

**EL USO DE ADITIVOS DE ORIGEN NATURAL INTEGRAL A MASAS DE
CONCRETO PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN DEL ACERO
ESTRUCTURAL EMBEBIDO
(CASO DE ESTUDIO: SÁBILA)**



**INDIRA BABILONIA ESCALLON
SANDY PAOLA URANGO ROJAS
Estudiantes**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

CARTAGENA DE INDIAS D T. Y C.

2015.



**EL USO DE ADITIVOS DE ORIGEN NATURAL INTEGRAL A MASAS DE
CONCRETO PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN DEL ACERO
ESTRUCTURAL EMBEBIDO
(CASO DE ESTUDIO: SÁBILA)**

**INDIRA BABILONIA ESCALLÓN
SANDY PAOLA URANGO ROJAS
Estudiantes**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniera Civil**

**Ing. José Faustino España Moratto
Ingeniero civil - especialista en estructuras**

Director

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D T. Y C.**

2015



NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director
JOSE FAUSTINO ESPAÑA MORATTO

Firma del jurado
MODESTO BARRIOS FONTALVO

Firma del jurado
JAIRO JOSÉ ALVIS ALY

Cartagena de indias. D. T y C



DEDICATORIAS

La universidad me dio la bienvenida al mundo como tal, las oportunidades que me ha brindado son incomparables, y antes de todo esto ni pensaba que fuera posible que algún día si quiera me topara con una de ellas.

Quiero dedicar esta tesis a Dios, al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando he estado a punto de caer; por ello con toda la humildad que mi corazón puede emanar, dedico primeramente este trabajo a él.

A mi madre, Yacira Escallón Berrocal, porque siempre estuvo a mi lado apoyándome y brindándome sus consejos para hacer de mí una mejor persona, por ella y para ella todo mi esfuerzo.

A mis hermanos, Gabriel y Roy Babilonia Escallón, les agradezco no solo por estar presentes aportando buenas cosas a mi vida, si no por los grandes lotes de felicidad y de diversas emociones que siempre me han causado.

A ti querida abuela, Esperanza Berrocal Contreras, por ser mi madre al cuadrado, por apoyarme y brindarme tu aprobación incondicional, porque sea cual sea mi decisión, si llego al éxito o al fracaso sé que siempre contaré con tu gran sentido del humor y juntas Abu, siempre juntas hasta el infinito.

Y finalmente, Ing. Rafael Rivera Venecia, mi guía, sus conocimientos y orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia y su paciencia han sido fundamentales para mi formación, para ti mis más grandes afectos, respetos, agradecimientos y sobre todo para ti siempre mi mayor admiración, gracias por tanto, pido a Dios que me permita seguir aprendiendo a tu lado por muchos años más.

A todos ustedes mis afectos más sinceros, gracias por ser todo para mí.

Indira Babilonia Escallón.



DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a Dios principalmente por ser el guía y dueño de absolutamente todo. A él gracias por permitir el sueño de toda una familia, por ser mi instructor desde el inicio y hasta el final de esta maravillosa carrera.

A mis padres **Tony Urango LL** y **Juana Rojas Pérez**, por haber sido facilitadores en este largo camino, por brindarme comprensión, amor, dedicación, apoyo en cada paso, y por enseñarme a ser mejor persona cada día siendo ellos mi ejemplo a seguir, por compartir sueños e ideales junto a mí y por su constancia en este logro.

A mis hermanas **Mónica Urango** y **Laura Urango** por comprender, y siempre brindarme todo su cariño y ánimo para seguir adelante.

A **Rubén Barrios** amigo y colega siempre presente y recordado por ser un hombre luchador y ejemplo de dedicación y triunfo. Dios te tenga en su santa gloria.

A mis familiares y amigos que siempre me apoyaron directa e indirectamente en este largo camino y por siempre confiar en lo que hoy es una realidad.

Sandy P. Urango Rojas



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios por ser el camino que nos guio a escalar uno de los peldaños altos en nuestras cortas vidas, a nuestros padres los cuales siempre estuvieron presentes en el proceso y fueron apoyo incondicional para alcanzar este logro que fue también un sueño.

Al alma máter, nuestra Universidad de Cartagena por ser testigo fiel en todo nuestro proceso, por brindarnos alegrías, tristezas y los conocimientos que nos guiaran al camino del éxito, y sobre todo por ser el escenario en el cual se realizó este proyecto. A la Universidad Autónoma del Caribe por brindarnos apoyo con la instrumentación empleada en la realización de los diferentes ensayos.

Al ingeniero José Faustino España Moratto por ser nuestro director y guía fundamental en el desarrollo del proyecto. Al Ingeniero químico Pedro Javier Meza por ser el co-director y guía en la elaboración de ensayos. Al ingeniero Modesto Barrios por su colaboración y apoyo.

Al ingeniero Rafael Rivera por su gran paciencia y apoyo incondicional en la elaboración de muestras.

A nuestros amigos los cuales nos brindaron una excelente compañía y colaboración en la realización de esta experiencia



CONTENIDO

Págs.

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

1. OBJETIVOS.....	21
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	22
1.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	22
2. ALCANCE DE LA INVESTIGACION.....	23
3. MARCO REFERENCIAL.....	27
3.1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	28
3.1.1. LOCAL.....	28
3.1.2. NACIONAL E INTERNACIONAL.....	33
3.2.MARCO TEORICO.....	37
3.2.1. Concreto.....	37
3.2.2. Concreto reforzado.....	37
3.2.3. Características de los materiales.....	38
3.2.3.1.Cemento.....	39
3.2.3.2.Tipos de cemento portland.....	40
3.2.3.3.Agregado fino.....	41
3.2.3.4.Agua.....	41
3.2.4. Corrosión.....	42
3.2.4.1. Corrosión del acero en concreto.....	42
3.2.4.2.Tipos de corrosión.....	43
3.2.4.3. Corrosión por acción de cloruros.....	43
3.2.4.4.Protección contra la corrosión.....	45
3.2.5. Aditivos.....	47



3.2.5.1. Antecedentes.....	49
3.2.5.2. Clasificación de los aditivos.....	51
3.2.5.3. Modos de uso.....	52
3.2.6. Sábila.....	53
3.2.6.1. Composición química de la sábila.....	56
3.2.6.2. Agua.....	59
3.2.6.3. Vitaminas y oligoelementos.....	62
3.2.6.4. Aminoácidos.....	64
3.2.7. Método Potencial eléctrico.....	66
3.3. Resistividad eléctrica.....	67
3.3.1. Requisitos para ensayos a compresión.....	68
3.4. Marco legal.....	70
4. METODOLOGIA.....	71
4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	72
4.2. FUENTES DE LA INVESTIGACION.....	76
4.3. VARIABLES.....	78
4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	79
4.5. PROCEDIMIENTO.....	84
4.5.1. Obtención del extracto de sábila.....	86
4.5.2. Preparación del acero embebido en el concreto.....	87
4.5.3. Implementación del montaje experimental.....	88
4.5.3.1. Elaboración de las muestras.....	90
5. ANALISIS DE RESULTADOS.....	92
6. CONCLUSIONES.....	110
7. RECOMENDACIONES.....	112
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	114
9. ANEXOS.....	118



LISTADO DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1. Ubicación de geográfica del epicentro que será objeto de estudio.....	15
Figura 2. Ubicación geográfica de la Universidad de Cartagena, sede Piedra de Bolívar.	16
Figura 3. Concreto reforzado.....	30
Figura 4. Esquema de integración de las mezclas de concreto.....	31
Figura 5. Agregado fino.....	34
Figura 6. Esquema de corrosión de metales.....	36
Figura 7. Representación esquemática del proceso electroquímica de la corrosión en las armaduras de concreto.....	37
Figura 8. Fenómeno electroquímico de la corrosión provocado por iones de cloruro....	39
Figura 9. Alternativas para modificar la resistencia y trabajabilidad del concreto con aditivos o con modificaciones de diseño de mezclas.....	40
Figura 10. Sábila.....	49
Figura 11. Preparación de cilindros de concreto.....	55
Figura 12. Plantas de sábila utilizadas como aditivo al concreto.....	72
Figura 13. Moldes utilizados en la elaboración de probetas.....	72
Figura 14. Agregados utilizados en la elaboración de la mezcla de concreto.....	73
Figura 15. Mezcla de concreto.....	74
Figura 16. Agregados utilizados en la elaboración de la mezcla de concreto.....	75



Figura 17. Probetas de concreto para ensayos a velocidad de corrosión.....	75
Figura 18. Probetas de concreto utilizadas para ensayos a compresión y a velocidad de corrosión.....	76
Figura 19. Muestras en estado de curado del concreto.....	79
Figura 20. Ensayo a compresión del concreto.....	79
Figura 21. Ensayo a compresión del concreto.....	80
Figura 22. Cámara de niebla salina utilizada para simular ambiente agresivo.....	80
Figura 23. Elementos de Cámara de niebla salina utilizada para simulación de ambiente.....	80
Figura 24. Cámara de niebla salina.....	81



LISTADO DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1. Interpretación de resultados norma ASTM C876-71.....	52
Tabla 2. Clasificación del nivel de corrosión en función de la densidad de corriente de corrosión.....	53
Tabla 3. Especificaciones método de compactación.....	58
Tabla 4. Requisitos para el moldeo por apisonado.....	59
Tabla 5. Variables dependientes para el diseño experimental.....	64
Tabla 6. Variables independientes para el diseño experimental.....	65
Tabla 7. Variables intervinientes para el diseño experimental.....	66
Tabla 8. Diseño experimental.....	67
Tabla 9-10. Diseño de las probetas de concreto.....	68
Tabla 11. Parámetros del potencial de corrosión en voltios.....	82
Tabla 12. Criterio general de valores de resistividad eléctrica del hormigón.....	83
Tabla 13. Ensayos a compresión para resistencia de 3000psi.....	84
Tabla 14. Ensayos a compresión para resistencia de 3500psi.....	85
Tabla 15. Ensayos a compresión para resistencia de 4000psi.....	86
Tabla 16. Determinación del potencial de corrosión para el concreto de 3000PSI.....	88
Tabla 17. Determinación del potencial de corrosión para el concreto de 3500PSI.....	94
Tabla 18. Determinación del potencial de corrosión para el concreto de 4000PSI.....	96



Tabla 19. Medición de la resistividad eléctrica del hormigón pasados 216 horas en cámara salina para concreto de 3000PSI.....	96
Tabla 20. Medición de la resistividad eléctrica del hormigón pasados 216 horas en cámara salina para concreto de 3500PSI.....	98
Tabla 21. Medición de la resistividad eléctrica del hormigón pasados 216 horas en cámara salina para concreto de 4000PSI.....	99



