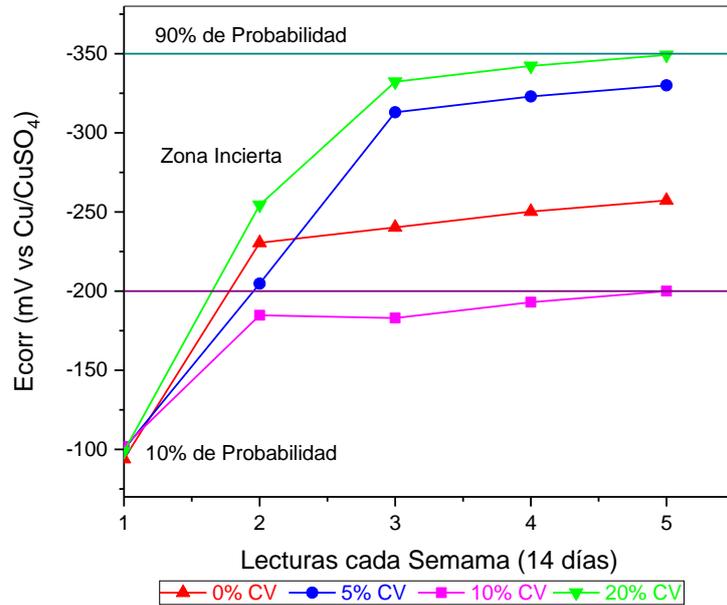
Potenciales de Corrosion a relación a/c = 0.60



Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.19 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (Ecorr) de los diferentes porcentaje de adición de diatomita con relación a/c = 0.65 con cemento portland Extraforte Ico, tomadas las lecturas a 14 días de secado, y se observa que a más tiempo de secado, su potencial es mucho menor que tomadas a 7 días de secado tal como se observa en la anterior figura 3.13, y se aprecia que en todos los porcentajes de adición es mucho menor que los otros tomados a 7 días. No obstante el porcentaje del 10% se encuentra en la zona límite del 10% de probabilidad de corrosión.

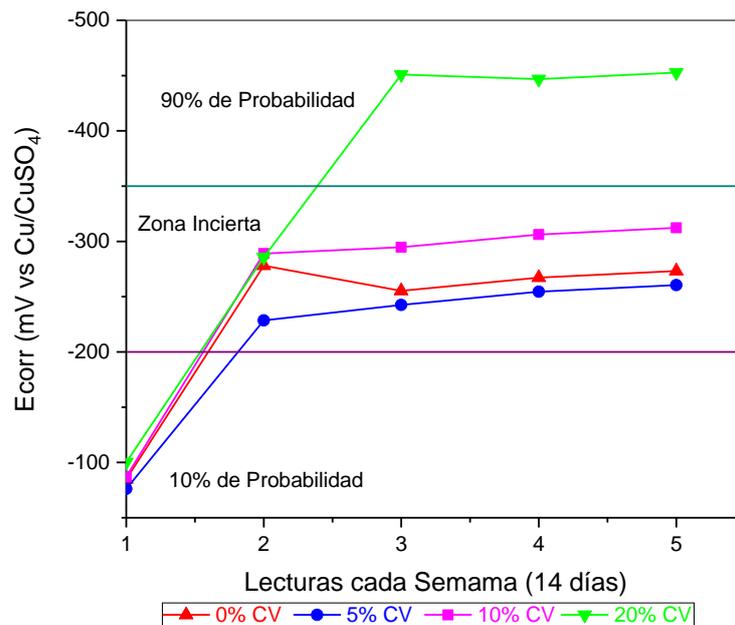
Figura 3.19: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.65
Potenciales de Corrosion a relación a/c = 0.65



Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

En la figura 3.20 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (Ecorr) de los diferentes porcentaje de adición de diatomita con relación a/c = 0.70 con cemento portland Extraforte Ico, tomadas las lecturas a 14 días de secado, y se observa que a más tiempo de secado, su potencial es mucho menor que tomadas a 7 días de secado tal como se observa en la anterior figura 3.14, y se aprecia que en todos los porcentajes de adición es mucho menor que los otros tomados a 7 días.

Figura 3.20: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.70
Potenciales de Corrosion a relación a/c = 0.70

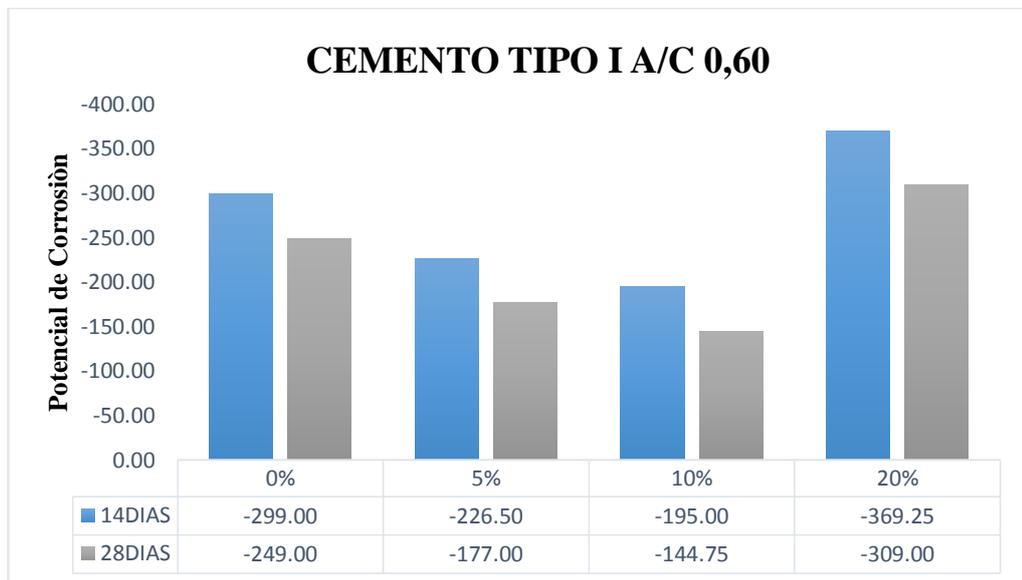


Fuente: Elaboración Propia. (Programa Originlab).

3.2.5. Cemento Tipo I – 28 Días de Secado

En la figura 3.21 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (E_{corr}) de los diferentes porcentajes de adición de diatomita con relación $a/c = 0.60$ con cemento portland I, haciendo una comparación de la última lectura entre 14 y 28 días de secado, se puede corroborar que, a más días de secado, el potencial de corrosión seguirá disminuyendo hasta que no exista humedad que pueda interferir en las lecturas, esto nos indica que los últimos datos son más reales y exacto. Cabe resaltar que los valores del 20% han disminuido en un porcentaje un poco mayor, nos indica que los compuestos siguen reaccionando formando C-S-H que están disminuyendo los poros del concreto.

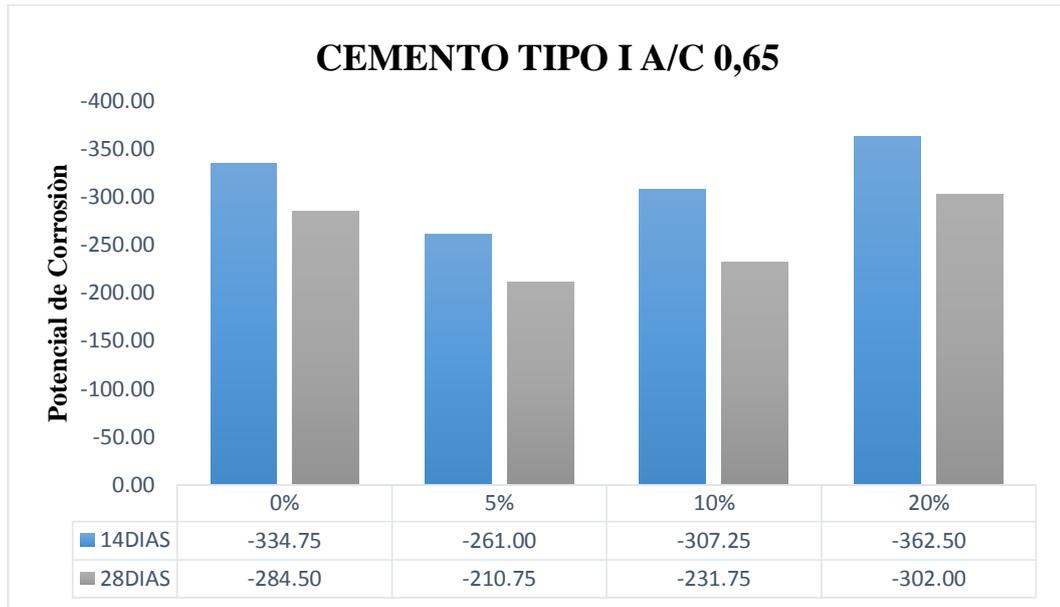
Figura 3.21: Gráfica de E_{corr} de la relación $a/c = 0.60$



Fuente: Elaboración Propia. (Microsoft Excel 2016).

En la figura 3.22 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (E_{corr}) de los diferentes porcentajes de adición de diatomita con relación $a/c = 0.65$ con cemento portland I, haciendo una comparación de la última lectura entre 14 y 28 días de secado, se puede corroborar que, a más días de secado, el potencial de corrosión seguirá disminuyendo hasta que no exista humedad que pueda interferir en las lecturas, esto nos indica que los últimos datos son más reales y exacto. Cabe resaltar que la mezcla con 5% de adición tiene el menor potencial de corrosión.

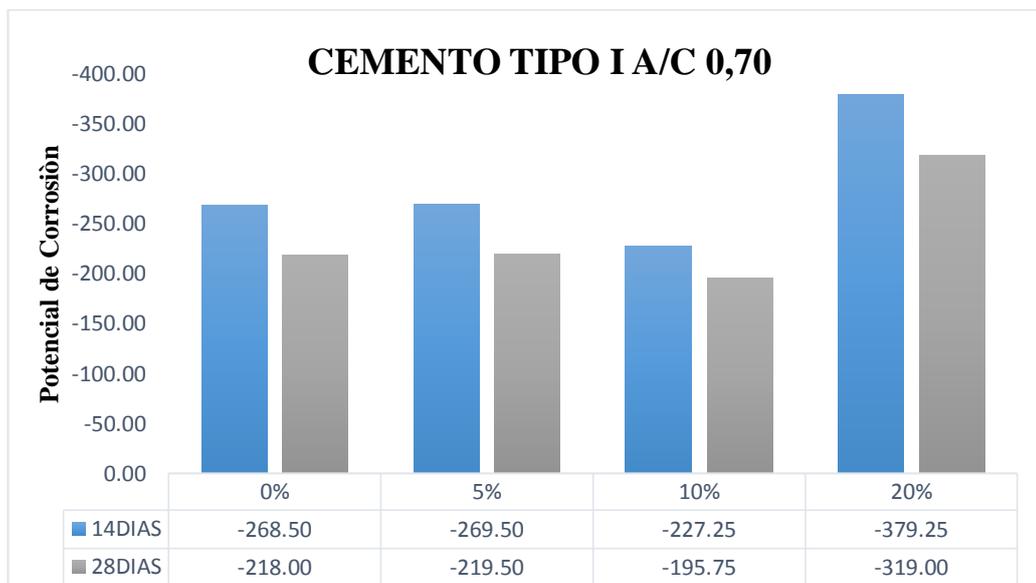
Figura 3.22: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.65



Fuente: Elaboración Propia. (Microsoft Excel 2016).

En la figura 3.23 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (Ecorr) de los diferentes porcentajes de adición de diatomita con relación a/c = 0.70 con cemento portland I, haciendo una comparación de la última lectura entre 14 y 28 días de secado, se puede corroborar que, a más días de secado, el potencial de corrosión seguirá disminuyendo hasta que no exista humedad que pueda interferir en las lecturas, esto nos indica que los últimos datos son más reales y exactos. Cabe resaltar que la mezcla con 10% de adición tiene el menor potencial de corrosión.

Figura 3.23: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.70

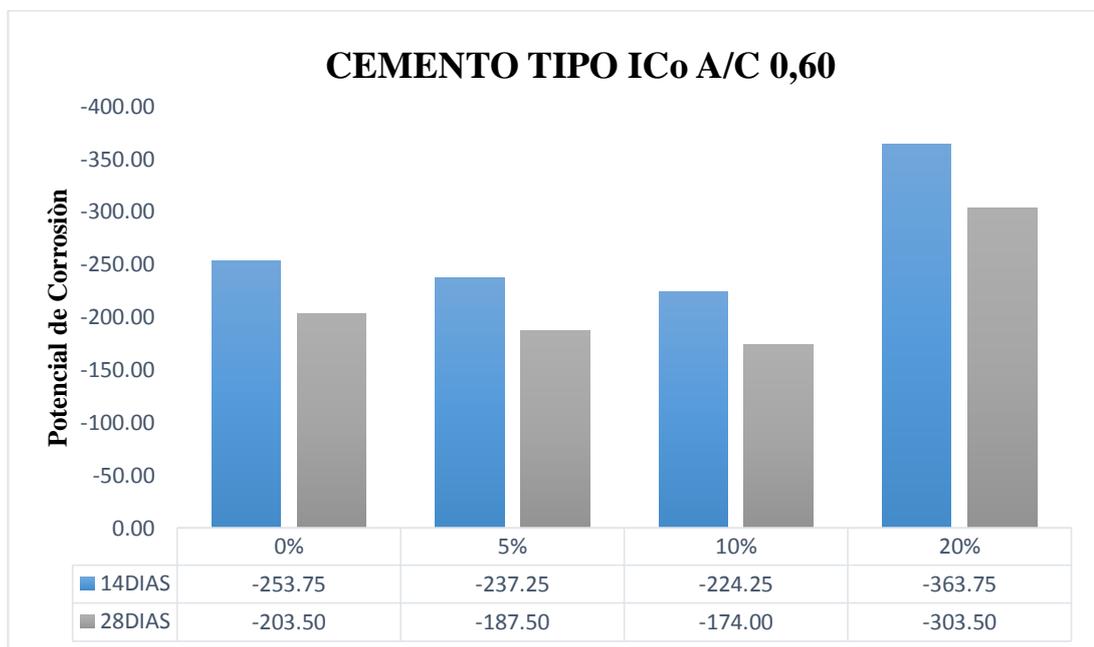


Fuente: Elaboración Propia. (Microsoft Excel 2016).

3.2.6. Cemento Tipo ICo – 28 Días de Secado

En la figura 3.24 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (Ecorr) de los diferentes porcentajes de adición de diatomita con relación a/c = 0.60 con cemento portland ICo, haciendo una comparación de la última lectura entre 14 y 28 días de secado, se puede corroborar que, a más días de secado, el potencial de corrosión seguirá disminuyendo hasta que no exista humedad que pueda interferir en las lecturas, esto nos indica que los últimos datos son más reales y exactos. Cabe resaltar que la mezcla con 10% de adición tiene el menor potencial de corrosión.