LISTADO DE GRAFICAS

Gráfica 1. Distribución de muestras de 3000psi, 3500psi y 4000psi.....	67
Gráfica 2. Diseño de probetas de ensayos para medir la velocidad de corrosión.....	69
Gráfica 3. Diseño de probetas para ensayos a compresión.....	70
Gráfica 4. Variación de la resistencia / contenido de sábila para 3000 psi a los 7 días....	77
Gráfica 5. Variación de la resistencia / contenido de sábila para 3000 psi a los 14 días....	78
Gráfica 6. Variación de la resistencia / contenido de sábila para 3000 psi a los 28 días...	78
Gráfica 7. Variación de la resistencia / contenido de sábila para 7,14 y 28 días.....	79
Gráfica 8. Variación de la resistencia / contenido de sábila para 3500 psi a los 7 días....	80
Gráfica 9. Variación de la resistencia / contenido de sábila para 3500 psi a los 14 días....	81
Gráfica 10. Variación de la resistencia / contenido de sábila para 3500 psi a los 28 días...	82
Gráfica 11. Variación de la resistencia / contenido de sábila para 7,14 y 28 días.....	83
Gráfica 12. Variación de la resistencia / contenido de sábila para 4000 psi a los 7 días....	84
Gráfica 13. Variación de la resistencia / contenido de sábila para 4000 psi a los 14 días...	84
Gráfica 14. Variación de la resistencia / contenido de sábila para 4000 psi a los 28 días...	85
Gráfica 15. Variación de la resistencias / contenido de sábila para 7,14 y 28 días.....	86
Gráfica 16. Resistividad eléctrica / tiempo de prueba para 3000 psi.....	89
Gráfica 17. Resistividad eléctrica / tiempo de prueba para 3500 psi.....	90
Gráfica 18. Resistividad eléctrica / tiempo de prueba para 4000 psi.....	92



LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Corrosión por deterioro uniforme o general.....	119
Anexo 2. Corrosión por esfuerzo.....	120
Anexo 3-4. Corrosión galvánica.....	120
Anexo 5. Corrosión por picadura.....	121
Anexo 6. Corrosión por grietas o hendiduras.....	121
Anexo 7. Probetas de concreto.....	123
Anexo 8. Agregados utilizados en la mezcla de concreto.....	124
Anexo 9 curado de probetas cilíndricas de concreto para ensayos a compresión.....	124
Anexo 10. Probeta de concreto ensayada a los 28 días.....	126
Anexo 11. Ensayo de probetas de concreto.....	126

LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Resistividad eléctrica.....	62
Ecuación 2. Icorr.....	63



RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo principal la evaluación de un aditivo natural en este caso sábila que adicionado a la mezcla de concreto produce efectos en la velocidad de corrosión del acero estructural, mediante la exposición del concreto a un medio salino. Para el cumplimiento de los objetivos se elaboraron 72 probetas de concreto, 18 probetas cilíndricas de 4'' por 8'' y las restantes de 10'' por 20''. Los parámetros para el estudio y diseño de experimentos fueron: la resistencia del concreto y el porcentaje de sábila adicionado a la mezcla de acuerdo a la relación agua/cemento. En la ciudad de Cartagena, los concretos empleados en la construcción de obras están sometidos generalmente a esfuerzos que exigen un óptimo comportamiento de las resistencias mecánicas generada por estar situada en costas y grandes ambientes industriales donde se procesan o almacenan productos con altos contenidos de cloruros salinos, es de esta manera que la utilización de resistencias elevadas se hace útil, observando una elevada tasa en construcciones de 3000psi y 4000 psi, por esta razón para el estudio se realizaron las muestras con resistencias de 3000psi, 3500psi y 4000psi.

La prueba de velocidad de corrosión se realizó mediante la exposición de las muestras en una cámara de niebla salina simulando ataques agresivos de cloruros, sulfatos y otros agentes. Se midió el grado de corrosión utilizando el método electroquímico por medición de potencial de corrosión E_{corr} y resistividad eléctrica de cada una de las muestras expuestas (probetas cilíndricas de 4'' por 8''). Con el fin de determinar si la adición de sábila al concreto generaba pérdidas en cuanto a su resistencia se realizaron ensayos a compresión para las muestras de 6'' por 12'' a los 7, 14 y 28 días, observando cambios físico-mecánicos en la resistencia y durabilidad de este.

Los resultados de esta investigación arrojaron que la adición de sábila afecta considerablemente la resistencia del concreto no siendo recomendado para ninguna clase de construcción de estructuras ya que no se tendrá una vida útil eficiente, la disminución se observó en más del 50% para el caso más crítico. El ensayo de velocidad de corrosión



permite mostrar una disminución de penetración de agentes agresivos a medida que aumenta el contenido de sábila en cada una de las resistencias, ofreciendo un gran aporte a la corrosión del acero embebido.

Palabras claves: concreto, sábila, velocidad de corrosión.



ABSTRACT

The research had as main objective the evaluation of a natural additive in this case aloe added to the concrete mix produces effects on the rate of corrosion of structural steel, concrete exposure by a saline medium. To fulfill the objectives concrete specimens 72, 18 cylindrical specimens 4" by 8" and the rest of 10" to 20" were developed. The parameters for the study and design of experiments were concrete strength and the percentage of aloe added to the mixture according to the water / cement ratio. In Cartagena, the concrete used in construction works are generally subject to efforts that require optimum performance of mechanical resistance generated by being located on coasts and large industrial environments where they are processed or stored products high in salt chlorides It is to be such that the use of high strengths is useful in observing a high rate constructions 3000psi and 4000 psi, for this reason for the study samples were performed with resistors 3000psi, 3500psi and 4000psi.

The corrosion rate test was conducted by exposing samples in a salt spray chamber simulating aggressive attacks of chlorides, sulfates and other agents. The extent of corrosion was measured using the electrochemical measurement method by corrosion potential E_{corr} and electrical each of the exposed samples (cylindrical specimens 4" by 8") resistivity. To determine whether the addition of aloe to loss-specific in their compression strength tests were performed on samples of 6" by 12" a 7, 14 and 28 days, noting changes in physical-mechanical the strength and durability of this.

The results of this research showed that the addition of aloe significantly affect concrete strength not being recommended for any kind of building structures and not an efficient life, the decrease was observed in more than 50% in the case will have more critical. The corrosion rate test can show decreased penetration of aggressive agents as aloe content increases in each of the resistors, providing a great contribution to the corrosion of steel embedded.

Keywords: concrete, aloe, corrosion rate.



INTRODUCCIÓN

La corrosión es uno de los principales problemas que causa pérdidas económicas en la industria de la construcción. El deterioro de cualquier pequeña porción de material en una estructura ocasiona no solo pérdidas de tiempo inimaginables sino también grandes cantidades de dinero irrecuperable. Cualquier estructura expuesta a la acción agresiva de los cloruros, será blanco para grandes problemas corrosivos.

El uso de aditivos inhibidores de corrosión pueden minimizar significativamente las consecuencias de estos ataques, ya que son aditivos capaces de prevenir o retardar la corrosión de armaduras embebidas en hormigón.

A través de los años el uso de aditivos ha tomado un gran auge no solo por los beneficios que brinda sino por los contaminantes que genera al ambiente. En los años setenta la legislación de algunos países prohibió la presencia de cromo y zinc en las aguas servidas, estos dos excelentes inhibidores fueron sustituidos por polímeros en base a poliacrilatos y polimaleinatos, entre otros copolímeros. Así empezó la era de los inhibidores libres de metales. Como máxima expresión del arte de la síntesis del químico, se dispone de una formulación inhibidora de la corrosión que consiste exclusivamente de compuestos orgánicos: polímeros, fosfonatos y un compuesto específico para la inhibición del cobre. Aunque se han observado cambios aun las aguas servidas no están siendo totalmente cuidadas. Se prevee que el próximo perfeccionamiento, será la sustitución de los compuestos fosforados, para calmar así a la sociedad que reclama aguas y ambientes libres de tóxicos.

Dentro de los aditivos más importantes se ubican los de tipo químico cuya función principal no va dirigida a actuar directamente sobre el hormigón, sino sobre la armadura protegiéndola frente al ataque de agentes agresivos, teniendo en cuenta que las armaduras de acero en el hormigón se encuentran en un estado pasivado debido a la elevada



alcalinidad del medio. (1). En la actualidad es el método de protección más frecuente para las estructuras, proporcionando por mucho tiempo una solución a los daños ocasionados por la corrosión en las distintas construcciones. Sin embargo, debido a la gran cantidad de ambientes corrosivos, y al continuo deterioro en las estructuras se hace casi indispensable seguir buscando maneras de frenar el desgaste al que se ven sometidas las estructuras.

La protección de las estructuras con aditivos ha hecho de la industria de la construcción una rama investigativa ya que requiere la invención de técnicas y productos en pro con el medio ambiente, creando modalidades sostenibles y ecológicas para la prevención y disminución de la corrosión en las estructuras ya que

Es así como el tema de compatibilidad ambiental con los inhibidores de corrosión está experimentando cambios drásticos, que buscan nuevas alternativas ambientalmente amigables y de costo racionalizado. Desde hace algunos años se ha implementado la utilización de la sábila (Aloe Vera) como aditivo natural para la protección del acero de refuerzo en el concreto, esta planta tiene cerca de 200 elementos constitutivos que trabajan en forma conjunta produciendo numerosos efectos benéficos difíciles de contabilizar en su totalidad.

La hoja de sábila contiene más de 200 constituyentes de diferentes pesos moleculares y se compone de 3 regiones morfológicamente distintas: la corteza exterior, el gel que se encuentra en el centro y el jugo (o exudado) que transporta fluidos y que se encuentra entre la corteza y el gel. En particular el gel se compone principalmente de carbohidratos, aminoácidos (ácido aspártico, ácido glutámico, alanina, glicina, metionina, leucina, etc.), proteínas y ácidos orgánicos. (Pech-Canul Máximo A). No es fácil encontrar en la naturaleza una planta que reúna tantas propiedades benéficas para la salud en general y para la piel en particular. En la actualidad, y por sus características como regenerador celular y otras particularidades medicinales, ha despertado el interés de muchos países para su estudio y su aprovechamiento. Por ser la sábila una especie susceptible de adaptarse y ser propagada en las zonas áridas y semiáridas, presenta un gran potencial como generadora de una actividad económica de importancia en tales regiones.



La utilización de esta planta como aditivo natural a masas de concreto se ha desarrollado en investigaciones que demuestran que el extracto acuoso de aloe vera tiene excelente inhibición en el control de la corrosión de acero en solución acuosa contenida en agua de mar. Revelando un 98% de eficiencia de inhibición. Además de presentar un bajo costo y una fácil consecución tiene una alta capacidad como inhibidora de corrosión.

En el campo de la ingeniería civil será de gran utilidad la creación de inhibidores de corrosión que hagan de las estructuras ya sean puentes, acueductos, sistemas viales y de transporte, y edificios resistentes a ambientes agresivos especialmente los marinos, disminuyendo la corrosión de estas a un menor costo y mantenimiento.

La investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad de Cartagena y en el laboratorio del Ingeniero Modesto Barrios. El objetivo está basado en el estudio y realización de ensayos de forma cuantitativa la capacidad de inhibición de corrosión de la sábila como aditivo natural en el concreto expuesto a un ambiente agresivo. El alcance permitirá establecer en que rango se disminuye la velocidad de corrosión del acero con la utilización de la sábila haciendo de esta una fuente natural para la creación de concretos altamente resistentes a ambientes agresivos prolongando la vida útil de las estructuras garantizando la no disminución de la resistencia del concreto.



1. OBJETIVOS

1.1.OBJETIVO GENERAL

Determinar por medio de estudios y ensayos de laboratorio, si las propiedades de la sábila pueden ser utilizadas en masas de concreto para proteger al acero de refuerzo estructural embebido y contrarrestar la acción agresiva de cloruros que deterioran y afectan negativamente el periodo de vida útil de las estructuras.