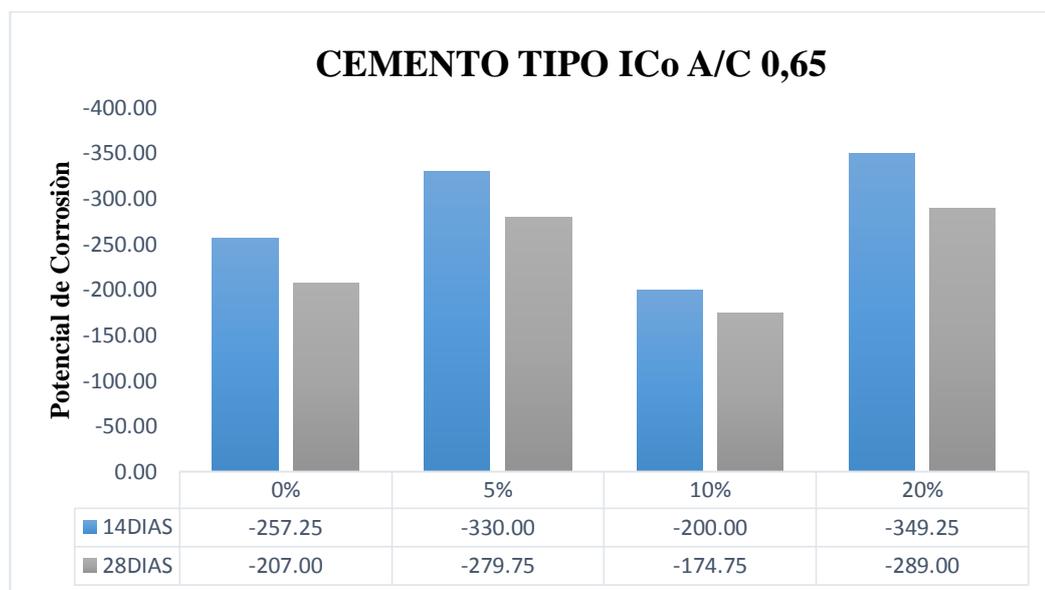
Figura 3.24: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.60



Fuente: Elaboración Propia. (Microsoft Excel 2016).

En la figura 3.25 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (Ecorr) de los diferentes porcentajes de adición de diatomita con relación a/c = 0.65 con cemento portland ICo, haciendo una comparación de la última lectura entre 14 y 28 días de secado, se puede corroborar que, a más días de secado, el potencial de corrosión seguirá disminuyendo hasta que no exista humedad que pueda interferir en las lecturas, esto nos indica que los últimos datos son más reales y exactos. Cabe resaltar que la mezcla con 10% de adición tiene el menor potencial de corrosión.

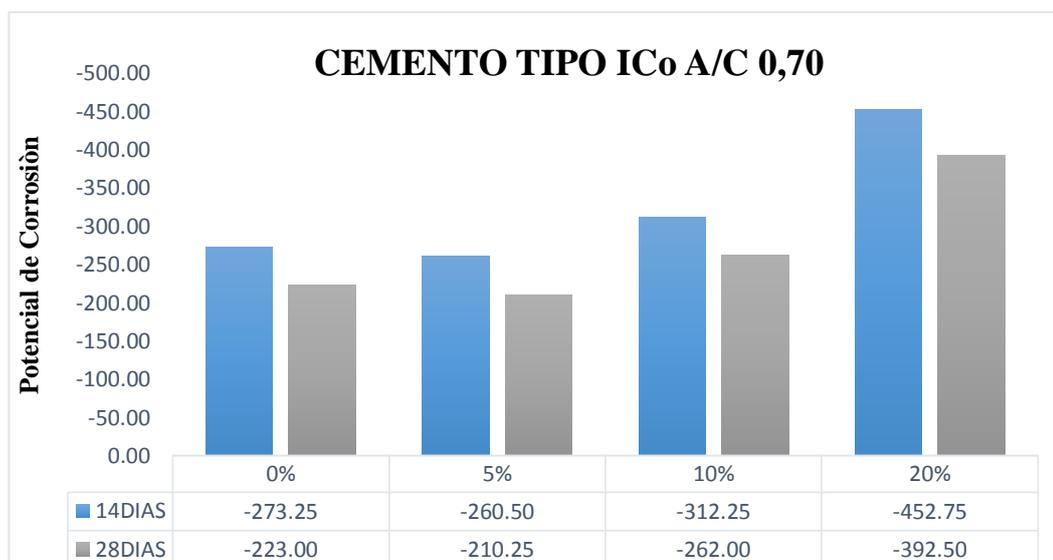
Figura 3.25: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.65



Fuente: Elaboración Propia. (Microsoft Excel 2016).

En la figura 3.26 se puede observar el comportamiento de los potenciales de Corrosión (Ecorr) de los diferentes porcentajes de adición de diatomita con relación a/c = 0.70 con cemento portland ICo, haciendo una comparación de la última lectura entre 14 y 28 días de secado, se puede corroborar que, a más días de secado, el potencial de corrosión seguirá disminuyendo hasta que no exista humedad que pueda interferir en las lecturas, esto nos indica que los últimos datos son más reales y exactos. Cabe resaltar que la mezcla con 5% de adición tiene el menor potencial de corrosión.

Figura 3.26: Gráfica de Ecorr de la relación a/c = 0.70



Fuente: Elaboración Propia. (Microsoft Excel 2016).

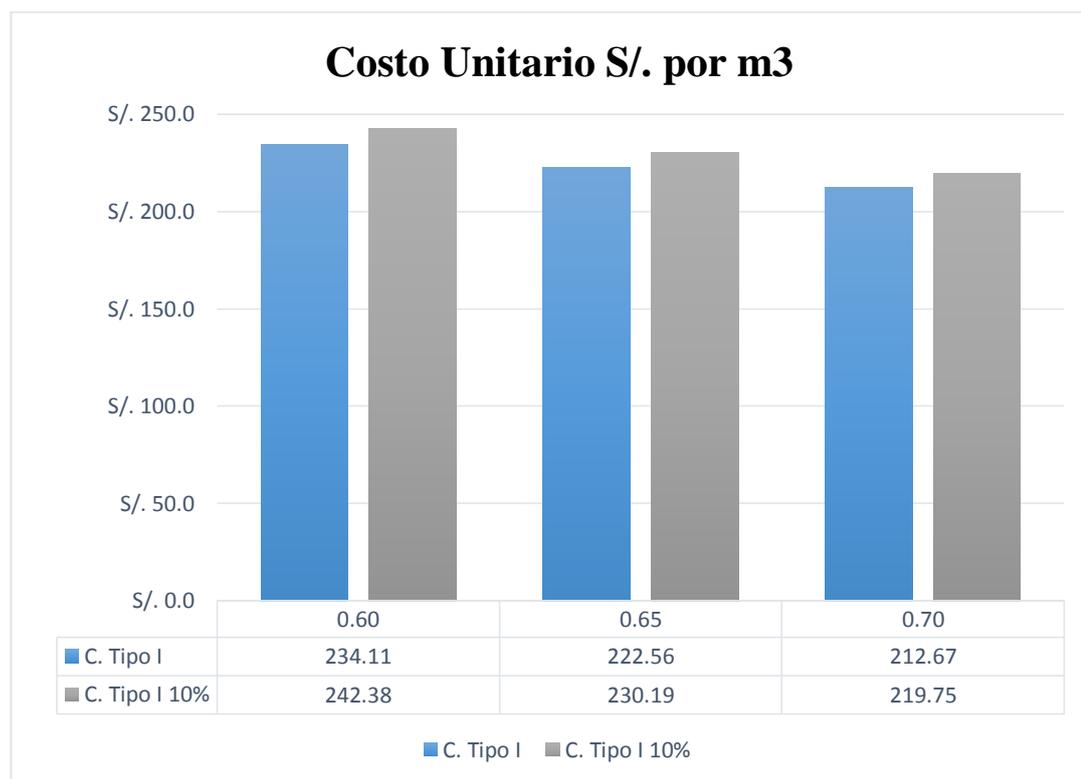
3.3. ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO

Como parte de la investigación se analizará la viabilidad de emplear en nuestro medio la diatomita como adición para el concreto, para esto se hizo un análisis de costos unitarios con los tipos de cemento empleados con una adición de 5% de diatomita donde podemos hacer las comparaciones de costo-beneficio.

Para determinar la viabilidad de emplear diatomitas tomamos como base la mezcla patrón con 0% de adición.

En el gráfico 4.1 empleando Cemento Tipo I, se puede apreciar que para adicionar un 10% de diatomita en la mezcla con A/C: 0.60, el costo del concreto se eleva en un 3% del costo del concreto patrón por lo que su uso resulta viable.

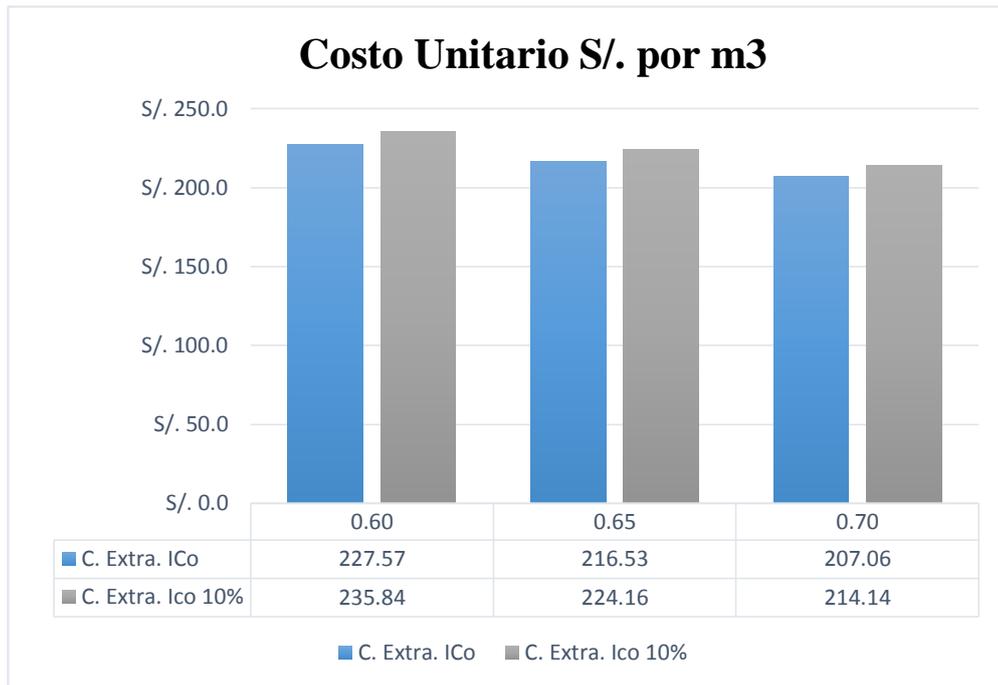
Figura 3.27: Análisis comparativo Cemento Tipo I



Fuente: Elaboración Propia. (Microsoft Excel 2016).

En el gráfico 4.2 empleando Cemento Extraforte ICo, se puede apreciar que para adicionar un 10% de diatomita en la mezcla con A/C: 0.60, el costo del concreto se eleva en un 3% del costo del concreto patrón por lo que su uso resulta viable.

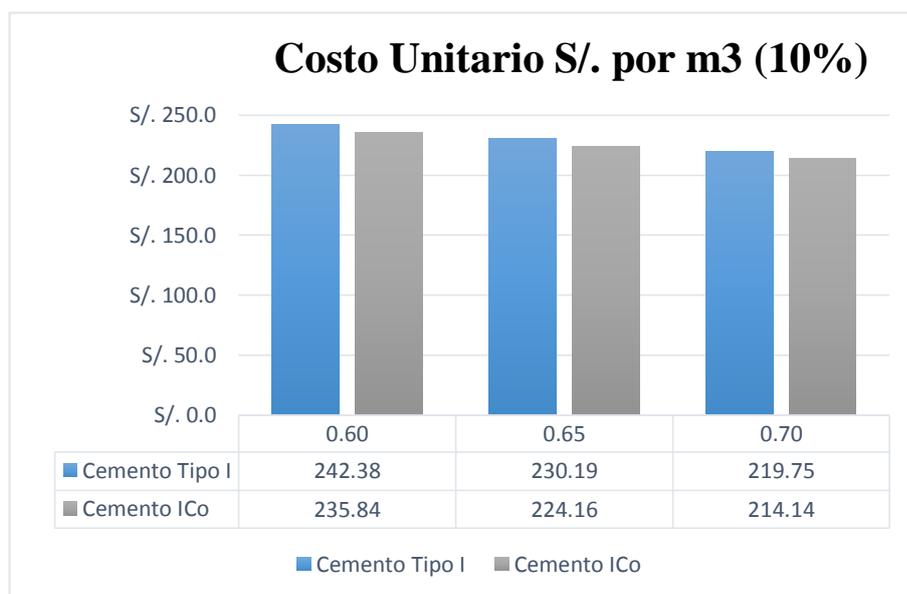
Figura 3.28: Análisis comparativo Cemento Extraforte ICo



Fuente: Elaboración Propia. (Microsoft Excel 2016).

Cabe resaltar que de ambos tipos de cemento, el más económico es el Cemento Extraforte ICo, pero aumenta su costo unitario en un porcentaje relativamente mayor lo que en una obra de grandes dimensiones significa un aumento significativo. El Cemento Tipo I es el más elevado en precio unitario pero tiene un menor incremento respecto de la mezcla patrón. Ambos tipos de mezcla nos ofrecen una mayor durabilidad en cuanto a resistencia y ataque de cloruros.

Figura 3.29: Análisis comparativo C. Tipo I vs C. Exta. ICo



Fuente: Elaboración Propia. (Microsoft Excel 2016).

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se determinó que la mezcla de concreto elaborada con Cemento Portland Tipo I y relación $a/c=0.60$ adicionando un 10% de diatomita, tiene el menor potencial de corrosión del acero de todas las probetas elaboradas; con esto se puede comprobar la hipótesis planteada pero la disminución del potencial no fue del 70%, sino del 23% respecto a la mezcla patrón con 0% de adición; cabe resaltar que las lecturas a los 14 días de secado son mucho menores que a los 07 días debido a que estuvo más tiempo expuesto a secar en el medio ambiente por sí solo. Cabe resaltar que el Cemento Tipo I de uso general presenta un mejor comportamiento a diferencia del Cemento Extraforte ICo que también es de uso general pero debido a sus adiciones minerales le dan cierto tipo de propiedades como moderado calor de hidratación; el hidróxido de calcio presente en este cemento reacciona primero con las adiciones minerales que vienen de planta y por lo tanto la diatomita al tener un fraguado lento, irá hidratándose y ganando propiedades de manera más lenta.
- De las demás probetas elaboradas, se determinó que la mezcla de relación $a/c=0.65$ con cemento portland tipo I y 5% de adición de diatomita, disminuye el valor de potencial de corrosión del acero en un 22% respecto a la mezcla con 0% de adición.
- De las demás probetas elaboradas, se determinó que la mezcla de relación $a/c=0.70$ con cemento portland tipo I y 10% de adición de diatomita, disminuye el valor del potencial de corrosión del acero en un 15% respecto a la mezcla con 0% de adición.
- De las demás probetas elaboradas, se determinó que la mezcla de relación $a/c=0.60$ con cemento portland extraforte ICo y 10% de adición, disminuye el valor del potencial de corrosión del acero en un 25% respecto a la mezcla con 0% de adición.
- De las demás probetas elaboradas, se determinó que la mezcla de relación $a/c=0.65$ con cemento portland extraforte ICo y 10% de adición, disminuye el valor del potencial de corrosión del acero en un 22% respecto a la mezcla con 0% de adición.
- De las demás probetas elaboradas, se determinó que la mezcla de relación $a/c=0.70$ con cemento portland extraforte ICo y 5% de adición, disminuye el valor del potencial de corrosión del acero en un 5% respecto a la mezcla con 0% de adición.