1.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar cuáles son las propiedades de la sábila que podrían proteger de la corrosión provocada por la acción de los cloruros al acero estructural embebido.
- Definir si la concentración requerida de sábila para un m³ de concreto es económicamente viable de tal manera que los recursos disponibles no sean un problema para la utilización del aditivo.
- Realizar comparaciones de los resultados obtenidos en cada una de las muestras construidas con aditivos y las pruebas obtenidas sin aditivos.
- Establecer parámetros y conclusiones que sirvan de aporte a la ingeniería requerida para el concreto que permita conocer las proporciones ideales de aditivo según la agresividad del medio.



2. ALCANCE

Con esta investigación se buscó determinar si la sábila como aditivo natural integrado a masas de concreto podría brindarle mayores beneficios a la industria de la construcción mejorando propiedades internas del concreto y la resistencia a la corrosión en el acero estructural embebido, buscando la durabilidad de las estructuras en ambientes agresivos.

La investigación se centró más específicamente en hacer ensayos y pruebas de laboratorio para definir si la sábila tiene componentes que permitan disminuir la velocidad de penetración de los agentes que producen la corrosión del acero estructural embebido.

Esto incluyó:

- En primer lugar, se hizo un estudio extenso para determinar que la sábila, como aditivo natural adicionado a la mezcla de concreto, tiene propiedades que podrían arrojar los resultados esperados, además se buscó información existente que nos permitió determinar que la planta de sábila es abundante en la región, con esto se garantizó su fácil consecución.
- En segundo lugar, se realizaron ensayos con diferentes proporciones para especificar que la cantidad de sábila requerida para una determinada masa de concreto es económicamente viable. Además los ensayos se realizaron variando la resistencia del concreto buscando disminuir la velocidad de penetración de los agentes que producen la corrosión del acero embebido pero sin afectar las propiedades iniciales de la mezcla de concreto.

2.1. Delimitación espacial

El estudio se realizó en la Universidad de Cartagena, sede Piedra de Bolívar, ubicada en la ciudad de Cartagena, localizada a los 10° 25'30'' latitud norte y 75° 32'25'' longitud oeste,



El uso de aditivos de origen natural integral a masas de concreto para la



protección contra la corrosión del acero estructural embebido. (Caso de estudio: Sábila)

en la costa norte de la república de Colombia, en la dirección Avenida del Consulado #
Calle 30 No. 48 – 152, Cartagena, Bolívar



El uso de aditivos de origen natural integral a masas de concreto para la protección contra la corrosión del acero estructural embebido. (Caso de estudio: Sábila)

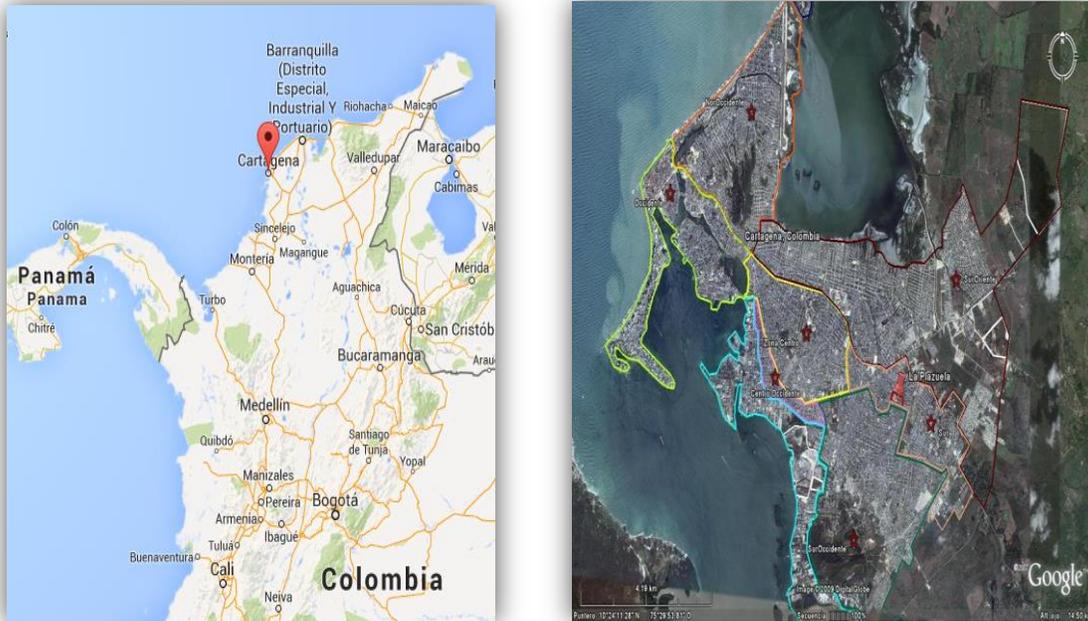


Figura 1. Ubicación de geográfica del epicentro que será objeto de estudio

Fuente: Google Earth

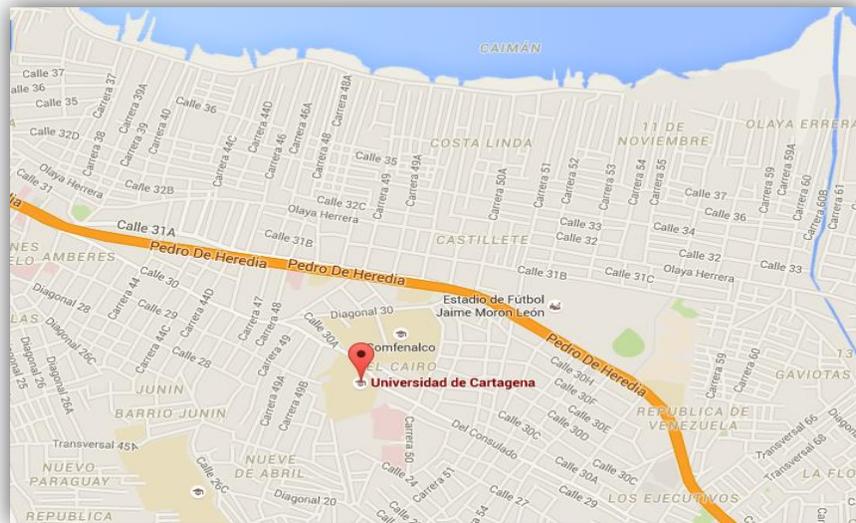


Figura 2. Ubicación geográfica de la Universidad de Cartagena, sede Piedra de Bolívar

Fuente: Google Earth



2.2. Delimitación Temporal

La ejecución de este proyecto se realizó en un tiempo de cinco meses, comprendido entre los meses de Junio a Octubre del segundo periodo académico del año 2015,

2.3.Producto final a entregar y productos complementarios

Luego de realizar el trabajo de investigación, se presentó un informe en el cual se analizaron los datos obtenidos a partir de cada ensayo, se realizaron graficas comparativas para mejorar la visualización de los resultados, se hizo un estudio detallado en base a los resultados y conclusiones acertadas.

Con el desarrollo de esta investigación, se hizo posible conocer la verdadera utilidad de la sábila en la industria de la construcción, esto proporciona bases para otras investigaciones de este tipo que pudieran llevarse a cabo en esta área y que pretendan incluir el uso de aditivos de origen natural que busquen algún tipo de beneficio para las construcciones.

2.4.Delimitación conceptual

Esta investigación fue extensa por el grado de complejidad, ya que se desconocían las proporciones adecuadas en las que se debe usar el aditivo para lograr un resultado. Además en los antecedentes no se registró ningún estudio que se haya realizado tomando la sábila como caso de estudio en la ciudad de Cartagena, pero si en otras ciudades, lo que dejó altas expectativas. La duración y complejidad de la investigación son factores que argumentan la obtención de resultados lo suficientemente confiables.

En esta ocasión con esta tesis se investigó la variación en el grado de corrosión del acero estructural embebido, dependiendo de las diferentes características de las muestras, utilizando para ello equipos de laboratorio como el Potenciostato-Galvanostato haciendo pruebas directas de campo que permitieron determinar la velocidad de corrosión.



2.5. Aspectos que no incluye la investigación

No se hacen afirmaciones acerca de otros aditivos naturales, podría ser tomado como referencia pero solo se garantizan resultados con la utilización de la sábila como aditivo natural, para cualquier otro proyecto que use como caso específico otro aditivo se deberán repetir las investigaciones y ensayos, se busca determinar o no la real utilidad de la sábila como aditivo adicionado a la mezcla de concreto. Este proyecto busca obtener conclusiones verídicas que aporten datos y contribuyan a la toma de decisión en cuanto al uso de los aditivos naturales en la industria de la construcción a futuro.



3. MARCO REFERENCIAL

3.1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

A lo largo de los años, se ha evidenciado el problema que presentan las estructuras de concreto reforzado debido a la corrosión a la que se ven expuestas, por esto es de gran importancia buscar maneras de aminorar el impacto que origina la corrosión en las edificaciones, como respuesta a este deterioro se han realizado estudios usando diferentes maneras para controlar el daño.

3.1.1. Local

3.1.1.1. Comportamiento de los concretos tremé y bombeables al adicionarles inhibidores de corrosión, Arrieta Zea, Álvaro, tesis universidad de Cartagena, facultad de ingeniería. 2003.

La metodología utilizada en la ejecución de este proyecto fue de tipo netamente experimental. Se obtuvieron datos de ensayos realizados por las empresas MBT COLOMBIA S.A. y AGRECON S.A. en dos obras específicas de la ciudad de Cartagena, como son la primera y segunda posición de atraque de la Terminal de Contenedores de Cartagena CONE¿TECAR S.A., el procedimiento fue el siguiente:

- Se recolectó información relacionada de las dosificaciones usadas por los aditivos de la empresa MBT COLOMBIA S.A., a investigaciones realizadas por la empresa CONTECAR S.A. y a resultados de ensayos realizados por AGRECON S.A. y en asesoría con personal calificado de estas empresas entraremos a analizar información.
- Los diseños de mezcla utilizados en estos ensayos tienen dosificaciones determinadas para el uso de aditivos de la firma MBT COLOMBIA S.A. siguiendo las normas existentes para ese tipo de productos, como la ASTM C494 Tipo C, la ICONTEC 1299 Tipo C, AASHTO M194 Tipo C, entre otras.



- Se realizaron ensayos para concretos Tipo Tremie utilizado en fundición de pilotes y concretos Tipo Bombeable utilizado para fundir losas, en este último se utilizó hielo en vez de agua de mezclado, debido a que la losa se trató como un concreto masivo.
- En los diseños de mezcla se utilizó un inhibidor orgánico de corrosión (RHEOCRETE CNI), un súper plastificante (POZZOLITH 360N), un reductor de agua y retardante (DELVO ESTABILIZADOR) y un inclusor de aire (MICROAIR ESPECIAL); aditivos necesarios para lograr un diseño óptimo de un concreto de estas características.
- Para cada día de ensayo se tomaron 12 cilindros en dos series distintas, 6 cilindros sin aditivo y 6 cilindros con RHEOCRETE CNI, en un promedio de 8 días para un total de 96 cilindros.
- Los 6 cilindros de cada muestra se ensayaron de la siguiente forma: 2 a los 3 días, 2 a los 7 días, 2 a los 28 días a los cuales se les determinó su resistencia a la compresión, temperatura y asentamiento; este procedimiento se usó para cada uno de los días en mención. A la mezcla se le determinó su temperatura con (CNI y sin CNI) y asentamiento (tiempo de manejabilidad) con CNI y sin CNI.