- Se determinó que la mezcla elaborada con Cemento Tipo I, relación $a/c = 0.60$ y 10% de adición de diatomita alcanzó la mayor resistencia a la compresión con un valor de 189.46 Kg/cm^2 similar a la mezcla del 5% con 188.44 Kg/cm^2 , y a más adición de diatomita desciende la resistencia debido a que todas las partículas aún no reaccionan con el hidróxido de calcio presente en el cemento; no obstante las adiciones superan a la mezcla control.
- De las demás probetas elaboradas, se determinó que la resistencia a la compresión para la relación $a/c = 0.65$ del cemento portland Tipo I con la incorporación del 5% de diatomita alcanza 172.96 Kg/cm^2 similar a la mezcla del 10% con 172.56 Kg/cm^2 , y a más adición de diatomita desciende la resistencia; no obstante las adiciones superan a la mezcla control.
- De las demás probetas elaboradas, se determinó que la resistencia a la compresión para la relación $a/c = 0.70$ del cemento portland Tipo I con la incorporación del 10% de diatomita alcanza 162.27 Kg/cm^2 similar a la mezcla del 5% con 161.64 Kg/cm^2 , y a más adición de diatomita desciende la resistencia; no obstante las adiciones superan a la mezcla control.
- De las demás probetas elaboradas, se determinó que la resistencia a la compresión para la relación $a/c = 0.60$ del cemento portland extraforte Ico con la incorporación del 10% de diatomita alcanza 184.59 Kg/cm^2 similar a la mezcla del 5% con 183.86 Kg/cm^2 , y a más adición de diatomita desciende la resistencia; no obstante las adiciones superan a la mezcla control.
- De las demás probetas elaboradas, se determinó que la resistencia a la compresión para la relación $a/c = 0.65$ del cemento portland extraforte Ico con la incorporación del 10% de diatomita alcanza 162.13 Kg/cm^2 similar a la mezcla del 5% con 161.39 Kg/cm^2 , y a más adición de diatomita desciende la resistencia; no obstante las adiciones superan a la mezcla control.
- De las demás probetas elaboradas, se determinó que la resistencia a la compresión para la relación $a/c = 0.70$ del cemento portland extraforte Ico con la incorporación del 5% de diatomita alcanza 153.86 Kg/cm^2 similar a la mezcla del 10% con 153.35 Kg/cm^2 , y a más adición de diatomita desciende la resistencia; no obstante, las adiciones superan a la mezcla control.

- Se determinó que la relación entre el Potencial de Corrosión y la Resistencia a la Compresión es directamente proporcional, es decir que a medida que la diatomita reaccione con el hidróxido de calcio se formará más compuesto de C-S-H aumentando su resistencia y a su vez disminuirá los poros del concreto e impedirá el paso del ion cloruro, disminuyendo así la probabilidad de corrosión del acero.

4.2. RECOMENDACIONES

De la experiencia adquirida en esta investigación se expresan las siguientes recomendaciones:

- Complementar la investigación sometiendo las probetas a diferentes medios agresivos para ver su interacción con el medio y la reacción que tomaría frente a ellos.
- Complementar la investigación haciendo uso de técnicas electroquímicas para hallar su velocidad de corrosión del acero en el concreto.
- Complementar la investigación por un periodo más largo de tiempo y comprobar la disminución de vacíos midiendo su permeabilidad.
- Complementar la investigación haciendo uso de otros tipos de cementos en el mercado para ver su interacción con el medio agresivo cuando se le incorpora la diatomita.
- Realizar el correcto análisis de los agregados y tener conocimiento de sus características físicas para poder realizar un buen diseño de mezcla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MOHAMED NAGIB, A. & AHMED A. (2016). Evaluación del Desempeño del mortero Bioestructural utilizando Tierra de Diatomeas y Humo de Sílice. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/309395962_assessment_of_performance_of_bio_selfhealing_mortar_using_diatomaceous_earth_and_silica_fume.
- [2] TAGNIT-HAMOU, A., PETROV, N. & LUKE, K. (2003). Propiedades del concreto agregando tierra de diatomeas. *En: ACI materials journal Vol 100, pp.73-78*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/281366636_Properties_of_Concrete_Containing_Diatomaceous_Earth
- [3] Leandro, J., (2010), *Evaluación del uso de la diatomita como adición mineral en el concreto de alta resistencia* (Tesis de Pregrado). Lima, Perú. Recuperado de: http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/168/1/leandro_jl.pdf
- [4] Astete, J., (2015), *Estudio experimental del empleo de la diatomita en la producción de concreto con agregados de mina roja, Cunyac y Vicho* (Tesis de Pregrado). Cusco, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/55/3/RESUMEN.pdf>
- [5] Sánchez, C., (2008), *Estudio experimental del empleo de diatomita en la producción de concreto de alto desempeño* (Tesis de Pregrado). Lima, Perú. Recuperado de: <http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/273578/1/CSanchez.pdf>
- [6] Ordoñez, J., (2016). *Influencia en la resistencia a la compresión axial al sustituir parcialmente cemento portland tipo I por diatomita en un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$* (Tesis de Pregrado). Cajamarca, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11020>
- [7] Chumpitaz, P., (2007). *Estudio experimental del uso de tierras diatomáceas en la producción de concretos de alta resistencia* (Tesis de Pregrado). Lima, Perú. Recuperado de: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1032>
- [8] Guzmán González, O. (2008). *Influencia del agrietamiento del concreto en la corrosión del acero de refuerzo* (Tesis de Maestría). Recuperado de: <tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/431/Influenciadel%20agrietamiento.pdf>
- [9] Valle Moreno, A & Pérez Lopez, T. (2001). *El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado. (1era ed)*. Sanfandila. Instituto Mexicano del Transporte.
- [10] De la Cruz, J. & Retamozo, D., (2017). Aditivos de inhibidor de Corrosión en el Concreto. Universidad Peruana Los Andes.

- [11] Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete (ASTM C876 - 15). [En línea] <https://www.astm.org/Standards/C876.htm>
- [12] Pérez, T. (2002). *Aplicación de la técnica espectroscopia de impedancia electroquímica en el estudio de la corrosión del acero de refuerzo embebido en concreto. Golfo de México, México.* Recuperado de: <http://depa.fquim.unam.mx/labcorr/libro/concreto.PDF>
- [13] Cárdenas, D. 1998. *Corrosión y Protección de Metales.* UNT-Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Metalúrgica y Materiales - Trujillo - Perú.
- [14] González, C. (Ed.). 2005. *Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado.* México, México: Editorial Limusa.
- [15] Genescá, J. (2009). *Más allá de la Herrumbre II. La lucha contra la corrosión,* Fondo de Cultura Económica, México. Recuperado de: <http://www.biblioteca.org.ar/Libros/bdmexico/sep%20ciencia/masalla2.htm>
- [16] González, F. (2010). *Realcalinización Electroquímica del Concreto Reforzado Carbonatado: Una Opción de Prevención contra la Corrosión* (Tesis Doctoral). Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/2142/1/1080177800.pdf>
- [17] Ramírez Carrión, J. (2010). Diatomitas en el Perú, características y aplicaciones. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Ministerio de Energía y Minas. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/ingemmet/diatomitas-en-el-per-caractersticas-y-aplicaciones>
- [18] Blanco F., (2014 – 2017). *Reacción Puzolánica.* Oviedo, España. Recuperado de: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion4.Reaccion.PUZOLANICA.pdf>

ANEXOS

ANEXO 01

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Contenido de Humedad de los Agregados

Agregado Fino			
Ensayo	P. Muestra Húmeda (gr)	P. Muestra Seca (gr.)	% Humedad
1	1200	1191.10	0.80
		% Humedad	0.80

Agregado Grueso			
Ensayo	P. Muestra Húmeda (gr)	P. Muestra Seca (gr.)	% Humedad
1	3200	3171.50	0.94
		% Humedad	0.94

Pesos Unitarios

Agregado Fino					
Ensayo	Peso suelto (g.)	Peso compactado (g.)	Volumen del recipiente (cm ³)	P.U. Suelto (kg/m ³)	P.U. Compactado (kg/m ³)
1	7525	7865	2720.00	1759.00	1884.00
			Resultados	1759.00	1884.00

Agregado Grueso					
Ensayo	Peso suelto (g.)	Peso compactado (g.)	Volumen del recipiente (cm ³)	P.U. Suelto (kg/m ³)	P.U. Compactado (kg/m ³)
1	20720	22350	9730.00	1425.00	1598.00
			Resultados	1425.00	1598.00

Porcentaje de Absorción de los Agregados

Peso Específico del Agregado Grueso							
N°	Peso Seco (g)	P sss. (g.)	Peso sumergido (g.)	Peso Específico (g/cm ³)	Peso Específico sss (g/cm ³)	Peso Específico Aparente (g/cm ³)	Absorción (%)
	A	B	C	γ	γ_{sss}	γ aparente	Abs%
1	3028.50	3043.50	1976.00	2.88	2.85	2.84	0.50
			Resultados	2.88	2.85	2.84	0.50

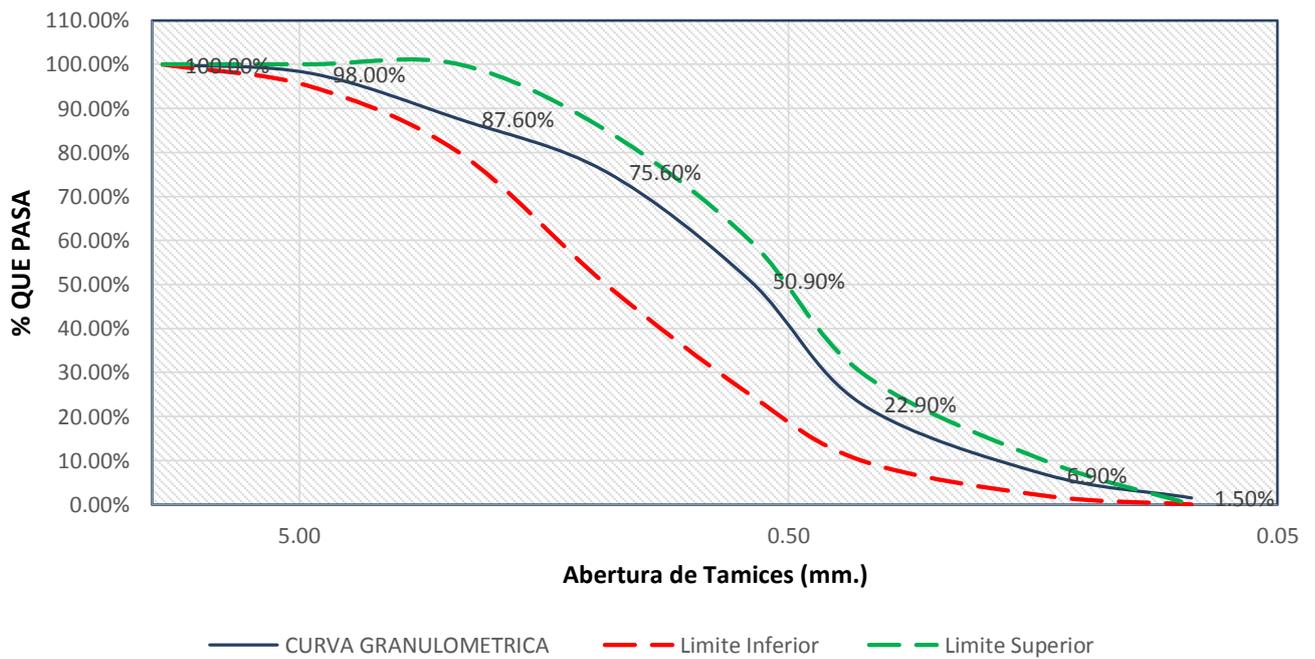
Peso Específico del Agregado Fino									
N°	PESO SECO (g)	Peso Pic. + Agua (ml.)	Peso pic.+muestra+ agua (g.)	Peso muestra saturada (g)	Peso Específico (g/cm ³)	Peso Específico sss (g/cm ³)	Peso Específico Aparente (g/cm ³)	Absorción (%)	
	A	B	C	D	γ	γ_{sss}	γ aparente	Abs%	
1	493	695	1012.00	500.00	2.79	2.72	2.69	1.38	
					Resultados	2.79	2.72	2.69	1.38