Cabe recordar que las dosificaciones que se utilizaron para estos concretos, tanto TREMIE como bombeable, además de tener en cuenta las dosificaciones de los fabricantes de los aditivos, dependen en gran parte de las especificaciones de la obra, como son la carga del ión cloruro, el asentamiento requerido, el tiempo de manejabilidad y otros factores que pueden influir en el diseño final de la mezcla y que conllevan a aumentar o disminuir algunas dosificaciones.



Se concluyó que:

- Al utilizar RHEOCRETE CNI como inhibidor de corrosión para el acero de refuerzo del concreto la temperatura de la mezcla aumenta aproximadamente 2°C para concreto Tremie y 3°C para concreto bombeable, lo anterior conlleva a que se utilice un retardante de fraguado, una mayor cantidad de agua de mezclado y en algunos específicos hielo y a la utilización de un inclusor de aire.
- El asentamiento para un concreto bombeables aumenta aproximadamente 1", mientras que para un concreto Tremie aumenta aproximadamente 2", lo cual indica que al utilizar este producto la mezcla tendrá una mayor manejabilidad y por consiguiente un mejor rendimiento a la hora del vaciado en la obra.
- Con el empleo de este aditivo la resistencia mecánica inicial para un concreto Tremie disminuye 239 P.S.I (Aprox. 2.5 %), mientras que la resistencia final no presenta ningún cambio.
- Con el empleo de este aditivo la resistencia mecánica inicial para un concreto bombeable disminuye 256 P.S.I (Aprox. 1.2 %), mientras que la resistencia final aumenta notablemente.

Los datos mostrados en estas conclusiones se obtuvieron mediante el promedio aritmético de los resultados mostrados en las tablas del documento.

A pesar de los resultados positivos e esta investigación, se encuentra que a diferencia de la nueva investigación, estos usan como aditivo inhibidor de la corrosión RHEOCRETE CNI, y aunque el estudio se realizara en la misma ciudad, los resultados podrían variar enormemente.



3.1.2. Nacional e Internacional

3.1.2.1. Primeras experiencias en el estudio electroquímico de la eficiencia de un aditivo formulado en el instituto superior politécnico "José Antonio Echeverría" en la reducción de la corrosión en el acero de refuerzo, Martín, Yarelys; Castañeda, Abel; Montejo, Raúl, revista cenic ciencias químicas. 2009, vol. 40 Issue 4, Special section p1-12. 13p.

El objetivo de este trabajo se basó en demostrar una primera experiencia en la evaluación electroquímica de la eficiencia de un aditivo cubano en la reducción de la corrosión en el acero de refuerzo. Se elaboraron cuatro probetas a base de cemento con dos varillas de acero en su interior. Dos probetas se elaboraron aplicando el aditivo en el agua de la mezcla del mortero. Las otras dos probetas, a una se le aplicó solamente el aditivo en la varilla quedando la otra como referencia. Estas probetas permanecieron en un medio de elevado nivel de agresividad corrosiva facilitando la influencia directa de los iones de cloruro. Para la evaluación de la eficiencia fue necesario obtener los valores de velocidad electroquímica de corrosión a partir de cinco técnicas electroquímicas. La eficiencia se confirmó con el coeficiente de difusión y la concentración de iones de cloruro en las superficies de cada una de las probetas. Se demostró que no existe una diferencia entre el pronóstico de corrosión basado en la medición de los potenciales estacionarios de corrosión y la velocidad electroquímica de corrosión en cuanto a la determinación de la eficiencia del lignosulfonato como reductor de agua en probetas de mortero a base de cemento.

Además se demostró la posibilidad de emplear varias técnicas electroquímicas en la determinación de la eficiencia del lignosulfonato como reductor de agua en probetas de mortero a base de cemento, siendo el resultado confirmado con la determinación de la concentración de iones cloruro totales en la superficie y a diferentes profundidades, así como el coeficiente de difusión. La concentración de iones cloruro en la superficie permitió confirmar que las probetas estuvieron sometidas a un medio de elevado nivel de agresividad corrosiva.



De acuerdo a los valores de eficiencia obtenidos en las tres probetas, el lignosulfonato pudiera ser aplicado en el agua de amasado de la mezcla del mortero o el hormigón y como baño en las varillas de refuerzo con el propósito de reducir la corrosión en el acero de refuerzo bajo la influencia directa de iones cloruro.

Para esta investigación se tiene como limitación que la experiencia se basó en un aditivo cubano por lo cual en esta propuesta se plantea la utilización de un aditivo netamente colombiano (sábila) por su fácil consecución y bajo costo integrado al concreto reforzado y se medirá la velocidad de corrosión de la barra de acero.

3.1.2.2. Comportamiento de la corrosión del acero de refuerzo embebido en el concreto producido con piedra pómez finamente molida y humo de sílice, Oğuzhan Keleştemur, Bahar Demirel, construction and building materials, volume 24, Issue 10, october 2010, Pagés 1898-1905.

En este estudio se investigaron las propiedades mecánicas y físicas de los especímenes de concreto mediante la sustitución del cemento con piedra pómez finamente molida (FGP) en proporciones de 5%, 10%, 15% y 20% en peso, analizando el comportamiento de la corrosión de los aceros de refuerzo embebidos en estas muestras. Además, determinaron el efecto de humo de sílice como aditivo (SF) contra la corrosión en los aceros de refuerzo embebidos en el hormigón con FGP, SF, esto fue aplicado a todas las muestras con excepción de la muestra de control, de tal manera que se reemplazó con un 10% de cemento en peso. El experimento se llevó a cabo en dos etapas. En la primera etapa, el potencial de corrosión de los aceros de refuerzo incrustadas en las probetas de hormigón se fue midiendo cada día durante un período de 160 días basado en la norma ASTM C 876. En la segunda etapa, se obtuvieron los valores anódicos y de polarización catódica de los aceros y, posteriormente, las corrientes de corrosión se determinaron con la ayuda de curvas de polarización catódica. Se observó una disminución en la resistencia mecánica de los especímenes y un aumento en la velocidad de corrosión del acero de refuerzo que había tenido lugar como resultado de la adición de FGP. Sin embargo, determinaron que con la



adición de SF en hormigones suplementadas con FGP, la velocidad de corrosión del acero de refuerzo se redujo significativamente.

La limitación para esta experiencia se encuentra en la utilización de la piedra pómez ya que esta es de origen volcánico de diferentes formas, y sus componentes se unen durante el enfriamiento del magma y humo de sílice. En esta investigación se utilizará un solo aditivo teniendo en cuenta las proporciones de este y la resistencia del concreto.

3.1.2.3. Protección contra la corrosión de los aceros de refuerzo en el entorno del concreto cargados con cloruro a través de nanocompuesto de epoxi / polianilina-canforsulfonato, Sadegh Pour-Ali; Changiz Dehghanian, Ali Kosari, Corrosion Science, volume 90, january 2015, pages 239-247.

En este estudio, se empleó un material nanocompuesto de epoxi / polianilina-canforsulfonato (epoxi / PANI-CSA) para proteger aceros de refuerzo en el concreto. El nanocompuesto sintetizado se analizó utilizando espectroscopia infrarroja de Fourier y transmisión microscópica.

El experimento se llevó a cabo utilizando barras de acero unas con recubrimiento epóxico y otras con recubrimiento epoxi nanocompuestos / PANI-CSA. Estos fueron incorporados en hormigones normales y autocompactantes. Para evaluar el comportamiento de la corrosión, se realizaron estudios midiendo el potencial de circuito abierto y de impedancia durante 1 año. La adhesión máxima del concreto en las barras de refuerzo se midió en condiciones de corrosión y sin corrosión. Se encontró que la capa de epoxy / PANI-CSA proporciona una buena resistencia a la corrosión y resistencia de la unión duradera con el hormigón para barras de acero de refuerzo.

Para esta investigación se tiene como limitación que se utiliza una capa epóxica para proteger el acero de refuerzo utilizando espectroscopia infrarroja de Fourier y transmisión microscópica pero no se utiliza ningún aditivo integrado al concreto.



3.1.2.4.El efecto de tiosemicarbazida sobre la resistencia a la corrosión del acero de refuerzo en el hormigón, A. Ali Gürten; Kadriye Kayakırılmaz; Mehmet Erbil, construction and building materials, volume 21, issue 3, march 2007, pages 669-676

Este estudio describe una investigación de laboratorio de la influencia de tiosemicarbazida (TSC) sobre la corrosión del acero de refuerzo y la resistencia a la compresión del hormigón. El efecto de TSC sobre la resistencia a la corrosión de hormigón armado se evaluó mediante la realización de ensayos electroquímicos en soluciones de NaCl y NaCl + TSC durante 60 días. Los resultados mostraron que los valores de resistencia de polarización (R_p) de TSC del hormigón armado eran mucho más altos que los que no tienen CET. Del mismo modo, los espectros de impedancia AC revelaron que la resistencia de TSC electrodos mixtos eran también bastante mayor que los que no. La resistencia a la compresión de las muestras de hormigón que contenían TSC se midió y se observó un aumento del 20-25%.

Esta investigación está limitada en cuanto a la utilización de soluciones de cloruro de sodio puesto que el proyecto en cuestión se evaluara en ambientes agresivos como agua de mar ya que es uno de los principales agentes que generan corrosión en las estructuras de concreto reforzado.

3.1.2.5.Caracterización y comparación de la velocidad de corrosión del acero de refuerzo determinada por ruido electroquímico y diferencia de espesor bajo la influencia de iones cloruro, Abel Castañeda y Francisco Corvo, revista cenic ciencias químicas, vol. 39, no. 2, 2008.

En este trabajo se comparó la evaluación de la corrosión determinada por la técnica del ruido electroquímico basado en el tiempo y la frecuencia en probetas con acero de refuerzo en hormigón armado preparado en tres relaciones agua/cemento y en dos condiciones de exposición. La medición directa de la velocidad de corrosión por diferencia de espesor se tomó como referencia. La velocidad de corrosión en el dominio de la frecuencia resultó



más significativa en comparación con la determinada en el dominio del tiempo con respecto a la diferencia de espesor. Se confirmó la existencia de corrosión localizada bajo la influencia de iones de cloruro, en las señales del ruido de la corriente en el dominio del tiempo y la frecuencia y en el índice de picadura, confirmada con la observación visual en los aceros de refuerzo. La condición de exposición a intemperie incide en que se produzca una mayor corrosión en el acero de refuerzo, en comparación con las condiciones de inmersión, debido a una mayor penetración de los agentes agresivos. Se confirmó que al incrementar la relación agua/cemento en la dosificación del hormigón, aumenta la corrosión en el acero de refuerzo.

Esta investigación tiene como limitación la utilización de la técnica de ruido electroquímico basado en el tiempo y frecuencia, y en esta propuesta se utilizara el aparato Potenciostato- Galvanostato para medir la velocidad de corrosión de la barra de acero en cada muestra.

3.1.2.6. Evaluación de la corrosión del acero aisi-sae 1020 en un ambiente multifásico de salmuera $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{S}$, Darío Yesid Peña Ballesteros, Sandra Rocío Pedraza Torres, Custodio Vásquez Quintero, enero-junio, 2010, issn: 0122-3461.