**PRUEBA GRANULOMÉTRICA (NTP 400.012)
AGREGADO FINO**

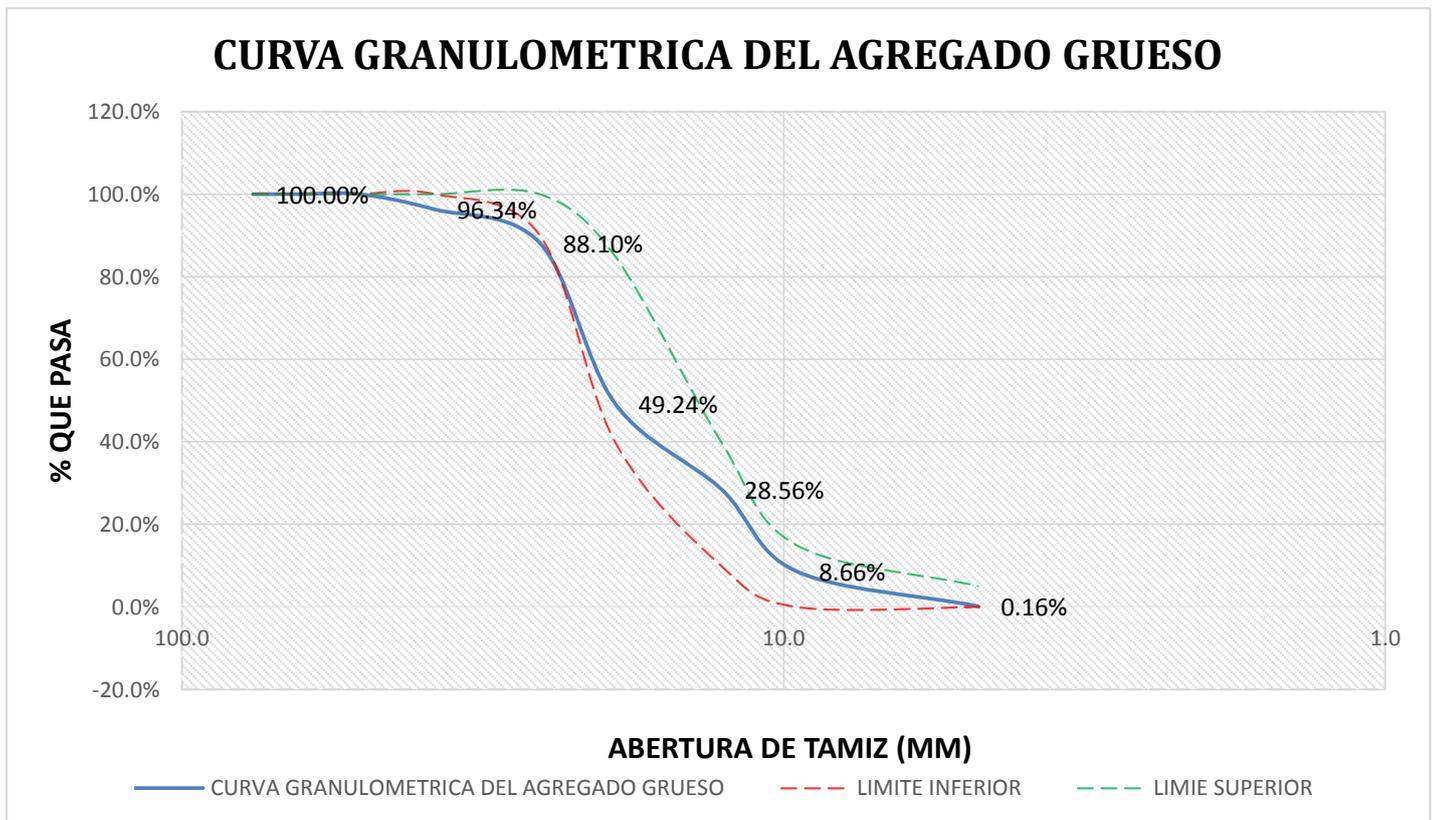
N° TAMIZ	DIAMETRO (mm)	MASA RETENIDA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO	PORCENTAJE QUE PASA
3/8"	9.5	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.76	10.00	2.00%	2.00%	98.00%
N°8	2.381	52.00	10.40%	12.40%	87.60%
N°16	1.191	60.00	12.00%	24.40%	75.60%
N°30	0.595	123.50	24.70%	49.10%	50.90%
N°50	0.296	140.00	28.00%	77.10%	22.90%
N°100	0.149	80.00	16.00%	93.10%	6.90%
N°200	0.074	27.00	5.40%	98.50%	1.50%
FONDO		7.50	1.50%	100.00%	0.00%
SUMATORIA		500.00			

M.F	2.58
T.MAX	9.50
T.MAX.NOMINAL	4.75

CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO FINO



Nº TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA DE SUELO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO	PESO (gr)	PORCENTAJE QUE PASA
2"	50.8	0.00	0.00%	0.00%	0.00	100.00%
1 1/2"	38.1	0.00	0.00%	0.00%	0.00	100.00%
1"	25.4	80.00	4.00%	4.00%	80.00	96.00%
3/4"	19.05	180.00	9.00%	13.00%	180.00	87.00%
1/2"	12.7	849.50	42.48%	55.48%	1029.50	44.53%
3/8"	9.53	452.00	22.60%	78.08%	1481.50	21.93%
4	4.75	435.00	21.75%	99.83%	1916.50	0.17%
8	2.36	0.00	0.00%	99.83%	1916.50	0.17%
16	1.18	0.00	0.00%	99.83%	1916.50	0.17%
30	0.6	0.00	0.00%	99.83%	1916.50	0.17%
50	0.3	0.00	0.00%	99.83%	1916.50	0.17%
100	0.15	0.00	0.00%	99.83%	1916.50	0.17%
FONDO		3.50	0.18%	100.00%	1920.00	0.00%
MASA TOTAL		2000.00	100.00%			



ANALISIS FISICO Y QUIMICO DE LA DIATOMITA



"Producción y Comercialización de Minerales No Metálicos Para la Industria"
"Production and Commercialization of Non Metallic Minerals for the Industry"

PROTOCOLO DE ANALISIS 45957

Fecha : Lima, 16 de Octubre del 2017

Producto : **FILTROLITE 12 (F12)**
 Caducidad : Duracion Indefinida
 Cliente : **ELVIS ALONSO SANCHEZ PAREDES**
 Lote: 16067024 Cantidad: 2 BOLSAS Presentación: Bolsa de Polipropileno de 22.68Kg
 Fprod. 24/10/2016
 Factura de Exp.: No aplica Orden: No aplica N°Contenedor: No aplica

El presente producto fue elaborado de acuerdo a los metodos y especificaciones establecidas por el Sistema de INSUMEX S.A. basado en los principios de la Norma Internacional de la Food Chemical Codex.-

ANALISIS FISICO					
	METODO INTERNO	UNIDAD	ESPECIFICACION		RESULTADO
			Min	Max	
Permeabilidad	AC-T-20	Darcy	0.70	1.09	0.95
Densidad Húmeda	AC-T-19	g /cc	-	0.35	0.32
Retencion en malla 150 Ty	AC-T-05	%	2.0	13.0	10.1

INFORMACION COMPLEMENTARIA			
Arsenico	Metodo Codex	ppm	< 10
Plomo	Metodo Codex	ppm	< 10
Ph	AC-T-21	-	9 - 10
Humedad	AC-T-01	%	0,1 - 1,0

COMPOSICION QUIMICA APROXIMADA	
SiO2	90.0
Al2O3	3.0
Fe2O3	1.4
CaO	0.4
MgO	0.3
Na2O + K2O	3.5
Otros	1.4

Los datos presentados corresponden al promedio típico para este producto, estos datos estan basados en pruebas efectuadas por INSUMEX S.A pero no aplican una garantia para un proposito especifico

Dirección:
 Av. San Juan 1611 Urb. Ind. Santa Martha Ate - Lima - Perú
 Teléfono (511) 351-1937 / Fax (511) 351-3737
 ventas@insumex.com.pe

INSUMEX S.A.

Ing. Leopoldo Cerdan Cotrina
 Jefe de Aseguramiento de la Calidad
 Ing. Leopoldo Cerdan Cotrina
 Jefe de Aseguramiento de la Calidad
 INSUMEX S.A.

Av. San Juan 1611 Urb. Industrial Santa Martha • Ate - Lima - PERÚ
 Telfs.: 351-3738 / 494-4949 / 351-3737 • Ventas: 351-1937
 E-mail: ventas@insumex.com.pe • www.insumex.com.pe

ANEXO 02

DISEÑO DE MEZCLAS PARA EL CEMENTO PORTLAND TIPO I

Proporciones para Relación a/c = 0.60

DISEÑO DE MEZCLAS			
Características de los Agregados			
	Arena	Piedra	
Módulo de Fineza	2.58	7.50	
Tamaño Max. Nominal	4.75	1"	
% Contenido de Humedad	0.80	0.94	
% Absorción	1.38	0.50	
Peso Específico (Kg/m ³)	2790.00	2880.00	
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1759.00	1425.00	
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1884.00	1598.00	
Características del Cemento			
Tipo	Cemento Portland tipo I		
Peso Específico (Kg/m ³)	3080		
Requerimiento del Concreto			
Relación A/C	0.60		
Slump	3" a 4"		
Análisis según método ACI			
Agua (Its)	195.00	Vaire (m ³)	0.015
Cemento (Kg)	325.00	Vagua (m ³)	0.195
Piedra (Kg)	1105.82	Vcemento (m ³)	0.1055
Arena (Kg)	838.44	Vpiedra (m ³)	0.348
		Varena (m ³)	0.3005
Cantidad de Material x m³			
Agua (Its)	195.00		
Cemento (Kg)	325.00		
Piedra (Kg)	1105.82		
Arena (Kg)	838.44		
Cantidad de Material x m³ (Peso en obra)		Proporción	
Cemento (Kg)	325.00	1	
Arena (Kg)	845.15	2.60	
Piedra (Kg)	1116.21	3.43	
Agua (Kg)	195.00	0.60	
Peso de probeta	14 Kg	Factor	0.006204703
Material Requerido para 1 probeta			
Cemento (Kg)	2.017		
Arena (Kg)	5.244		
Piedra (Kg)	6.926		
Agua (Kg)	1.209		

Proporciones para Relación a/c = 0.65

DISEÑO DE MEZCLAS			
Características de los Agregados			
		Arena	Piedra
Módulo de Fineza		2.58	7.50
Tamaño Max. Nominal		4.75	1"
% Contenido de Humedad		0.80	0.94
% Absorción		1.38	0.50
Peso Específico (Kg/m ³)		2790.00	2880.00
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)		1759.00	1425.00
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)		1884.00	1598.00
Características del Cemento			
Tipo		Cemento Portland tipo I	
Peso Específico (Kg/m ³)		3080	
Requerimiento del Concreto			
Relación A/C		0.65	
Slump		3" a 4"	
Análisis según método ACI			
Agua (Its)	195.00	Vaire (m ³)	0.015
Cemento (Kg)	300.00	Vagua (m ³)	0.195
Piedra (Kg)	1105.82	Vcemento (m ³)	0.097
Arena (Kg)	861.09	Vpiedra (m ³)	0.348
		Varena (m ³)	0.3086
Cantidad de Material x m³			
Agua (Its)		195.00	
Cemento (Kg)		300.00	
Piedra (Kg)		1105.82	
Arena (Kg)		861.09	
Cantidad de Material x m³ (Peso en obra)		Proporción	
Cemento (Kg)		300.00	1
Arena (Kg)		867.98	2.89
Piedra (Kg)		1116.21	3.72
Agua (Kg)		194.87	0.65
Peso de probeta	14 Kg	Factor	0.006204703
Material Requerido para 1 probeta			
Cemento (Kg)		1.861	
Arena (Kg)		5.385	
Piedra (Kg)		6.925	
Agua (Kg)		1.209	

Proporciones para Relación a/c = 0.70

DISEÑO DE MEZCLAS

Características de los Agregados			
	Arena	Piedra	
Módulo de Fineza	2.58	7.50	
Tamaño Max. Nominal	4.75	1"	
% Contenido de Humedad	0.80	0.94	
% Absorción	1.38	0.50	
Peso Específico (Kg/m ³)	2790.00	2880.00	
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1759.00	1425.00	
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1884.00	1598.00	
Características del Cemento			
Tipo	Cemento Portland tipo I		
Peso Específico (Kg/m ³)	3080		
Requerimiento del Concreto			
Relación A/C	0.70		
Slump	3" a 4"		
Análisis según método ACI			
Agua (Its)	195.00	Vaire (m ³)	0.015
Cemento (Kg)	278.57	Vagua (m ³)	0.195
Piedra (Kg)	1105.82	Vcemento (m ³)	0.0904
Arena (Kg)	880.50	Vpiedra (m ³)	0.348
		Varena (m ³)	0.3156
Cantidad de Material x m³			
Agua (Its)	195.00		
Cemento (Kg)	278.57		
Piedra (Kg)	1105.82		
Arena (Kg)	880.50		
Cantidad de Material x m³ (Peso en obra)		Proporción	
Cemento (Kg)	278.57	1	
Arena (Kg)	887.54	3.19	
Piedra (Kg)	1116.21	4.01	
Agua (Kg)	194.76	0.70	
Peso de probeta	14 Kg	Factor	0.006204703
Material Requerido para 1 probeta			
Cemento (Kg)	1.7285		
Arena (Kg)	5.507		
Piedra (Kg)	6.926		
Agua (Kg)	1.208		

DISEÑO DE MEZCLAS PARA EL CEMENTO PORTLAND EXTRAFORTE IC₀

Proporciones para Relación a/c = 0.60

DISEÑO DE MEZCLAS			
Características de los Agregados			
		Arena	Piedra
Módulo de Fineza		2.58	7.50
Tamaño Max. Nominal		4.75	1"
% Contenido de Humedad		0.80	0.94
% Absorción		1.38	0.50
Peso Específico (Kg/m ³)		2790.00	2880.00
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)		1759.00	1425.00
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)		1884.00	1598.00
Características del Cemento			
Tipo		Cemento Portland Extraforte Ico	
Peso Específico (Kg/m ³)		3000	
Requerimiento del Concreto			
Relación A/C		0.60	
Slump		3" a 4"	
Análisis según método ACI			
Agua (lts)	195.00	Vaire (m ³)	0.015
Cemento (Kg)	325.00	Vagua (m ³)	0.195
Piedra (Kg)	1105.82	Vcemento (m ³)	0.1083
Arena (Kg)	830.59	Vpiedra (m ³)	0.348
		Varena (m ³)	0.2977
Cantidad de Material x m³			
Agua (lts)		195.00	
Cemento (Kg)		325.00	
Piedra (Kg)		1105.82	
Arena (Kg)		830.59	
Cantidad de Material x m³ (Peso en obra)		Proporción	
Cemento (Kg)		325.00	1
Arena (Kg)		837.24	2.58
Piedra (Kg)		1116.21	3.43
Agua (Kg)		195.00	0.60
Peso de probeta	14 Kg	Factor	0.006204703
Material Requerido para 1 probeta			
Cemento (Kg)		2.017	
Arena (Kg)		5.194	
Piedra (Kg)		6.926	
Agua (Kg)		1.210	

Proporciones para Relación a/c = 0.65

DISEÑO DE MEZCLAS			
Características de los Agregados			
		Arena	Piedra
Módulo de Fineza		2.58	7.50
Tamaño Max. Nominal		4.75	1"
% Contenido de Humedad		0.80	0.94
% Absorción		1.38	0.50
Peso Específico (Kg/m ³)		2790.00	2880.00
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)		1759.00	1425.00
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)		1884.00	1598.00
Características del Cemento			
Tipo		Cemento Portland Extraforte Ico	
Peso Específico (Kg/m ³)		3000	
Requerimiento del Concreto			
Relación A/C		0.65	
Slump		3" a 4"	
Análisis según método ACI			
Agua (lts)	195.00	Vaire (m ³)	0.015
Cemento (Kg)	300.00	Vagua (m ³)	0.195
Piedra (Kg)	1105.82	Vcemento (m ³)	0.100
Arena (Kg)	853.84	Vpiedra (m ³)	0.348
		Varena (m ³)	0.3060
Cantidad de Material x m³			
Agua (lts)		195.00	
Cemento (Kg)		300.00	
Piedra (Kg)		1105.82	
Arena (Kg)		853.84	
Cantidad de Material x m³ (Peso en obra)		Proporción	
Cemento (Kg)		300.00	1
Arena (Kg)		860.67	2.87
Piedra (Kg)		1116.21	3.72
Agua (Kg)		194.91	0.65
Peso de probeta	14 Kg	Factor	0.006204703
Material Requerido para 1 probeta			
Cemento (Kg)		1.861	
Arena (Kg)		5.340	
Piedra (Kg)		6.925	
Agua (Kg)		1.209	

Proporciones para Relación a/c = 0.70

DISEÑO DE MEZCLAS

Características de los Agregados			
	Arena	Piedra	
Módulo de Fineza	2.58	7.50	
Tamaño Max. Nominal	4.75	1"	
% Contenido de Humedad	0.80	0.94	
% Absorción	1.38	0.50	
Peso Específico (Kg/m ³)	2790.00	2880.00	
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1759.00	1425.00	
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1884.00	1598.00	
Características del Cemento			
Tipo	Cemento Portland Extraforte Ico		
Peso Específico (Kg/m ³)	3000		
Requerimiento del Concreto			
Relación A/C	0.70		
Slump	3" a 4"		
Análisis según método ACI			
Agua (lts)	195.00	Vaire (m ³)	0.015
Cemento (Kg)	278.57	Vagua (m ³)	0.195
Piedra (Kg)	1105.82	Vcemento (m ³)	0.0929
Arena (Kg)	873.77	Vpiedra (m ³)	0.348
		Varena (m ³)	0.3156
Cantidad de Material x m³			
Agua (lts)	195.00		
Cemento (Kg)	278.57		
Piedra (Kg)	1105.82		
Arena (Kg)	873.77		
Cantidad de Material x m³ (Peso en obra)		Proporción	
Cemento (Kg)	278.57	1	
Arena (Kg)	880.76	3.16	
Piedra (Kg)	1116.21	4.01	
Agua (Kg)	194.80	0.70	
Peso de probeta	14 Kg	Factor	0.006204703
Material Requerido para 1 probeta			
Cemento (Kg)	1.7284		
Arena (Kg)	5.507		
Piedra (Kg)	6.926		
Agua (Kg)	1.208		

ANEXO 03

RESUMEN DE ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

DISEÑO DE MEZCLA CEMENTO TIPO I PARA UN CONCRETO A/C=0.60

Materiales	Peso (kg)	Equivale a:
Cemento	325.00	7.65 Bolsas
Agregado Grueso	1116.21	0.39 m3
Agua	195.00	0.20 m3
Agregado Fino	845.15	0.30 m3

Partida:	CONCRETO EN ZAPATAS					
Rendimiento:	25	m3/dia	Costo Unitario Directo por: m3			
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470101	Capataz	h-h	0.1	0.032	S/. 18.09	S/. 0.58
470102	Operario	h-h	2	0.64	S/. 15.07	S/. 9.65
470103	Oficial	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
470104	Peón	h-h	8	2.56	S/. 11.01	S/. 28.19
470022	Operador de equipo liviano	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
						S/. 46.24
Materiales						
230101	Cemento Portland Tipo I	bls.		7.65	S/. 19.92	S/. 152.29
050031	Piedra chancada de 3/4"	m3		0.39	S/. 38.14	S/. 14.87
390500	Agua	m3		0.20	S/. 7.00	S/. 1.40
050104	Arena Gruesa	m3		0.30	S/. 20.34	S/. 6.16
010004	Aceite para Motor SAE-30	gal.		0.0025	S/. 38.25	S/. 0.10
340000	Gasolina 84 Octanos	gal.		0.166	S/. 11.50	S/. 1.91
						S/. 176.74
Equipos y Herramientas						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3	S/. 46.24	S/. 1.39
490704	Vibrador de Concreto 4HP	h-m	1	0.32	S/. 7.25	S/. 2.32
491007	Mezcladora Concreto 9HP	h-m	1	0.32	S/. 23.20	S/. 7.42
						S/. 11.13
COSTO DE LA PARTIDA SIN IGV.					S/. 234.11	

ADICIONANDO 10% DE DIATOMITA EN PESO DEL CEMENTO.

Partida:	CONCRETO EN ZAPATAS					
Rendimiento:	25	m3/dia	Costo Unitario Directo por: m3			
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470101	Capataz	h-h	0.1	0.032	S/. 18.09	S/. 0.58
470102	Operario	h-h	2	0.64	S/. 15.07	S/. 9.65
470103	Oficial	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
470104	Peón	h-h	8	2.56	S/. 11.01	S/. 28.19
470022	Operador de equipo liviano	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
						S/. 46.24
Materiales						
230101	Cemento Portland Tipo I	bls.		7.65	S/. 19.92	S/. 152.29
230102	Diatomita Natural	bls.		0.65	S/. 12.71	S/. 8.26
050031	Piedra chancada de 3/4"	m3		0.39	S/. 38.14	S/. 14.87
390500	Agua	m3		0.20	S/. 7.00	S/. 1.40
050104	Arena Gruesa	m3		0.30	S/. 20.34	S/. 6.16
010004	Aceite para Motor SAE-30	gal.		0.0025	S/. 38.25	S/. 0.10
340000	Gasolina 84 Octanos	gal.		0.166	S/. 11.50	S/. 1.91
						S/. 185.00
Equipos y Herramientas						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3	S/. 46.24	S/. 1.39
490704	Vibrador de Concreto 4HP	h-m	1	0.32	S/. 7.25	S/. 2.32
491007	Mezcladora Concreto 9HP	h-m	1	0.32	S/. 23.20	S/. 7.42
						S/. 11.13
COSTO DE LA PARTIDA SIN IGV.					S/. 242.38	

DISEÑO DE MEZCLA CEMENTO TIPO I PARA UN CONCRETO A/C=0.65

Materiales	Peso (kg)	Equivale a:	
Cemento	300.00	7.06	Bolsas
Agregado Grueso	1116.21	0.39	m3
Agua	195.00	0.20	m3
Agregado Fino	867.98	0.31	m3

Partida:	CONCRETO EN ZAPATAS					
Rendimiento:	25	m3/dia	Costo Unitario Directo por: m3			
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470101	Capataz	h-h	0.1	0.032	S/. 18.09	S/. 0.58
470102	Operario	h-h	2	0.64	S/. 15.07	S/. 9.65
470103	Oficial	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
470104	Peón	h-h	8	2.56	S/. 11.01	S/. 28.19
470022	Operador de equipo liviano	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
						S/. 46.24
Materiales						
230101	Cemento Portland Tipo I	bls.		7.06	S/. 19.92	S/. 140.58
050031	Piedra chancada de 3/4"	m3		0.39	S/. 38.14	S/. 14.87
390500	Agua	m3		0.20	S/. 7.00	S/. 1.40
050104	Arena Gruesa	m3		0.31	S/. 20.34	S/. 6.33
010004	Aceite para Motor SAE-30	gal.		0.0025	S/. 38.25	S/. 0.10
340000	Gasolina 84 Octanos	gal.		0.166	S/. 11.50	S/. 1.91
						S/. 165.19
Equipos y Herramientas						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3	S/. 46.24	S/. 1.39
490704	Vibrador de Concreto 4HP	h-m	1	0.32	S/. 7.25	S/. 2.32
491007	Mezcladora Concreto 9HP	h-m	1	0.32	S/. 23.20	S/. 7.42
						S/. 11.13
COSTO DE LA PARTIDA SIN IGV.					S/. 222.56	

ADICIONANDO 10% DE DIATOMITA EN PESO DEL CEMENTO.

Partida:	CONCRETO EN ZAPATAS					
Rendimiento:	25	m3/dia	Costo Unitario Directo por: m3			
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470101	Capataz	h-h	0.1	0.032	S/. 18.09	S/. 0.58
470102	Operario	h-h	2	0.64	S/. 15.07	S/. 9.65
470103	Oficial	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
470104	Peón	h-h	8	2.56	S/. 11.01	S/. 28.19
470022	Operador de equipo liviano	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
						S/. 46.24
Materiales						
230101	Cemento Portland Tipo I	bls.		7.06	S/. 19.92	S/. 140.58
230102	Diatomita Natural	bls.		0.60	S/. 12.71	S/. 7.63
050031	Piedra chancada de 3/4"	m3		0.39	S/. 38.14	S/. 14.87
390500	Agua	m3		0.20	S/. 7.00	S/. 1.40
050104	Arena Gruesa	m3		0.31	S/. 20.34	S/. 6.33
010004	Aceite para Motor SAE-30	gal.		0.0025	S/. 38.25	S/. 0.10
340000	Gasolina 84 Octanos	gal.		0.166	S/. 11.50	S/. 1.91
						S/. 172.82
Equipos y Herramientas						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3	S/. 46.24	S/. 1.39
490704	Vibrador de Concreto 4HP	h-m	1	0.32	S/. 7.25	S/. 2.32
491007	Mezcladora Concreto 9HP	h-m	1	0.32	S/. 23.20	S/. 7.42
						S/. 11.13
COSTO DE LA PARTIDA SIN IGV.					S/. 230.19	

DISEÑO DE MEZCLA CEMENTO TIPO I PARA UN CONCRETO A/C=0.70

Materiales	Peso (kg)	Equivale a:	
Cemento	278.57	6.55	Bolsas
Agregado Grueso	1116.21	0.39	m3
Agua	195.00	0.20	m3
Agregado Fino	887.54	0.32	m3

Partida:	CONCRETO EN ZAPATAS					
Rendimiento:	25	m3/dia	Costo Unitario Directo por: m3			
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470101	Capataz	h-h	0.1	0.032	S/. 18.09	S/. 0.58
470102	Operario	h-h	2	0.64	S/. 15.07	S/. 9.65
470103	Oficial	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
470104	Peón	h-h	8	2.56	S/. 11.01	S/. 28.19
470022	Operador de equipo liviano	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
						S/. 46.24
Materiales						
230101	Cemento Portland Tipo I	bls.		6.55	S/. 19.92	S/. 130.54
050031	Piedra chancada de 3/4"	m3		0.39	S/. 38.14	S/. 14.87
390500	Agua	m3		0.20	S/. 7.00	S/. 1.40
050104	Arena Gruesa	m3		0.32	S/. 20.34	S/. 6.47
010004	Aceite para Motor SAE-30	gal.		0.0025	S/. 38.25	S/. 0.10
340000	Gasolina 84 Octanos	gal.		0.166	S/. 11.50	S/. 1.91
						S/. 155.29
Equipos y Herramientas						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3	S/. 46.24	S/. 1.39
490704	Vibrador de Concreto 4HP	h-m	1	0.32	S/. 7.25	S/. 2.32
491007	Mezcladora Concreto 9HP	h-m	1	0.32	S/. 23.20	S/. 7.42
						S/. 11.13
COSTO DE LA PARTIDA SIN IGV.					S/. 212.67	

ADICIONANDO 10% DE DIATOMITA EN PESO DEL CEMENTO.

Partida:	CONCRETO EN ZAPATAS					
Rendimiento:	25	m3/dia	Costo Unitario Directo por: m3			
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470101	Capataz	h-h	0.1	0.032	S/. 18.09	S/. 0.58
470102	Operario	h-h	2	0.64	S/. 15.07	S/. 9.65
470103	Oficial	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
470104	Peón	h-h	8	2.56	S/. 11.01	S/. 28.19
470022	Operador de equipo liviano	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
						S/. 46.24
Materiales						
230101	Cemento Portland Tipo I	bls.		6.55	S/. 19.92	S/. 130.54
230102	Diatomita Natural	bls.		0.56	S/. 12.71	S/. 7.08
050031	Piedra chancada de 3/4"	m3		0.39	S/. 38.14	S/. 14.87
390500	Agua	m3		0.20	S/. 7.00	S/. 1.40
050104	Arena Gruesa	m3		0.32	S/. 20.34	S/. 6.47
010004	Aceite para Motor SAE-30	gal.		0.0025	S/. 38.25	S/. 0.10
340000	Gasolina 84 Octanos	gal.		0.166	S/. 11.50	S/. 1.91
						S/. 162.37
Equipos y Herramientas						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3	S/. 46.24	S/. 1.39
490704	Vibrador de Concreto 4HP	h-m	1	0.32	S/. 7.25	S/. 2.32
491007	Mezcladora Concreto 9HP	h-m	1	0.32	S/. 23.20	S/. 7.42
						S/. 11.13
COSTO DE LA PARTIDA SIN IGV.					S/. 219.75	

DISEÑO DE MEZCLA CEMENTO EXTRAFORTE IC₀ PARA UN CONCRETO A/C=0.60

Materiales	Peso (kg)	Equivale a:	
Cemento	325.00	7.65	Bolsas
Agregado Grueso	1116.21	0.39	m3
Agua	195.00	0.20	m3
Agregado Fino	837.24	0.30	m3

Partida:	CONCRETO EN ZAPATAS					
Rendimiento:	25	m3/dia	Costo Unitario Directo por: m3			
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470101	Capataz	h-h	0.1	0.032	S/. 18.09	S/. 0.58
470102	Operario	h-h	2	0.64	S/. 15.07	S/. 9.65
470103	Oficial	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
470104	Peón	h-h	8	2.56	S/. 11.01	S/. 28.19
470022	Operador de equipo liviano	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
						S/. 46.24
Materiales						
230101	Cemento Portland Tipo I	bls.		7.65	S/. 19.07	S/. 145.81
050031	Piedra chancada de 3/4"	m3		0.39	S/. 38.14	S/. 14.87
390500	Agua	m3		0.20	S/. 7.00	S/. 1.40
050104	Arena Gruesa	m3		0.30	S/. 20.34	S/. 6.10
010004	Aceite para Motor SAE-30	gal.		0.0025	S/. 38.25	S/. 0.10
340000	Gasolina 84 Octanos	gal.		0.166	S/. 11.50	S/. 1.91
						S/. 170.20
Equipos y Herramientas						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3	S/. 46.24	S/. 1.39
490704	Vibrador de Concreto 4HP	h-m	1	0.32	S/. 7.25	S/. 2.32
491007	Mezcladora Concreto 9HP	h-m	1	0.32	S/. 23.20	S/. 7.42
						S/. 11.13
COSTO DE LA PARTIDA SIN IGV.					S/. 227.57	

ADICIONANDO 10% DE DIATOMITA EN PESO DEL CEMENTO.