Las pruebas se realizaron utilizando un electrodo de disco rotatorio y un electrodo de cilindro rotatorio. En el electrodo de disco rotatorio se realizaron las determinaciones de los coeficientes de difusión para los gases por separado y en la mezcla. Para ello, se trazaron pruebas Tafel, tomando las velocidades y por medio de la técnica de corriente límite se calcularon dichos coeficientes. Se observó el efecto de los gases sobre un electrodo inerte, estudiando sus mecanismos se determinó el agente corrosivo que actuaba por difusión. Además, se utilizó un electrodo de cilindro rotatorio y se realizaron pruebas con las mezclas establecidas en el sistema Salmuera- $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{S}$, determinando la velocidad de corrosión en estas atmósferas y se obtuvo información sobre los productos de corrosión formados.



Los sistemas combinados 6%CO₂/4 ppm H₂S y 6%CO₂/10 ppm H₂S mostraron bajas velocidades de corrosión comparadas con las obtenidas en un sistema con CO₂ puro, debido a que el pH presentado en el sistema no fomentó la agresividad de las especies corrosivas presentes. El efecto de los esfuerzos de corte no fue significativo sobre la velocidad de corrosión, comparado con los de la temperatura y el pH, que influyen sobre las reacciones catódicas y la formación de capas. La velocidad de corrosión tendió a disminuir en el rango de temperatura experimentado. Esto se explica con la disminución de la concentración de H₂S a 59°C, que permitió la estabilización del ácido carbónico como especie reactiva en el sistema. Por el contrario, las velocidades de corrosión se aceleraron a temperaturas intermedias, pues estas no favorecieron la precipitación de depósitos más estables, desencadenando el deterioro progresivo del metal.

La limitación se encuentra enmarcada en la norma utilizada para la selección de acero AISI-SAE 2010, y la utilización de un electrodo de disco rotatorio y un electrodo de cilindro rotatorio. La investigación en proceso se llevara a cabo utilizando acero de 60000psi.

3.1.2.7. Los efectos del extracto de aloe vera sobre la corrosión y la cinética de proceso de corrosión del zinc en solución de HCl, Olusegun K. Abiola, A.O. James B, corrosión science (impact factor: 3.69). 02/2010; 52(2):661-664. doi: 10.1016/j.corsci.2009.10.026

El efecto del extracto de Aloe vera sobre la corrosión del zinc en solución de HCL 2M, se estudió utilizando la técnica de la pérdida de peso.

Se realizaron láminas de zinc (98,53%) de 0.038 cm de espesor, facilitadas por el Taller Mundial de Ingeniería Banco, Universidad de Port Harcourt, Nigeria. Cada hoja se cortó en tamaños de 4 × 3 × 0,038 cm. Los especímenes se utilizaron sin lijar para asegurar superficies reproducibles. El HCL fue de grado analítico, usado sin purificación adicional y HCl 2 M fue empleado como la solución agresiva para este estudio. Por otra parte, el gel fue exprimido de las hojas frescas y se tamizó para obtener un líquido claro (5 ml).Luego,



se diluyó con la cantidad apropiada de solución de HCl 2 M para obtener soluciones en concentraciones de 1, 1.5, 2, 2.5, 4 y 10% v / v.

Los resultados arrojaron que el extracto de aloe vera inhibe la corrosión de zinc en soluciones de HCl 2 M, con una eficiencia de inhibición del 67% con una concentración del 10% del extracto. El porcentaje de eficiencia de inhibición disminuido con el aumento de la temperatura.

La limitación de esta investigación se encuentra en que a pesar de usar aloe-vera como inhibidor de corrosión, se utilizaron láminas de zinc. En esta investigación se utiliza acero estructural embebido a concreto y se medirá la velocidad de corrosión de la barra.

3.1.2.8. Investigación electroquímica del extracto de la planta de aloe vera como inhibidor verde en la corrosión del acero inoxidable en 1 M de H₂SO₄, M. Mehdipoura, B. Ramezanzadehb, S.Y. Armana, doi:10.1016/j.corsci.2009.10.026

La acción del extracto de hoja de Aloe Vera como medio inhibidor usado para la protección contra la corrosión del acero inoxidable en solución 1 M de H₂SO₄ se estudió mediante técnicas electroquímicas, así como electrónicas.

Se utilizaron paneles de acero inoxidable con la composición química de (% en peso.). Así: C (0,04), P (0.08), Si (0,75), Ni (8), Cr (18), Mn (2), N (0,1), S (0.8) y Fe (balance), estas fueron suministradas por Tianjin TISCO y TPCO acero inoxidable Co. La superficie de acero inoxidable pulido se utilizó con papeles abrasivos (80-2000 tamaño de grano). Las muestras pulidas se enjuagaron con agua destilada y se secaron al aire, seguido por el desengrasado de acetona. Por último, 1 × 1 cm² de la superficie fue expuesto a la solución agresiva y el resto se cubrió con la mezcla de 3: 1 de la cera de abejas-colofonia.

El extracto de las hojas de las plantas de Aloe vera fue preparado mediante la extracción de 1 kg de Aloe en 5 litros de agua y la mezcla se hirvió repetidas veces. Luego, la mezcla se mezcló y se enfrió para luego mediante una bomba de aire se filtró. Finalmente, el filtrado se evaporó para dejar la muestra libre de agua. El gel se diluyó con cantidades apropiadas de solución de ácido sulfúrico (H₂SO₄) para obtener las diferentes concentraciones de 0,



10, 15, 20, y 30% v / v. La solución con y sin diferentes concentraciones de extracto de Aloe en cualquier punto de ensayos electroquímicos era sin agitar.

Por último, se obtuvo mediante polarización lineal y espectroscopia de impedancia electroquímica la efectividad del extracto de Aloe Vera aumentando su concentración. Se demostró que los compuestos principales de Aloe incluyendo aloína, Aloesina, Aloe resina, y Aloe emodina (como una biotransformación de la aloína) se componen de muchos átomos de oxígeno en grupos funcionales de OH, C = O, el anillo de CO y O-heterocíclico, permitiendo que el extracto de aloe proteja el acero inoxidable de la corrosión.

Esta investigación está limitada en cuanto al tipo de acero utilizado ya que es de tipo inoxidable. Se propone el desarrollo de la propuesta utilizando acero de 60000psi por su bajo costo.

3.1.2.9. Inhibición de corrosión mediante un extracto acuoso de aloe vera (L.) burm f. (liliaceae), V. Sriharathy, Susai Rajendran, P. Rengan, R. Nagalakshmi, corrosión inhibition by an aq. extract of aloe vera (L.) burm f. (liliaceae).

Un extracto acuoso de Aloe vera (L) Burm f. (Liliaceae) se utilizó como inhibidor de la corrosión en acero al carbono sumergido en agua de mar. La preparación de extracto de la planta se realizó moliendo 10 g de extracto fresco (manos-a-6-fosfato), filtrado y se completaron los 100 ml utilizando agua doblemente destilada. Las muestras de acero al carbono se tomaron como: 0.0267% S, 0,06% P, 0,4% de Mn, 0,1% de C y el resto hierro, las dimensiones fueron de 1,0 cm x 4,0 cm x 0,2 cm. Los datos relevantes de agua de mar utilizadas en el estudio, fueron tres muestras de acero dulce sumergidos en 100 ml de agua de mar en varias concentraciones durante un día.

El peso de las muestras antes y después de la inmersión se determinaron utilizando Shimadzu, modelo AY 62. Se concluyó que un extracto acuoso de aloe vera tiene excelente inhibición en el control de la corrosión de acero al carbono en solución acuosa contenida en agua de mar. El método de pérdida de peso reveló que 4 ml del extracto proporciona 98% de eficiencia de inhibición.



La limitación de esta investigación se basa en la utilización del método Shimadzu AY 62, por lo cual se plantea esta propuesta basado en la medición de la velocidad de corrosión del acero estructural embebido mediante el potencioestado-galvanostato, el cual generará los datos y gráficos pertinentes que permitan establecer las variaciones de la corrosión en la barra de acero en cada muestra.

3.2. MARCO TEÓRICO

3.2.1. Concreto

El concreto simple, sin refuerzo, es resistente a la compresión, pero débil en tensión, lo que limita su aplicabilidad como material estructural.

Para resistir tensiones, se emplea refuerzo de acero, generalmente en forma de barras, colocado en zonas donde se prevé que se desarrollaran tensiones bajo las acciones de servicio. El acero restringe la aparición de 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.

La combinación de concreto simple con refuerzo constituye lo que se llama CONCRETO REFORZADO. (Andrés Antonio Torres Acosta, 2010)

3.2.2. Concreto reforzado

El concreto reforzado es uno de los materiales cuyo uso está más difundido en la industria de la construcción, en obras como edificios, puentes, presas, puertos, entre otros; esto se debe al bajo costo de fabricación y mantenimiento (mantenimiento requerido de la estructura cuando ésta empieza a presentar algún daño; principalmente mantenimiento preventivo). Sin embargo, a pesar del bajo costo de mantenimiento, dichas estructuras pueden deteriorarse por agentes agresivos en el medio ambiente en el que son erigidas. Los



materiales utilizados principalmente para la elaboración del concreto son: arena, grava, agua y cemento. Para el caso del concreto reforzado se incluyen barras de acero que quedan embebidas en el concreto.

Como consecuencia de la acción de los cloruros que penetran la estructura por los poros del concreto o por la carbonatación, se produce la corrosión de las armaduras metálicas, la cual se manifiesta en la merma de la sección transversal de las barras y por la acción expansiva de los productos de corrosión, reduciendo la acción útil del concreto, debido a la figuración del recubrimiento (el recubrimiento es la distancia libre desde el punto más cercano de la superficie permanente del concreto al acero de refuerzo; la superficie permanente más cercana es la superficie del concreto terminado libre de cualquier recubrimiento posterior). De esta manera disminuye el momento resistente de la viga y se pierde la adherencia entre el concreto y el acero. (Andrés Antonio Torres Acosta, 2010)

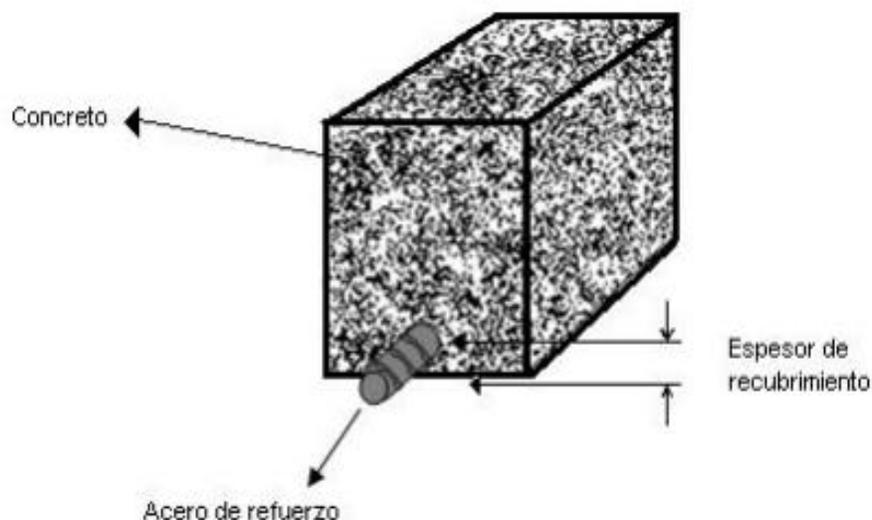


Figura 3. Concreto reforzado

Fuente: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt328.pdf>.