Partida:	CONCRETO EN ZAPATAS					
Rendimiento:	25	m3/dia	Costo Unitario Directo por: m3			
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470101	Capataz	h-h	0.1	0.032	S/. 18.09	S/. 0.58
470102	Operario	h-h	2	0.64	S/. 15.07	S/. 9.65
470103	Oficial	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
470104	Peón	h-h	8	2.56	S/. 11.01	S/. 28.19
470022	Operador de equipo liviano	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
						S/. 46.24
Materiales						
230101	Cemento Portland Tipo I	bls.		7.65	S/. 19.07	S/. 145.81
230102	Diatomita Natural	bls.		0.65	S/. 12.71	S/. 8.26
050031	Piedra chancada de 3/4"	m3		0.39	S/. 38.14	S/. 14.87
390500	Agua	m3		0.20	S/. 7.00	S/. 1.40
050104	Arena Gruesa	m3		0.30	S/. 20.34	S/. 6.10
010004	Aceite para Motor SAE-30	gal.		0.0025	S/. 38.25	S/. 0.10
340000	Gasolina 84 Octanos	gal.		0.166	S/. 11.50	S/. 1.91
						S/. 178.46
Equipos y Herramientas						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3	S/. 46.24	S/. 1.39
490704	Vibrador de Concreto 4HP	h-m	1	0.32	S/. 7.25	S/. 2.32
491007	Mezcladora Concreto 9HP	h-m	1	0.32	S/. 23.20	S/. 7.42
						S/. 11.13
COSTO DE LA PARTIDA SIN IGV.					S/. 235.84	

DISEÑO DE MEZCLA CEMENTO EXTRAFORTE IC₀ PARA UN CONCRETO A/C=0.65

Materiales	Peso (kg)	Equivale a:	
Cemento	300.00	7.06	Bolsas
Agregado Grueso	1116.21	0.39	m ³
Agua	195.00	0.20	m ³
Agregado Fino	860.67	0.31	m ³

Partida:	CONCRETO EN ZAPATAS					
Rendimiento:	25	m ³ /día	Costo Unitario Directo por: m ³			
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470101	Capataz	h-h	0.1	0.032	S/. 18.09	S/. 0.58
470102	Operario	h-h	2	0.64	S/. 15.07	S/. 9.65
470103	Oficial	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
470104	Peón	h-h	8	2.56	S/. 11.01	S/. 28.19
470022	Operador de equipo liviano	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
						S/. 46.24
Materiales						
230101	Cemento Portland Tipo I	bls.		7.06	S/. 19.07	S/. 134.60
050031	Piedra chancada de 3/4"	m ³		0.39	S/. 38.14	S/. 14.87
390500	Agua	m ³		0.20	S/. 7.00	S/. 1.40
050104	Arena Gruesa	m ³		0.31	S/. 20.34	S/. 6.27
010004	Aceite para Motor SAE-30	gal.		0.0025	S/. 38.25	S/. 0.10
340000	Gasolina 84 Octanos	gal.		0.166	S/. 11.50	S/. 1.91
						S/. 159.15
Equipos y Herramientas						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3	S/. 46.24	S/. 1.39
490704	Vibrador de Concreto 4HP	h-m	1	0.32	S/. 7.25	S/. 2.32
491007	Mezcladora Concreto 9HP	h-m	1	0.32	S/. 23.20	S/. 7.42
						S/. 11.13
COSTO DE LA PARTIDA SIN IGV.					S/. 216.53	

ADICIONANDO 10% DE DIATOMITA EN PESO DEL CEMENTO.

Partida:	CONCRETO EN ZAPATAS					
Rendimiento:	25	m3/dia	Costo Unitario Directo por: m3			
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470101	Capataz	h-h	0.1	0.032	S/. 18.09	S/. 0.58
470102	Operario	h-h	2	0.64	S/. 15.07	S/. 9.65
470103	Oficial	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
470104	Peón	h-h	8	2.56	S/. 11.01	S/. 28.19
470022	Operador de equipo liviano	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
						S/. 46.24
Materiales						
230101	Cemento Portland Tipo I	bls.		7.06	S/. 19.07	S/. 134.60
230102	Diatomita Natural	bls.		0.60	S/. 12.71	S/. 7.63
050031	Piedra chancada de 3/4"	m3		0.39	S/. 38.14	S/. 14.87
390500	Agua	m3		0.20	S/. 7.00	S/. 1.40
050104	Arena Gruesa	m3		0.31	S/. 20.34	S/. 6.27
010004	Aceite para Motor SAE-30	gal.		0.0025	S/. 38.25	S/. 0.10
340000	Gasolina 84 Octanos	gal.		0.166	S/. 11.50	S/. 1.91
						S/. 166.78
Equipos y Herramientas						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3	S/. 46.24	S/. 1.39
490704	Vibrador de Concreto 4HP	h-m	1	0.32	S/. 7.25	S/. 2.32
491007	Mezcladora Concreto 9HP	h-m	1	0.32	S/. 23.20	S/. 7.42
						S/. 11.13
COSTO DE LA PARTIDA SIN IGV.					S/. 224.16	

DISEÑO DE MEZCLA CEMENTO EXTRAFORTE IC₀ PARA UN CONCRETO A/C=0.70

Materiales	Peso (kg)	Equivale a:	
Cemento	278.57	6.55	Bolsas
Agregado Grueso	1116.21	0.39	m3
Agua	195.00	0.20	m3
Agregado Fino	880.76	0.32	m3

Partida:	CONCRETO EN ZAPATAS					
Rendimiento:	25	m3/dia	Costo Unitario Directo por: m3			
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470101	Capataz	h-h	0.1	0.032	S/. 18.09	S/. 0.58
470102	Operario	h-h	2	0.64	S/. 15.07	S/. 9.65
470103	Oficial	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
470104	Peón	h-h	8	2.56	S/. 11.01	S/. 28.19
470022	Operador de equipo liviano	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
						S/. 46.24
Materiales						
230101	Cemento Portland Tipo I	bls.		6.55	S/. 19.07	S/. 124.98
050031	Piedra chancada de 3/4"	m3		0.39	S/. 38.14	S/. 14.87
390500	Agua	m3		0.20	S/. 7.00	S/. 1.40
050104	Arena Gruesa	m3		0.32	S/. 20.34	S/. 6.42
010004	Aceite para Motor SAE-30	gal.		0.0025	S/. 38.25	S/. 0.10
340000	Gasolina 84 Octanos	gal.		0.166	S/. 11.50	S/. 1.91
						S/. 149.69
Equipos y Herramientas						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3	S/. 46.24	S/. 1.39
490704	Vibrador de Concreto 4HP	h-m	1	0.32	S/. 7.25	S/. 2.32
491007	Mezcladora Concreto 9HP	h-m	1	0.32	S/. 23.20	S/. 7.42
						S/. 11.13
COSTO DE LA PARTIDA SIN IGV.					S/. 207.06	

ADICIONANDO 10% DE DIATOMITA EN PESO DEL CEMENTO.

Partida:	CONCRETO EN ZAPATAS					
Rendimiento:	25	m3/dia	Costo Unitario Directo por: m3			
Código	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470101	Capataz	h-h	0.1	0.032	S/. 18.09	S/. 0.58
470102	Operario	h-h	2	0.64	S/. 15.07	S/. 9.65
470103	Oficial	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
470104	Peón	h-h	8	2.56	S/. 11.01	S/. 28.19
470022	Operador de equipo liviano	h-h	1	0.32	S/. 12.23	S/. 3.91
						S/. 46.24
Materiales						
230101	Cemento Portland Tipo I	bls.		6.55	S/. 19.07	S/. 124.98
230102	Diatomita Natural	bls.		0.56	S/. 12.71	S/. 7.08
050031	Piedra chancada de 3/4"	m3		0.39	S/. 38.14	S/. 14.87
390500	Agua	m3		0.20	S/. 7.00	S/. 1.40
050104	Arena Gruesa	m3		0.32	S/. 20.34	S/. 6.42
010004	Aceite para Motor SAE-30	gal.		0.0025	S/. 38.25	S/. 0.10
340000	Gasolina 84 Octanos	gal.		0.166	S/. 11.50	S/. 1.91
						S/. 156.77
Equipos y Herramientas						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3	S/. 46.24	S/. 1.39
490704	Vibrador de Concreto 4HP	h-m	1	0.32	S/. 7.25	S/. 2.32
491007	Mezcladora Concreto 9HP	h-m	1	0.32	S/. 23.20	S/. 7.42
						S/. 11.13
COSTO DE LA PARTIDA SIN IGV.					S/. 214.14	

ANEXO 04

A) RESUMEN FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN, CURADO, ENSAYO DE COMPRESIÓN.



Foto 01.- Preparación de mezcla para prueba de SLUMP



Foto 02.- Determinación del SLUMP (7cm)



Foto 03.- Preparación de mezcla para Ensayo de Compresión



Foto 04.- Vaciado de Probetas para ensayo a Compresión.



Foto 05.- Desencofrado de Probetas para su posterior curado.



Foto 06.- Ensayo a la compresión normalizado



Foto 07.- Ensayo a la compresión normalizado

**B) RESUMEN FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN, CURADO
ENSAYO DE LA MEDIA CELDA.**

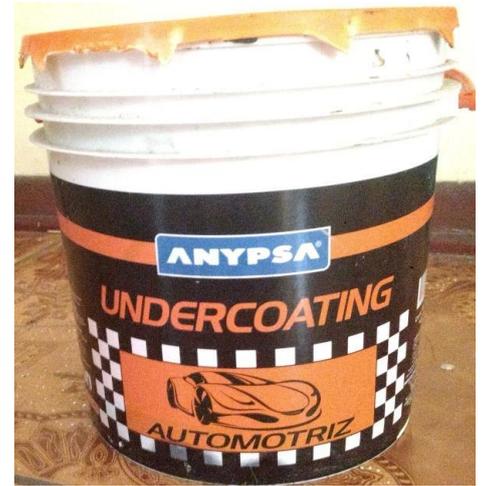


Foto 08: Materiales para la elaboración de las Probetas y Ensayo de Media Celda



Foto 09: Elaboración de probetas con acero embebido en concreto.



Foto 10: Curado de probetas en agua con cal después del vaciado.



Foto 11: Probetas listas para lectura de datos.

ANEXO 05

PROCESAMIENTO DE DATOS



Foto 12: Verificando el electrodo de referencia Cu/CuSO₄

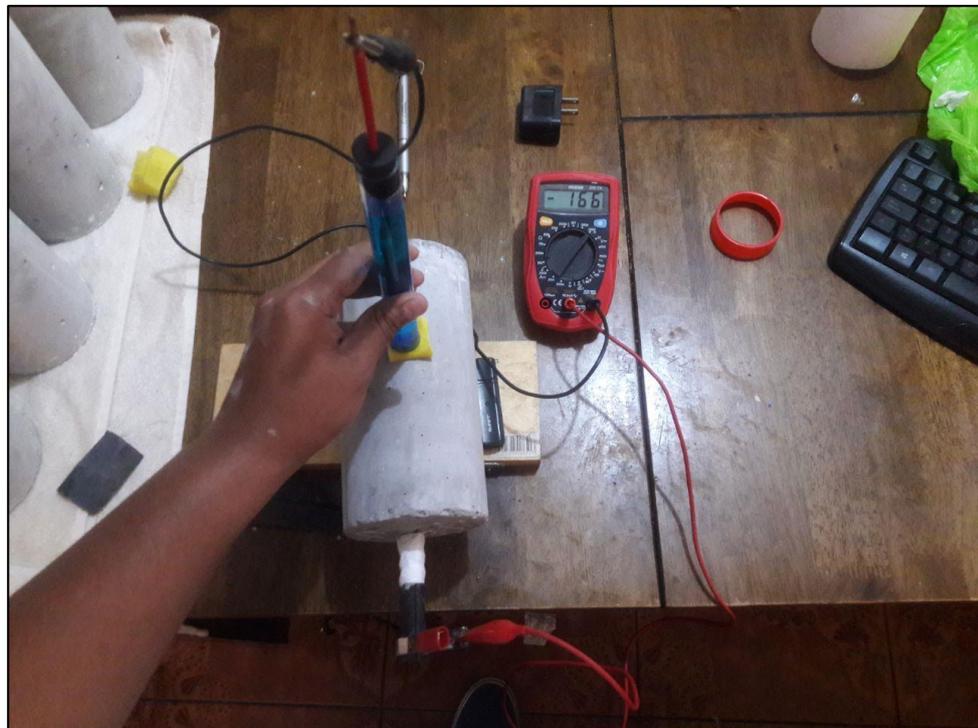


Foto 13: Midiendo el Potencial de Corrosión del Acero

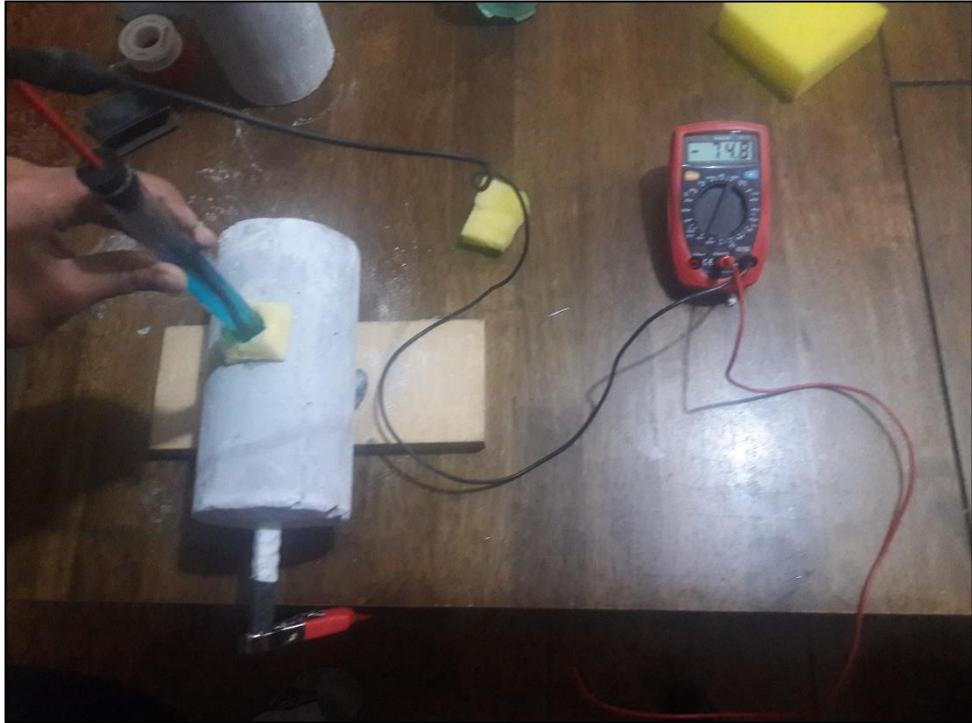


Foto 14: Midiendo el Potencial de Corrosión del Acero

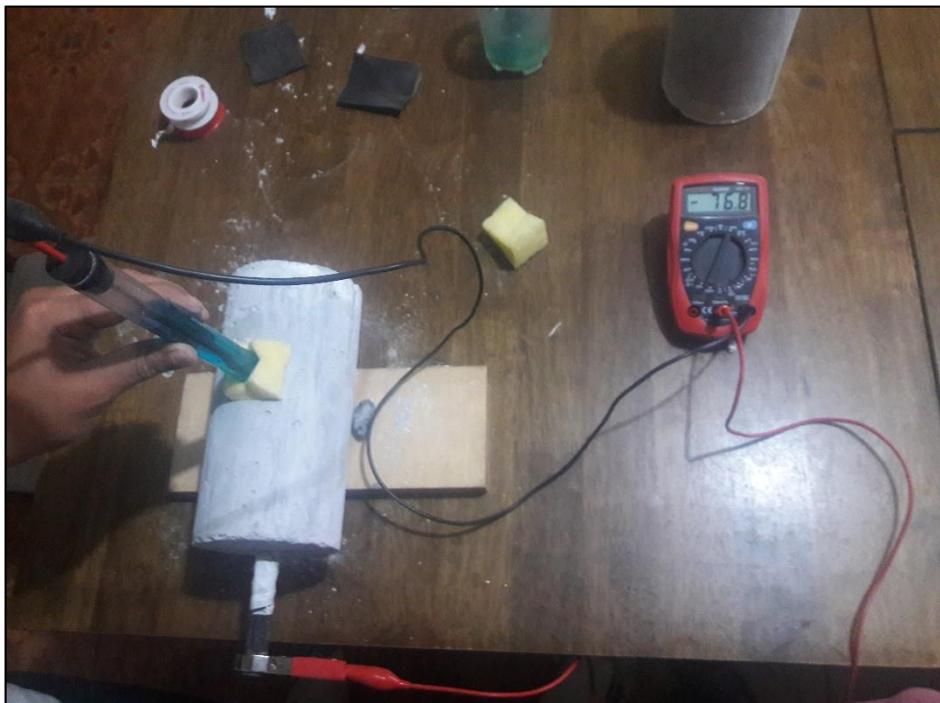


Foto 15: Midiendo el Potencial de Corrosión del Acero



Foto 16: Midiendo el Potencial de Corrosión del Acero

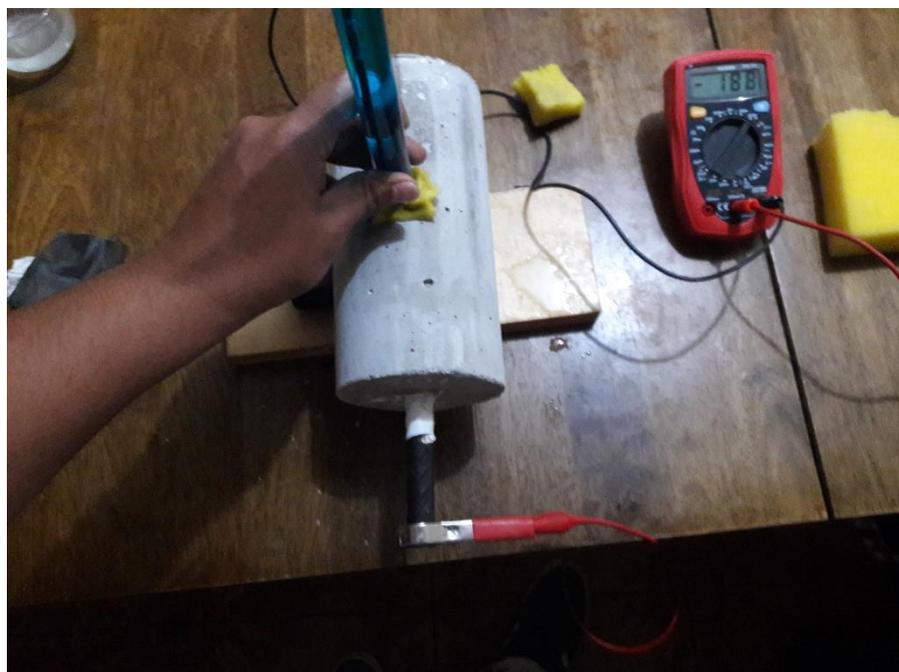


Foto 17: Midiendo el Potencial de Corrosión del Acero

ANEXO 06:**PROCESO DE CÁLCULO PARA LA OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA
PROMEDIO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I****RELACIÓN A/C = 0.60**

DOSIFICACIÓN (%)	PROBETAS	CARGA (Kg)	PROMEDIO (Kg)	RESISTENCIA (Kg/Cm²)	PROMEDIO (Kg/Cm²)
0	1	31620	31805	178.93	179.98
	2	31990		181.03	
5	1	33010	33300	186.80	188.44
	2	33590		190.08	
10	1	33210	33480	187.93	189.46
	2	33750		190.99	
20	1	32100	32285	181.65	182.70
	2	32470		183.74	

RELACIÓN A/C = 0.65

DOSIFICACIÓN (%)	PROBETAS	CARGA (Kg)	PROMEDIO (Kg)	RESISTENCIA (Kg/Cm²)	PROMEDIO (Kg/Cm²)
0	1	29520	29320	167.05	165.92
	2	29120		164.79	
5	1	30750	30565	174.01	172.96
	2	30380		171.92	
10	1	30110	30490	170.39	172.54
	2	30870		174.69	
20	1	29310	29545	165.86	167.19
	2	29780		168.52	

RELACIÓN A/C = 0.70

DOSIFICACIÓN (%)	PROBETAS	CARGA (Kg)	PROMEDIO (Kg)	RESISTENCIA (Kg/Cm²)	PROMEDIO (Kg/Cm²)
0	1	26890	27205	152.17	153.95
	2	27520		155.73	
5	1	28230	28565	159.75	161.64
	2	28900		163.54	
10	1	28840	28675	163.20	162.27
	2	28510		161.33	
20	1	27290	27460	154.43	155.39
	2	27630		156.35	

**PROCESO DE CÁLCULO PARA LA OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA
PROMEDIO DEL CEMENTO PORTLAND EXTRAFORTE IC₀**

RELACIÓN A/C = 0.60

DOSIFICACIÓN (%)	PROBETAS	CARGA (Kg)	PROMEDIO (Kg)	RESISTENCIA (Kg/Cm²)	PROMEDIO (Kg/Cm²)
0	1	31450	31005	177.97	175.45
	2	30560		172.93	
5	1	32890	32490	186.12	183.86
	2	32090		181.59	
10	1	32850	32620	185.89	184.59
	2	32390		183.29	
20	1	31720	31615	179.50	178.90
	2	31510		178.31	

RELACIÓN A/C = 0.65

DOSIFICACIÓN (%)	PROBETAS	CARGA (Kg)	PROMEDIO (Kg)	RESISTENCIA (Kg/Cm²)	PROMEDIO (Kg/Cm²)
0	1	27960	27540	158.22	155.84
	2	27120		153.47	
5	1	28560	28520	161.62	161.39
	2	28480		161.16	
10	1	28750	28650	162.69	162.13
	2	28550		161.56	
20	1	28140	27620	159.24	156.30
	2	27100		153.35	

RELACIÓN A/C = 0.70

DOSIFICACIÓN (%)	PROBETAS	CARGA (Kg)	PROMEDIO (Kg)	RESISTENCIA (Kg/Cm²)	PROMEDIO (Kg/Cm²)
0	1	25460	25900	144.07	146.56
	2	26340		149.05	
5	1	26730	27190	151.26	153.86
	2	27650		156.47	
10	1	26990	27100	152.73	153.35
	2	27210		153.98	
20	1	25850	26295	146.28	148.80
	2	26740		151.32	

ANEXO 07:

PROCESO DE CÁLCULO PARA LA OBTENCIÓN DE POTENCIALES DE CORROSIÓN PROMEDIO

RELACIÓN A/C = 0.60 – CEMENTO PORTLAND TIPO I

LECTURAS A LOS 7 DÍAS DE SECADO											
Lecturas		Primera Lectura		Segunda Lectura		Tercera Lectura		Cuarta Lectura		Quinta Lectura	
Probetas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dosificación	0%	-210.0	-179.0	-251.0	-221.0	-275.0	-274.0	-304.0	-303.0	-311.0	-310.0
		-210.0	-186.0	-240.0	-218.0	-266.0	-268.0	-295.0	-297.0	-302.0	-304.0
	5%	-166.0	-168.0	-219.0	-238.0	-283.0	-227.0	-312.0	-256.0	-319.0	-263.0
		-140.0	-160.0	-224.0	-235.0	-291.0	-216.0	-320.0	-245.0	-327.0	-252.0
	10%	-172.0	-168	-170	-153	-210	-216	-239	-245	-246	-252
		-172.0	-168.0	-170.0	-153.0	-210.0	-216.0	-239.0	-245.0	-246.0	-252.0
	20%	-155.0	-162.0	-193.0	-162.0	-204.0	-218.0	-233.0	-247.0	-240.0	-354.0
		-192.0	-208.0	-242.0	-336.0	-343.0	-414.0	-372.0	-443.0	-379.0	-450.0

PROMEDIO DE LAS LECTURAS

Relación 0.60 con Cemento Portland Tipo I						
Lecturas tomadas		1	2	3	4	5
Dosificación	0%	-196.3	-232.5	-270.75	-299.8	-306.8
	5%	-158.5	-229.0	-254.3	-283.3	-290.3
	10%	-164.3	-169.5	-212.0	-241.0	-248.0
	20%	-192.0	-287.8	-380.8	-409.8	-416.8

RELACIÓN A/C = 0.65 – CEMENTO PORTLAND TIPO I

LECTURAS A LOS 7 DÍAS DE SECADO											
Lecturas		Primera Lectura		Segunda Lectura		Tercera Lectura		Cuarta Lectura		Quinta Lectura	
Probetas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dosificación	0%	-152.0	-178.5	-373.0	-349.0	-357.0	-349.0	-380.0	-372.0	-388.0	-380.0
		-184.8	-180.3	-368.0	-348.0	-352.0	-357.0	-375.0	-380.0	-383.0	-388.0
	5%	-174.0	-179.0	-285.0	-314.0	-256.0	-307.0	-279.0	-330.0	-287.0	-338.0
		-186.5	-181.5	-280.0	-291.0	-252.0	-305.0	-275.0	-328.0	-283.0	-336.0
	10%	-184.8	-191.5	-305.0	-300.0	-327.0	-346.0	-350.0	-354.0	-358.0	-362.0
		-184.3	-186.7	-335.0	-302.0	-315.0	-332.0	-338.0	-355.0	-346.0	-363.0
	20%	-179.0	-177.5	-328.0	-280.0	-426.0	-348.0	-449.0	-371.0	-457.0	-379.0
		-168.6	-189.5	-320.0	-282.0	-417.0	-335.0	-440.0	-358.0	-448.0	-366.0

PROMEDIO DE LAS LECTURAS

Relación 0.65 con Cemento Portland Tipo I						
Lecturas tomadas		1	2	3	4	5
Dosificación	0%	-173.9	-359.5	-353.8	-376.8	-384.8
	5%	-180.3	-292.5	-280.0	-303.0	-311.0
	10%	-186.8	-310.5	-330.0	-349.3	-357.3
	20%	-178.7	-302.5	-381.5	-404.5	-412.5

RELACIÓN A/C = 0.70 – CEMENTO PORTLAND TIPO I

LECTURAS A LOS 7 DÍAS DE SECADO											
Lecturas		Primera Lectura		Segunda Lectura		Tercera Lectura		Cuarta Lectura		Quinta Lectura	
Probetas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dosificación	0%	-140.0	-161.6	-260.0	-311.0	-322.0	-250.0	-349.0	-277.0	-355.0	-283.0
		-160.5	-187.0	-262.0	-309.0	-317.0	-257.0	-344.0	-284.0	-350.0	-290.0
	5%	-129.5	-177.7	-291.0	-267.0	-305.0	-277.0	-332.0	-304.0	-338.0	-310.0
		-132.4	-186.0	-286.0	-263.0	-296.0	-272.0	-323.0	-299.0	-329.0	-305.0
	10%	-176.4	-131.5	-228.0	-224.0	-275.0	-217.0	-302.0	-244.0	-308.0	-250.0
		-174.0	-123.8	-227.0	-226.0	-267.0	-222.0	-294.0	-249.0	-300.0	-255.0
	20%	-230.0	-197.0	-286.0	-270.0	-459.0	-340.0	-486.0	-367.0	-492.0	-373.0
		-228.0	-212.0	-290.0	-263.0	-457.0	-333.0	-484.0	-360.0	-490.0	-366.0

PROMEDIO DE LAS LECTURAS

Relación 0.70 con Cemento Portland Tipo I						
Lecturas tomadas		1	2	3	4	5
Dosificación	0%	-162.3	-285.5	-286.5	-313.5	-319.5
	5%	-156.4	-276.8	-287.5	-314.5	-320.5
	10%	-151.4	-226.3	-245.3	-272.3	-278.3
	20%	-216.8	-277.3	-397.3	-424.3	-430.3

RELACIÓN A/C = 0.60 – CEMENTO PORTLAND EXTRAFORTE ICo

LECTURAS A LOS 7 DÍAS DE SECADO											
Lecturas		Primera Lectura		Segunda Lectura		Tercera Lectura		Cuarta Lectura		Quinta Lectura	
Probetas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dosificación	0%	-247.0	-230.0	-308.0	-306.0	-326.0	-325.0	-343.0	-344.0	-350.0	-351.0
		-212.0	-228.8	-343.0	-358.0	-328.0	-312.0	-348.0	-341.0	-355.0	-348.0
	5%	-185.0	-184.0	-293.0	-291.0	-244.0	-244.0	-273.0	-273.0	-280.0	-280.0
		-199.0	-195.6	-290.0	-280.0	-246.0	-236.0	-275.0	-265.0	-282.0	-272.0
	10%	-193.5	-186.5	-298.0	-300.0	-261.0	-237.0	-290.0	-266.0	-297.0	-273.0
		-158.6	-192.6	-319.0	-320.0	-239.0	-224.0	-268.0	-253.0	-275.0	-260.0
	20%	-193.0	-190.2	-288.0	-281.0	-392.0	-383.0	-421.0	-412.0	-428.0	-419.0
		-185.2	-188.7	-286.0	-279.0	-388.0	-378.0	-417.0	-407.0	-424.0	-414.0

PROMEDIO DE LAS LECTURAS

Relación 0.60 con Cemento Portland Extraforte ICo						
Lecturas tomadas		1	2	3	4	5
Dosificación	0%	-229.5	-328.8	-322.8	-344.0	-351.0
	5%	-190.9	-288.5	-242.5	-271.5	-278.5
	10%	-182.8	-309.3	-240.3	-269.3	-276.3
	20%	-189.3	-283.5	-385.3	-414.3	-421.3

RELACIÓN A/C = 0.65 – CEMENTO PORTLAND EXTRAFORTE ICo

LECTURAS A LOS 7 DÍAS DE SECADO											
Lecturas		Primera Lectura		Segunda Lectura		Tercera Lectura		Cuarta Lectura		Quinta Lectura	
Probetas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dosificación	0%	-198.0	-220.0	-253.0	-310.0	-235.0	-315.0	-258.0	-338.0	-266.0	-346.0
		-199.0	-231.0	-260.0	-312.0	-237.0	-322.0	-260.0	-345.0	-268.0	-353.0
	5%	-157.7	-156.4	-307.0	-208.0	-326.0	-382.0	-349.0	-405.0	-357.0	-413.0
		-161.0	-155.7	-308.0	-212.0	-317.0	-375.0	-340.0	-398.0	-348.0	-406.0
	10%	-165.2	-180.0	-194.0	-206.0	-213.0	-226.0	-236.0	-249.0	-244.0	-257.0
		-186.5	-176.0	-198.0	-210.0	-212.0	-229.0	-235.0	-252.0	-243.0	-260.0
	20%	-198.3	-227.0	-207.0	-320.0	-345.0	-387.0	-368.0	-410.0	-376.0	-418.0
		-215.0	-241.0	-213.0	-322.0	-352.0	-393.0	-375.0	-416.0	-383.0	-424.0

PROMEDIO DE LAS LECTURAS

Relación 0.65 con Cemento Portland Extraforte ICo						
Lecturas tomadas		1	2	3	4	5
Dosificación	0%	-212.0	-283.8	-277.3	-300.3	-308.3
	5%	-157.7	-258.8	-350.0	-373.0	-381.0
	10%	-176.9	-202.0	-220.0	-243.0	-251.0
	20%	-220.3	-265.5	-369.3	-392.3	-400.3