3.2.3. Características de los materiales

El concreto es una mezcla de cemento, agregados inertes (grava y arena) y agua, la cual se endurece después de cierto tiempo de mezclado.

Los elementos que componen el concreto se dividen en dos grupos: **ACTIVOS** E **INERTES**. Son activos, el agua y el cemento a cuya cuenta corre la reacción química por medio de la cual esa mezcla, llamada lechada o pasta, se endurece hasta alcanzar un estado de gran solidez.

Los elementos inertes (agregados), al arena y la grava, cuyo papel fundamental es formar el esqueleto del concreto, ocupando gran parte del volumen del producto final, con lo cual se logra abaratarlo y disminuir notablemente los efectos de la reacción química del fraguado: La elevación de la temperatura y la contracción de la lechada al endurecerse.

El agua que entra en combinación química con el cemento es aproximadamente un 33% de la cantidad total y esa fracción disminuye con la resistencia del concreto.

En consecuencia, la mayor parte del agua de mezclado se destina a lograr fluidez y trabajabilidad a la mezcla, coadyuvando a la contracción del fraguado y dejando en su lugar vacío correspondiente, cuya presencia influye negativamente en la resistencia final del concreto. (betico49, 2009)

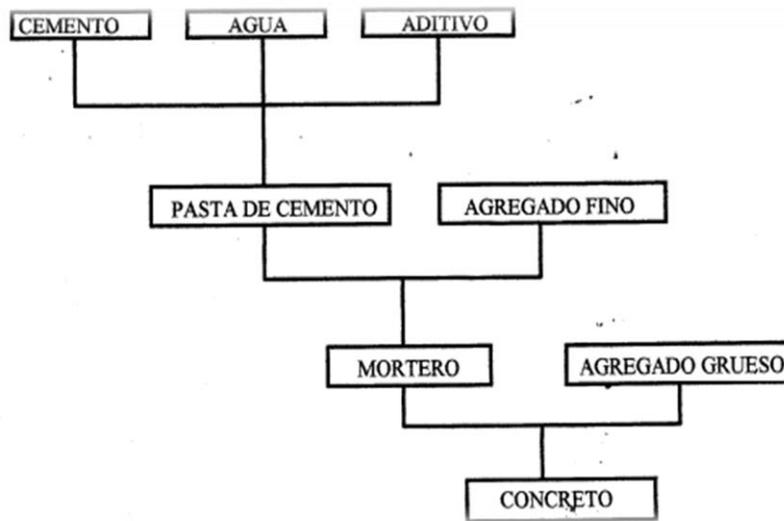


Figura 4. Esquema de integración de las mezclas de concreto



Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/9071/Capitulo2.pdf>

3.2.3.1. Cemento

El cemento portland es un material que proviene de la pulverización del producto obtenido por fusión incipiente de materiales arcillosos y calizos que contengan óxido de calcio, silicio, aluminio y hierro en cantidades convenientemente calculadas y sin más adición posterior que yeso sin calcinar y agua, así como otros materiales que no excedan el 1% en peso total y que no sean nocivos para el comportamiento posterior del cemento.

La composición química del cemento portland es muy compleja; pero puede definirse esencialmente como un compuesto de cal, alúmina y sílice. Los componentes fundamentales son: El aluminio tricalcico, el silicato tricalcico, el silicatodicalcico y el ferro aluminio tricalcico. (betico49, 2009).

3.2.3.2. Clases de cemento portland

Existen o se fabrican varios tipos de cemento portland:

➤ Cemento portland tipo I

Destinado a usos generales: Estructuras, pavimentos, bloques, tubos y mampostería.

➤ Cemento portland tipo II

Modificado, adecuado en general para obras hidráulicas por su calor de hidratación moderado u su regular resistencia a los sulfatos.

➤ Cemento portland tipo III

Rápida resistencia alta, recomendado para sustituir el tipo I en obras de emergencia o cuando se desee retirar pronto las cimbras para usarlas un número mayor de veces; adquiere una determinada resistencia, en igualdad de condiciones, en la tercera parte del tiempo que necesita para ello el cemento tipo I.

➤ Cemento portland tipo IV

De bajo calor, adecuado para construcción de grandes espesores porque su calor de hidratación es muy reducido a tenor de su resistencia que se adquiere lentamente.

➤ Cemento portland tipo V



De alta resistencia a los sulfatos, recomendado en cimentaciones expuestas a la acción de aguas sulfatadas y agresivas.

3.2.3.3. Agregado fino

El agregado fino o arena se usa como llenante, además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto.

Una falta de arena se refleja en la aspereza de la mezcla y un exceso de arena demanda mayor cantidad de agua para producir un asentamiento determinado, ya que entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y al requerir mayor cantidad de agua se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación agua cemento.



Figura 5. Agregado fino

Fuente:

<http://elconcreto.blogspot.com/search/label/El%20Agregado%20Fino%20Del%20Concreto>

o.

3.2.3.4. Agua

El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto y morteros, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante.

Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda



obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el concreto va a crear porosidad, lo que reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino agregando aditivos plastificantes.

El agua utilizada en la elaboración del concreto y mortero debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas. En caso de tener que usar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cubos de mortero, que deben tener a los 7 y 28 días un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable.

Algunas de las sustancias que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas y que inciden en la calidad del concreto se presentan a continuación:

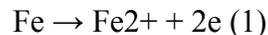
- Las aguas que contengan menos de 2000 p.p.m. de sólidos disueltos generalmente son aptas para hacer concretos; si tienen más de esta cantidad deben ser ensayados para determinar sus efectos sobre la resistencia del concreto.
- Si se registra presencia de carbonatos y bicarbonatos de sodio o de potasio en el agua de la mezcla, estos pueden reaccionar con el cemento produciendo rápido fraguado; en altas concentraciones también disminuyen la resistencia del concreto.
- El alto contenido de cloruros en el agua de mezclado puede producir corrosión en el acero de refuerzo o en los cables de tensionamiento de un concreto pre esforzado.
- El agua que contenga hasta 10000 p.p.m. de sulfato de sodio, puede ser usada sin problemas para el concreto.
- Las aguas acidas con pH por debajo de 3 pueden crear problemas en el manejo u deben ser evitadas en lo posible.



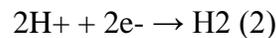
- Cuando el agua contiene aceite mineral (petróleo) en concentraciones superiores a 2%, pueden reducir la resistencia del concreto en un 20%.
- Cuando la salinidad del agua del mar es menor del 3.5%, se puede utilizar en concretos no reforzados y la resistencias del mismo disminuye en un 12%, pero si la salinidad aumenta al 5% la reducción de la resistencia es del 30%. (betico49, 2009)

3.2.4. Corrosión

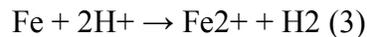
La corrosión a la oxidación espontánea de los metales. Se debe a un ataque destructivo del medio ambiente, a través de reacciones químicas o electroquímicas. En la corrosión electroquímica los átomos del metal son oxidados dejando la red del metal como iones, creando un exceso de electrones en la superficie del metal. Estos electrones pueden ser transferidos a una especie activa en el electrolito produciéndose la reacción de reducción. La reacción de corrosión se conoce como reacción anódica y las áreas del electrodo donde ocurre se les llama ánodos. La electro-neutralidad de la materia exige que en otros puntos, conocidos por cátodos, se reduzca alguna sustancia del medio ambiente en contacto con el material metálico. Las áreas donde ocurre la reacción catódica (de reducción) se denominan cátodos. En el caso del acero, la reacción anódica que tiene lugar es:



Consecuentemente, una reacción catódica tiene que tener lugar para iniciar y mantener la corrosión metálica. Un ejemplo de reacción catódica es la reducción de protones.



La reacción de corrosión total será la suma de ambas reacciones.



Tanto la reacción anódica como catódica dan lugar a corrientes llamadas anódica y catódica respectivamente y la corriente total suma de ambos procesos es proporcional a la velocidad de corrosión.

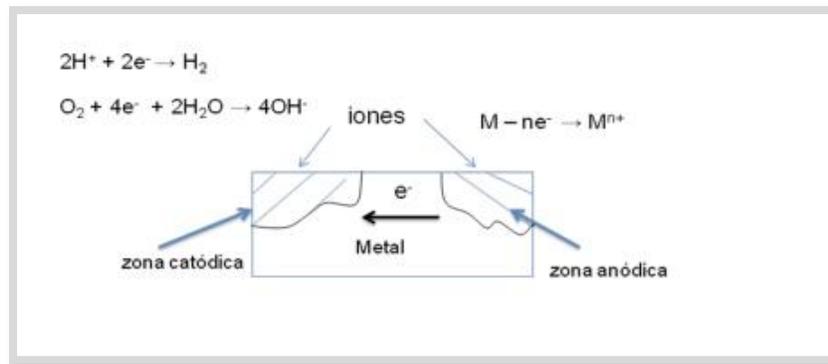


Figura 6 Esquema de corrosión de metales

Fuente: http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/josem/static/CORROSION.pdf.

3.2.4.1. Corrosión del acero en concreto

En la actualidad y desde hace tiempo, el material más utilizado en la industria de la construcción es el concreto, cuyo consumo supera al de todos los materiales de construcción. La mayoría de las estructuras de concreto está reforzada con varillas de acero, y la corrosión de estos refuerzos es la causa principal del deterioro de las mismas en ambientes marinos (Torres Acosta A. F., 2005).

Cuando el acero embebido en concreto se corroe, se consume una capa de la superficie del acero, y se forma una capa de productos de corrosión (óxido, Fe_3O_4 , o hidróxido de hierro, $\text{Fe}(\text{OH})_2$) en el perímetro de la barra. El volumen ocupado por dicho óxido (o hidróxido) es mayor que el que ocupaba el acero original, creando presiones contra el concreto que rodea al acero; esto propiciará la formación de grietas y desprendimientos del concreto. Dichas grietas y/o desprendimientos del recubrimiento de concreto además de ser antiestéticas, pueden disminuir el anclaje del acero, y potencialmente, la resistencia del elemento estructural (Torres Acosta y Martínez Madrid, 2001). En la Figura 2, se puede observar en detalle, el proceso de corrosión del acero en concreto.

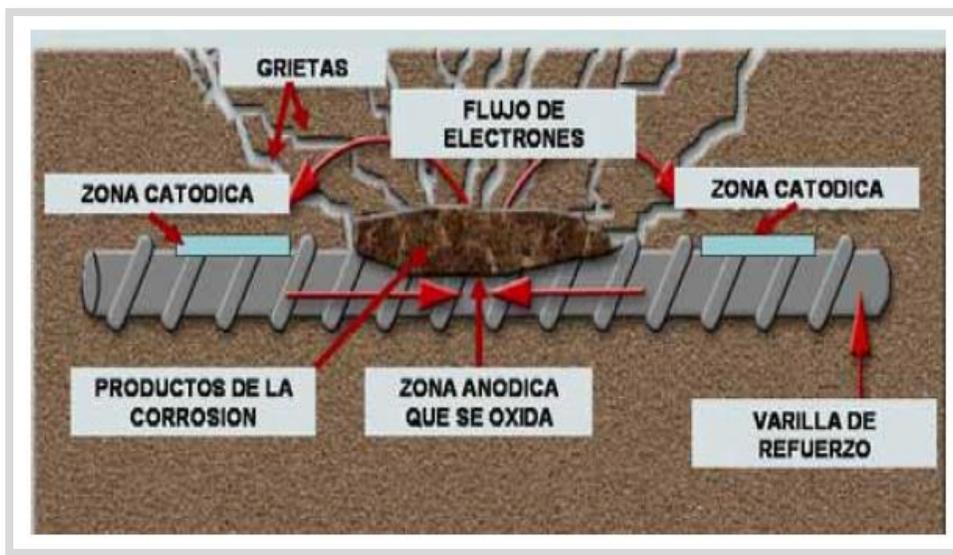


Figura 7. Representación esquemática del proceso electroquímica de la corrosión en las armaduras de concreto.

Fuentes: *International Conferences of construction and rehabilitation of concrete structure*

Las primeras observaciones sobre la corrosión de acero en concreto se hicieron a principios de este siglo, principalmente en ambientes marinos y plantas químicas. Sin embargo, fue hasta la segunda mitad de este siglo cuando el estudio sistemático de la corrosión de los refuerzos metálicos en concreto llegó a ocupar un papel importante en las investigaciones a nivel mundial por la ocurrencia del problema en muchos tipos de estructuras, y por lo elevado de los costos de reparación. La corrosión del acero en concreto se considera como uno de los problemas más importantes para el mantenimiento de la integridad de las obras civiles, puentes, túneles, carreteras y puentes del país (Pérez Quiroz, 2001).

Los elementos del concreto reforzado (varilla, cemento Portland, arena, grava y agua) le confieren propiedades excelentes a éste tales como: resistencia a la compresión y a la tensión. La elevada alcalinidad de concreto (pH entre 12.5 y 13.5) y resistividad eléctrica (en concreto sano de 100,000 Ohm-cm) proporcionan condiciones ideales para alcanzar la pasividad (protección) del acero. La corrosión del acero de refuerzo en concreto no se presenta, a menos que un agente externo al medio (Cl⁻, SO₄⁻, CO₂, SO₂) modifique el estado pasivo normal de ese medio alcalino.



El ión cloruro causa el rompimiento de la condición pasiva normal del acero en concreto, y da como resultado el desarrollo de la corrosión. El umbral de cloruros que puede iniciar corrosión, se ha estimado en una concentración de 710 ppm (para un $\text{pH}=12.5$). Por arriba de esta concentración la película fallará irremediablemente. El ataque de los cloruros en acero embebido en concreto, como un proceso electroquímico donde el agua está presente funcionando ésta como un electrolito y proporcionando oxígeno que se reducirá en el cátodo. El ión cloruro ataca al acero formando FeCl_2 . Y en una reacción secundaria se forma $\text{Fe}(\text{OH})_2$, dejando al ión Cl^- libre para atacar nuevamente.

Otra forma de ataque por corrosión a la varilla de refuerzo es el fenómeno que comúnmente se le denomina carbonatación. El CO_2 es un agente presente en la atmósfera; y puede actuar sobre el concreto formando CaCO_3 , que provoca la reducción de la alcalinidad del concreto ($\text{pH}<12.5$). La parte esencial del proceso la desempeña el CO_2 , por lo que éste recibe el nombre de carbonatación. El dióxido de carbono reacciona con los iones alcalinos que conforman al concreto para producir carbonatos; el pH del medio se ve disminuido y se presenta la corrosión. La característica de este proceso es la aparición de una banda que representa dos zonas con valores de PH diferentes; por lo general, una zona de $\text{pH}<9$ (zona carbonatada) y otra de $\text{pH}>12$ (zona alcalina). La existencia de carbonatación en los concretos se determina usando un indicador (fenolftaleína). La difusión del CO_2 (gas) es diferente tanto en agua como en aire; en el agua es 104, más lenta que en aire. Por tanto si los poros están secos, el CO_2 (gas) difundirá rápidamente pero no reaccionará debido a la falta de agua; si están saturados la difusión será muy baja, y se presentará muy poca carbonatación; pero si los poros están parcialmente saturados, la carbonatación ocurrirá fácilmente (Pérez Quiroz, 2001).

3.2.4.2. Tipos de corrosión

Los tipos de corrosión pueden clasificarse convenientemente de acuerdo con la apariencia del metal corroído. La identificación puede realizarse de muchas formas, pero todas ellas se encuentran interrelacionadas en alguna manera. Como ejemplo, podemos establecer la siguiente clasificación:



- Corrosión por deterioro uniforme o general: Se caracteriza por una reacción química o electroquímica que actúa uniformemente sobre toda la superficie del metal expuesto a la corrosión. Es el resultado de la pérdida generalizada de la película pasiva, debida principalmente a la carbonatación. El proceso de carbonatación sucede por las reacciones de los compuestos básicos de la fase acuosa del concreto, como NaOH, KOH y específicamente $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con los componentes ácidos de la atmósfera, tales como SO_2 y CO_2 , éste último es el más abundante y del cual deriva el nombre de carbonatación; los productos de estas reacciones son carbonatos, sulfatos y agua, con un descenso en la alcalinidad del concreto. (Anexo 1)
- Corrosión por esfuerzo.(Anexo 2)
- Corrosión galvánica o entre dos metales: Ésta se presenta cuando existen dos metales diferentes en el medio electrolítico, en el concreto esta corrosión se formará cuando no se desarrolla una película pasiva característica en alguna sección de la varilla, lo que produce una pila de corrosión (Ávila, 2002) (Anexo 3)
- Corrosión por picadura. La picadura es una forma de ataque corrosivo localizado que produce hoyos pequeños agujeros en un metal.(Anexo 4)
- Corrosión por grietas o hendiduras. Es una forma de corrosión electroquímicamente localizada que puede presentarse en hendiduras y bajo superficies protegidas, donde pueden existir soluciones estancadas. Tiene una reconocida importancia en ingeniería toda vez que su presencia es frecuente bajo juntas, remaches, pernos y tornillos, entre válvulas y sus asientos, bajo depósitos porosos y en muchos lugares similares.(Anexo 5)
- Corrosión en espacios confinados. Se presenta cuando no existe acceso de oxígeno a la varilla, se crea una celda diferencial que induce la corrosión.

3.2.4.3. Corrosión por acción de cloruros.

Este fenómeno se produce sobre todo en zonas costeras, los iones de cloruro que se encuentran en el ambiente penetran en el hormigón destruyendo la capa protectora que cubre el acero de refuerzo y provocando una 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 del cemento, agua, agregados, aditivos o 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 acido que genera la corrosión. (Mendez)

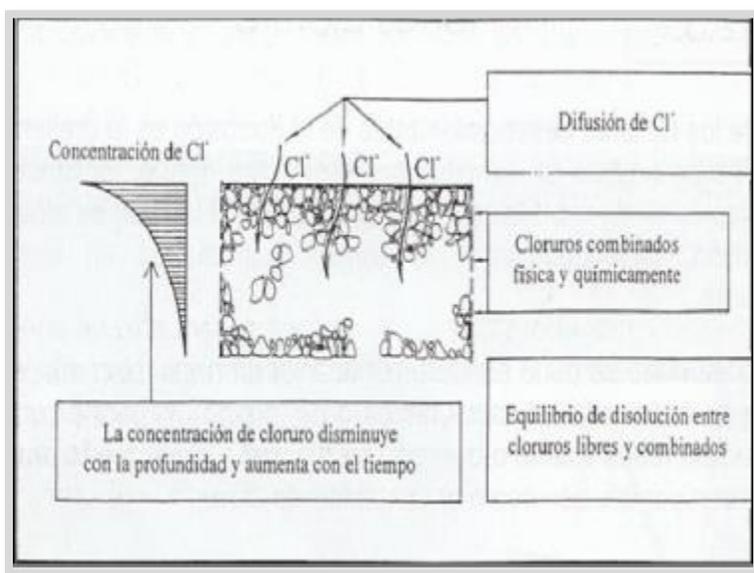


Figura 8. Fenomeno electroquímico de la corrosión provocado por iones de cloruro

Fuente: vida útil residual de estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión.

Leticia Pérez Méndez.

3.2.4.4. Protección contra la corrosión

Los métodos para proteger las estructuras nuevas consisten en la elaboración de un concreto que funcione como una barrera física y química contra los agentes agresivos del ambiente, ya que no existe una mejor protección del acero de refuerzo que la formación de una película pasiva formada por la hidratación del cemento.



Las formas de proteger y controlar la corrosión se basan en apartar algunos de los elementos que generan la corrosión (ánodo, cátodo, conductor, iónico, conductor eléctrico). Se han utilizado varios métodos para proteger de la corrosión al acero embebido en el concreto, como por ejemplo pinturas o revestimientos para el acero o el concreto (Durar, Agosto 2000) Los métodos más utilizados para prevenir y atacar el problema de corrosión en concreto, son los siguientes:

- Protección indirecta (concreto)
 - Inhibidores
 - Revestimientos
 - Recubrimientos
 - Realcalinización electroquímica
 - Extracción electroquímica de los iones cloruro
- Protección directa del acero
 - Protección catódica
 - Recubrimientos epóxico
 - Recubrimiento galvanizado
 - Reemplazo del acero por un material más resistente a la corrosión como acero inoxidable o materiales compuestos.

3.2.5. Aditivos

Los aditivos son productos que se adicionan en pequeña proporción al concreto durante el mezclado en porcentajes entre 0.1% y 5% (según el producto o el efecto deseado) de la masa o peso del cemento, con el propósito de producir una modificación en algunas de sus propiedades originales o en el comportamiento del concreto en su estado fresco y/o en condiciones de trabajo en una forma susceptible de ser prevista y controlada. Esta definición excluye, por ejemplo, a las fibras metálicas, las puzolanas y otros. En la actualidad los aditivos permiten la producción de concretos con características diferentes a los tradicionales, han dado un creciente impulso a la construcción y se consideran como un nuevo ingrediente, conjuntamente con el cemento, el agua y los agregados. Existen ciertas



condiciones o tipos de obras que los hacen indispensables. Tanto por el Comité **116R** del **ACI** como por la Norma **ASTM C 125** definen al aditivo como: “Un material distinto del agua, de los agregados y cemento hidráulico que se usa como componente del concreto o mortero. Las dosis en las que se utilizan los aditivos, están en relación a un pequeño porcentaje del peso de cemento, con las excepciones en las cuales se prefiere dosificar el aditivo en una proporción respecto al agua de amasado”. El uso de aditivos está condicionado por: (Chile)

- Que se obtenga el resultado deseado sin tener que variar sustancialmente la dosificación básica.
- Que el producto no tenga efectos negativos en otras propiedades del concreto.
- Que un análisis de costo justifique su empleo.

3.2.5.1. Antecedentes

Los antecedentes más remotos de los aditivos químicos se encuentran en los concretos romanos, a los cuales se incorporaba sangre y clara de huevo. La fabricación del cemento portland alrededor de 1850 y el desarrollo del concreto armado, llevó a regular el fraguado con el cloruro de calcio, patentado en 1885. Al inicio del siglo se efectuaron sin éxito comerciales estudios sobre diferentes aditivos. El primer antecedente de los aditivos químicos modernos se encuentran en el empleo ocasional del sulfonato naftaleno formaldehído, que fue utilizado en 1930 para actuar como dispersante en concretos con adiciones negro de humo, destinados a carriles de pavimentos que por su coloración pudieran llamar la atención de los conductores de vehículos. Si bien en 1932 se registró una patente de los EE.UU. no se aplicó por su elevado costo y exceder los requerimientos de las construcciones de concreto de esa época. (Chile).