RELACIÓN A/C = 0.70 – CEMENTO PORTLAND EXTRAFORTE IC_o

LECTURAS A LOS 7 DÍAS DE SECADO											
Lecturas		Primera Lectura		Segunda Lectura		Tercera Lectura		Cuarta Lectura		Quinta Lectura	
Probetas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dosificación	0%	-159.6	-160.2	-266.0	-328.0	-315.0	-267.0	-342.0	-294.0	-348.0	-300.0
		-167.2	-180.4	-272.0	-325.0	-322.0	-265.0	-349.0	-292.0	-355.0	-298.0
	5%	-174.8	-164.5	-226.0	-259.0	-292.0	-269.0	-319.0	-296.0	-325.0	-302.0
		-186.5	-178.6	-230.0	-260.0	-290.0	-267.0	-317.0	-294.0	-323.0	-300.0
	10%	-173.6	-200.2	-317.0	-325.0	-292.2	-377.0	-317.0	-404.0	-323.0	-410.0
		-176.8	-193.3	-313.0	-327.0	-286.0	-372.0	-313.0	-399.0	-319.0	-405.0
	20%	-189.0	-178.0	-343.0	-300.0	-517.0	-456.0	-522.0	-483.0	-528.0	-489.0
		-212.0	-215.0	-345.0	-302.0	-522.0	-457.0	-506.0	-484.0	-512.0	-490.0

PROMEDIO DE LAS LECTURAS

Relación 0.70 con Cemento Portland Extraforte IC_o						
Lecturas tomadas		1	2	3	4	5
Dosificación	0%	-166.9	-297.8	-292.3	-319.3	-325.3
	5%	-176.1	-243.8	-279.5	-306.5	-312.5
	10%	-186.0	-320.5	-331.8	-358.3	-364.3
	20%	-198.5	-322.5	-488.0	-498.8	-504.8

RELACIÓN A/C = 0.60 – CEMENTO PORTLAND TIPO I

LECTURAS A LOS 14 DÍAS DE SECADO											
Lecturas		Primera Lectura		Segunda Lectura		Tercera Lectura		Cuarta Lectura		Quinta Lectura	
Probetas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dosificación	0%	-92.4	-89.7	-186.5	-223.0	-237.0	-236.0	-250.0	-249.0	-258.0	-257.0
		-98.9	-97.2	-184.3	-228.0	-228.0	-230.0	-241.0	-243.0	-249.0	-251.0
	5%	-88.6	-89.5	-227.0	-181.0	-245.0	-189.0	-258.0	-202.0	-266.0	-210.0
		-84.6	-92.6	-213.0	-177.0	-253.0	-178.0	-266.0	-191.0	-274.0	-199.0
	10%	-89.3	-94.8	-127.0	-159.6	-172.0	-178.0	-185.0	-191.0	-193.0	-199.0
		-95.6	-97.6	-124.0	-148.3	-166.0	-180.0	-179.0	-193.0	-187.0	-201.0
	20%	-97.5	-88.4	-292.0	-240.0	-310.0	-380.0	-323.0	-393.0	-331.0	-401.0
		-93.2	-96.2	-294.0	-218.0	-305.0	-376.0	-318.0	-389.0	-326.0	-397.0

PROMEDIO DE LAS LECTURAS

Relación 0.60 con Cemento Portland Tipo I						
Lecturas tomadas		1	2	3	4	5
Dosificación	0%	-94.6	-205.5	-232.8	-245.8	-253.8
	5%	-88.8	-199.5	-216.3	-229.3	-237.3
	10%	-94.3	-139.7	-174.0	-187.0	-195.0
	20%	-93.8	-261.0	-342.8	-355.8	-363.8

RELACIÓN A/C = 0.65 – CEMENTO PORTLAND TIPO I

LECTURAS A LOS 14 DÍAS DE SECADO											
Lecturas		Primera Lectura		Segunda Lectura		Tercera Lectura		Cuarta Lectura		Quinta Lectura	
Probetas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dosificación	0%	-79.5	-91.5	-271.0	-279.0	-320.0	-312.0	-331.0	-323.0	-338.0	-330.0
		-89.4	-92.3	-274.0	-285.0	-315.0	-320.0	-326.0	-331.0	-333.0	-338.0
	5%	-101.5	-94.0	-261.0	-226.0	-219.0	-270.0	-230.0	-281.0	-237.0	-288.0
		-106.4	-96.5	-253.0	-218.0	-215.0	-268.0	-226.0	-279.0	-233.0	-286.0
	10%	-104.8	-94.8	-260.0	-253.0	-290.0	-309.0	-301.0	-305.0	-308.0	-312.0
		-94.3	-99.3	-263.0	-250.0	-278.0	-295.0	-289.0	-306.0	-296.0	-313.0
	20%	-97.0	-99.0	-244.0	-275.0	-389.0	-311.0	-400.0	-322.0	-407.0	-329.0
		-98.6	-98.4	-233.0	-273.0	-380.0	-298.0	-391.0	-309.0	-398.0	-316.0

PROMEDIO DE LAS LECTURAS

Relación 0.65 con Cemento Portland Tipo I						
Lecturas tomadas		1	2	3	4	5
Dosificación	0%	-88.2	-277.3	-316.8	-327.8	-334.8
	5%	-99.6	-239.5	-243.0	-254.0	-261.0
	10%	-98.3	-256.5	-293.0	-300.3	-307.3
	20%	-98.3	-256.3	-344.5	-355.5	-362.5

RELACIÓN A/C = 0.70 – CEMENTO PORTLAND TIPO I

LECTURAS A LOS 14 DÍAS DE SECADO											
Lecturas		Primera Lectura		Segunda Lectura		Tercera Lectura		Cuarta Lectura		Quinta Lectura	
Probetas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dosificación	0%	-90.4	-89.3	-254.0	-193.0	-285.0	-213.0	-298.0	-226.0	-304.0	-232.0
		-94.5	-92.1	-260.0	-186.0	-280.0	-220.0	-293.0	-233.0	-299.0	-239.0
	5%	-99.6	-97.9	-217.0	-268.0	-268.0	-240.0	-281.0	-253.0	-287.0	-259.0
		-94.2	-93.3	-223.0	-261.0	-259.0	-235.0	-272.0	-248.0	-278.0	-254.0
	10%	-89.4	-91.8	-181.0	-186.0	-238.0	-180.0	-251.0	-193.0	-257.0	-199.0
		-88.1	-94.7	-184.0	-189.0	-230.0	-185.0	-243.0	-198.0	-249.0	-204.0
	20%	-92.6	-92.8	-215.0	-222.0	-422.0	-303.0	-435.0	-316.0	-441.0	-322.0
		-88.4	-94.6	-222.0	-223.0	-420.0	-296.0	-433.0	-309.0	-439.0	-315.0

PROMEDIO DE LAS LECTURAS

Relación 0.70 con Cemento Portland Tipo I						
Lecturas tomadas		1	2	3	4	5
Dosificación	0%	-91.6	-223.3	-249.5	-262.5	-268.5
	5%	-96.3	-242.3	-250.5	-263.5	-269.5
	10%	-91.0	-185.0	-208.3	-221.3	-227.3
	20%	-92.1	-220.5	-360.3	-373.3	-379.3

RELACIÓN A/C = 0.60 – CEMENTO PORTLAND EXTRAFORTE IC_o

LECTURAS A LOS 14 DÍAS DE SECADO											
Lecturas		Primera Lectura		Segunda Lectura		Tercera Lectura		Cuarta Lectura		Quinta Lectura	
Probetas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dosificación	0%	-100.5	-97.1	-279.0	-280.0	-288.0	-287.0	-290.0	-291.0	-298.0	-299.0
		-104.9	-99.6	-275.0	-274.0	-290.0	-274.0	-295.0	-288.0	-303.0	-296.0
	5%	-99.8	-89.5	-192.0	-246.0	-206.0	-206.0	-220.0	-220.0	-228.0	-228.0
		-102.3	-91.4	-188.0	-230.0	-208.0	-198.0	-222.0	-212.0	-230.0	-220.0
	10%	-102.5	-99.8	-195.0	-254.0	-223.0	-199.0	-237.0	-213.0	-245.0	-221.0
		-104.5	-101.9	-205.0	-259.0	-201.0	-186.0	-215.0	-200.0	-223.0	-208.0
	20%	-99.8	-101.4	-288.0	-265.0	-354.0	-345.0	-368.0	-359.0	-376.0	-367.0
		-97.4	-100.8	-272.0	-263.0	-350.0	-340.0	-364.0	-354.0	-372.0	-362.0

PROMEDIO DE LAS LECTURAS

Relación 0.60 con Cemento Portland Extraforte IC_o						
Lecturas tomadas		1	2	3	4	5
Dosificación	0%	-100.5	-277.0	-284.8	-291.0	-299.0
	5%	-95.8	-214.0	-204.5	-218.5	-226.5
	10%	-102.2	-228.3	-202.3	-216.3	-224.3
	20%	-99.9	-272.0	-347.3	-361.3	-369.3

RELACIÓN A/C = 0.65 – CEMENTO PORTLAND EXTRAFORTE IC_o

LECTURAS A LOS 14 DÍAS DE SECADO											
Lecturas		Primera Lectura		Segunda Lectura		Tercera Lectura		Cuarta Lectura		Quinta Lectura	
Probetas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dosificación	0%	-96.5	-95.0	-240.0	-212.0	-198.0	-278.0	-208.0	-288.0	-215.0	-295.0
		-89.0	-95.4	-255.0	-215.0	-200.0	-285.0	-210.0	-295.0	-217.0	-302.0
	5%	-97.7	-96.4	-180.0	-226.0	-289.0	-345.0	-299.0	-355.0	-306.0	-362.0
		-101.0	-105.7	-179.0	-234.0	-280.0	-338.0	-290.0	-348.0	-297.0	-355.0
	10%	-95.3	-99.8	-190.0	-183.0	-176.0	-189.0	-186.0	-199.0	-193.0	-206.0
		-109.4	-102.7	-181.0	-185.0	-175.0	-192.0	-185.0	-202.0	-192.0	-209.0
	20%	-102.6	-99.1	-225.0	-290.0	-308.0	-350.0	-318.0	-360.0	-325.0	-367.0
		-95.8	-97.8	-208.0	-295.0	-315.0	-356.0	-325.0	-366.0	-332.0	-373.0

PROMEDIO DE LAS LECTURAS

Relación 0.65 con Cemento Portland Extraforte IC_o						
Lecturas tomadas		1	2	3	4	5
Dosificación	0%	-94.0	-230.5	-240.3	-250.3	-257.3
	5%	-100.2	-204.8	-313.0	-323.0	-330.0
	10%	-101.8	-184.8	-183.0	-193.0	-200.0
	20%	-98.8	-254.5	-332.3	-342.3	-349.3

RELACIÓN A/C = 0.70 – CEMENTO PORTLAND EXTRAFORTE ICo

LECTURAS A LOS 14 DÍAS DE SECADO											
Lecturas		Primera Lectura		Segunda Lectura		Tercera Lectura		Cuarta Lectura		Quinta Lectura	
Probetas		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dosificación	0%	-84.8	-82.3	-310.0	-243.0	-278.0	-230.0	-290.0	-242.0	-296.0	-248.0
		-80.0	-92.6	-315.0	-244.0	-285.0	-228.0	-297.0	-240.0	-303.0	-246.0
	5%	-74.8	-64.5	-238.0	-221.0	-255.0	-232.0	-267.0	-244.0	-273.0	-250.0
		-86.5	-78.6	-245.0	-210.0	-253.0	-230.0	-265.0	-242.0	-271.0	-248.0
	10%	-73.7	-105.0	-288.0	-289.0	-255.2	-340.0	-265.0	-352.0	-271.0	-358.0
		-76.8	-93.3	-287.0	-292.0	-249.0	-335.0	-261.0	-347.0	-267.0	-353.0
	20%	-95.0	-105.5	-266.0	-304.0	-480.0	-419.0	-470.0	-431.0	-476.0	-437.0
		-101.5	-98.8	-262.0	-311.0	-485.0	-420.0	-454.0	-432.0	-460.0	-438.0

PROMEDIO DE LAS LECTURAS

Relación 0.70 con Cemento Portland Extraforte ICo						
Lecturas tomadas		1	2	3	4	5
Dosificación	0%	-84.9	-278.0	-255.3	-267.3	-273.3
	5%	-76.1	-228.5	-242.5	-254.5	-260.5
	10%	-87.2	-289.0	-294.8	-306.3	-312.3
	20%	-100.2	-285.8	-451.0	-446.8	-452.8

CEMENTO PORTLAND TIPO I

LECTURA A LOS 28 DÍAS DE SECADO						
DOSIFICACIÓN	0,60		0,65		0,70	
	1	2	1	2	1	2
0	-248,0	-249,0	-287,0	-280,0	-254,0	-182,0
	-253,0	-246,0	-283,0	-288,0	-248,0	-188,0
5	-178,0	-179,0	-187,0	-238,0	-237,0	-209,0
	-180,0	-171,0	-183,0	-235,0	-228,0	-204,0
10	-143,0	-149,0	-222,0	-242,0	-207,0	-191,0
	-137,0	-150,0	-232,0	-231,0	-199,0	-186,0
20	-316,0	-307,0	-345,0	-269,0	-380,0	-262,0
	-311,0	-302,0	-338,0	-256,0	-379,0	-255,0

CEMENTO PORTLAND TIPO ICo

LECTURA A LOS 28 DÍAS DE SECADO						
DOSIFICACIÓN	0,6		0,65		0,7	
	1	2	1	2	1	2
0	-208,0	-207,0	-165,0	-245,0	-245,0	-198,0
	-199,0	-200,0	-167,0	-251,0	-253,0	-196,0
5	-216,0	-161,0	-256,0	-312,0	-223,0	-200,0
	-224,0	-149,0	-247,0	-304,0	-220,0	-198,0
10	-195,0	-170,0	-180,0	-166,0	-221,0	-308,0
	-173,0	-158,0	-179,0	-174,0	-216,0	-303,0
20	-271,0	-341,0	-265,0	-307,0	-416,0	-377,0
	-266,0	-336,0	-271,0	-313,0	-399,0	-378,0

PROMEDIO DE LAS LECTURAS

TIERRA DE DIATOMEAS (DIATOMITA)					
TIPO DE CEMENTO	RELACION A/C	PORCENTAJE DE DIATOMITA			
		0%	5%	10%	20%
CEMENTO TIPO I	0,60	-249,00	-177,00	-144,75	-309,00
	0,65	-284,50	-210,75	-231,75	-302,00
	0,70	-218,00	-219,50	-195,75	-319,00
CEMENTO EXTRA FUERTE ICo	0,60	-203,50	-187,50	-174,00	-303,50
	0,65	-207,00	-279,75	-174,75	-289,00
	0,70	-223,00	-210,25	-262,00	-392,50