3.2.5.2. Clasificación



Debido a que sus efectos son muy variados, una clasificación así es muy extensa, además debido a que un solo aditivo modifica varias características del concreto, además de no cumplir todas las que especifica. (Chile).

➤ **Según la norma técnica ASTM-C497 es:**

- TIPO A: Reductor de agua
- TIPO B: Retardante
- TIPO C: Acelerante
- TIPO D: Reductor de agua retardante
- TIPO E: Reductor de agua acelerante
- TIPO F: Súper reductor de agua
- TIPO G: Súper reductor de agua retardante

➤ **Según el comité 212 del ACI**

Los clasifica según los tipos de materiales constituyentes o a los efectos característicos en su uso: (Chile)

- Aditivos acelerantes.
- Aditivos reductores de agua y que controlan el fraguado.
- Aditivos para inyecciones.
- Aditivos incorporadores de aire.
- Aditivos extractores de aire.
- Aditivos formadores de gas.
- Aditivos productores de expansión o expansivos.
- Aditivos minerales finamente molidos.
- Aditivos impermeables y reductores de permeabilidad.
- Aditivos pegantes (también llamados epóxicos).
- Aditivos químicos para reducir la expansión debido a la reacción entre los agregados y los alcalinos del cemento.



- Aditivos inhibidores de corrosión.
- Aditivos fungicidas, germicidas o insecticidas.
- Aditivos floculadores.
- Aditivos colorantes.

➤ **Según la norma francesa AFNOR P 18-123 “Betons: Definitions et Marquage des Adjuvants du Betons”**

Establecen una clasificación más amplia:

- Aditivos que modifican las propiedades reo-lógicas del concreto fresco:
 - Plastificantes – Reductores de agua.
 - Incorporadores de aire.
 - Polvos minerales Plastificantes
 - Estabilizadores
 - Aditivos que modifican el fraguado y endurecimiento:
 - Aceleradores de fraguado y/o Endurecimiento.
 - Retardadores de Fraguado.
- Aditivos que modifican el contenido de aire:
 - Incorporadores de Aire
 - Antiespumantes.
 - Agentes formadores de Gas.
 - Agentes formadores de Espuma.
- Aditivos que modifican la resistencia a las acciones físicas:
 - Incorporadores de Aire.
 - Anticongelantes.
 - Impermeabilizantes.



- Aditivos misceláneos
- Aditivos de cohesión – emulsiones
- Aditivos combinados
- Colorantes
- Agentes formadores de espuma

Debido a que esta clasificación está hecha desde el punto de vista de su influencia en determinadas propiedades del concreto, algunos productos utilizados para confeccionar estos aditivos se repiten en más de un grupo.

3.2.5.3. Razones de empleo de un aditivo

Algunas de las razones para el empleo de un aditivo son:

➤ **En el concreto fresco:**

- Incrementar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua.
- Disminuir el contenido de agua sin modificar su trabajabilidad.
- Reducir o prevenir asentamientos de la mezcla.
- Crear una ligera expansión.
- Modificar la velocidad y/o el volumen de exudación.
- Reducir la segregación.
- Facilitar el bombeo.
- Reducir la velocidad de pérdida de asentamiento.

➤ **En el concreto endurecido:**

- Disminuir el calor de hidratación.
- Desarrollo inicial de resistencia.
- Incrementar las resistencias mecánicas del concreto.
- Incrementar la durabilidad del concreto.



- Disminuir el flujo capilar del agua.
- Disminuir la permeabilidad de los líquidos.
- Mejorar la adherencia concreto-acero de refuerzo.
- Mejorar la resistencia al impacto y la abrasión.

3.2.5.4. Modos de uso

Los aditivos se dosifican hasta en un 5% del peso de la mezcla y comúnmente son usados entre el 0.1 % y 0.5 % del peso del cemento. La utilización de aditivos no debería, con toda objetividad ser subestimada o menospreciada. El efecto deseado y su uso lo describen los propios fabricantes pero algunos son desconocidos incluso por ellos, por lo que es importante que antes de su uso se realicen pruebas a fin de constatar las propiedades del material. El uso del aditivo debe incluirse en el diseño de mezcla de concreto.

➤ Normalización

Tanto las normas peruanas como las norteamericanas del ASTM que les sirven de antecedentes, normalizan los aditivos de acuerdo a la función que cumplen en el concreto. En la Comunidad Europea las normas CEN normalizan los aditivos químicos según sean aplicados a pastas de cemento, morteros, concretos y concreto proyectados. Existen muchos otros tipos de aditivos, aún no normalizados, que tienen un nicho en el mercado. La introducción de los aditivos químicos en el mercado de la construcción se efectuó en la década de los cincuenta, de manera lenta pero progresiva debido a la actitud conservadora de muchos organismos como el Bureau of Reclamation, en los EE.UU. La actividad de los aditivos fue presentada inicialmente como algo misterioso y los productores aparecían como modernos alquimistas. Los vendedores no conocían el producto de base del material que ofrecían. Sin embargo los procesos eran simples, utilizando subproductos de la industria petrolera o subproductos industriales, como los lignosulfonatos brutos sin mayor eliminación de azúcares, provenientes de la fabricación del papel por vía química. La rápida introducción de los aditivos en el mercado de la construcción motivó la atención de investigadores, registrándose los primeros eventos técnicos, entre ellos debemos señalar: el



"Internacional Symposium on Admixtures for Mortar and Concrete", Brussels, 1967, RILEM. También la primera y segunda "internacional Conference on Superplasticizers in Concrete", de 1978 y 1981 organizado por ACI-CANMET. "Symposium on Superplasticizers in Concrete" Washington, D.C. 1978. Además, aparecen numerosos artículos técnicos en el Journal del ACI y en la revista Zement Kaip Gips. Es en este período que se afirma el conocimiento científico del comportamiento de los aditivos en el concreto. Paralelamente se ha producido un proceso de concentración en la industria de aditivos, con inversión en investigación, desarrollo, procesos tecnológicos y control de calidad para satisfacer los requerimientos del usuario. Las primeras normas ASTM se dieron en 1962 para los siguientes tipos de aditivos:

- Reductores de agua (tipo A)
- Retardadores de fraguado (tipo B)
- Aceleradores de fraguado y resistencia temprana (tipo C)
- Reductores de agua y retardadores (tipo D)
- Reductores de agua y aceleradores (tipo E)

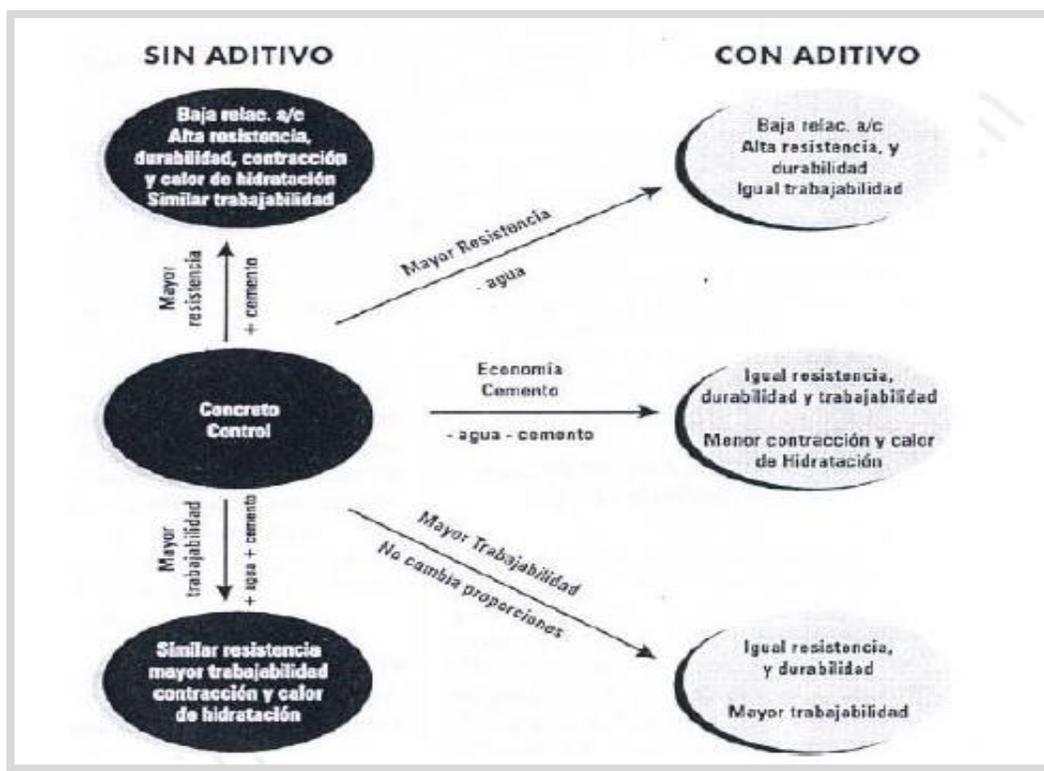


Figura 9. Alternativas para modificar la resistencia y trabajabilidad del concreto con aditivos o con modificaciones de diseño de mezclas.

Fuente: Conferencia inicial del Seminario "Aditivos y Adiciones en el Concreto-organizado por el Capítulo de Ingenieros Civiles, Asocem e Indecopi. Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería - Perú Universidad Católica del Norte – Chile.

3.2.6. Sábila

La sábila es una planta de Arabia y noroeste de África, cuyos lazos con la humanidad datan de hace mucho tiempo. Su nombre común sábila, procede de la voz árabe " sabaira " que significa " amargo " y el género científico Aloe proviene de otra palabra árabe " Alloeh" que significa " sustancia brillante amargosa ".



El acíbar, es decir, el jugo que se obtiene de las hojas de la sábila es uno de los medicamentos más antiguos conocidos por el hombre. Las referencias más antiguas de estas plantas se encuentran en escritura cuneiforme en la tabla de arcilla de Asurbanipal que datan de hace 5,000 años. En el Diccionario Botánico Asiris de Thompson, podemos ver los antiguos textos Acodianos de hace cuatro milenios, refiriéndose a Aloecon el nombre de "Sibaru".

Su utilización como planta medicinal fue muy importante para las antiguas culturas como los griegos, romanos, egipcios, hebreos, asirios, árabes y por supuesto para las culturas africanas, de donde se origina esta planta.

En el Continente Americano, la introducción de la sábila fue realizada por Cristóbal Colón, Quien la traía como parte de los "remedios" del botiquín de abordo. En nuestro país fueron los conquistadores españoles quienes trajeron la sábila, estableciéndola en los cascos de las haciendas de donde se propagó, algunas veces inducida por el hombre y otras escapadas al cultivo, a grado tal, que con el tiempo, llegó a naturalizarse en diferentes regiones del país.

En la actualidad, y por sus características como regenerador celular y otras particularidades medicinales, ha despertado el interés de muchos países para su estudio y su aprovechamiento. Por ser la sábila una especie susceptible de adaptarse y ser propagada en las zonas áridas y semiáridas, presenta un gran potencial como generadora de una actividad económica de importancia en tales regiones.

3.2.6.1. Composición química de la sábila (Aloe vera)



Figura 10. Sábila

Fuente: www.oxypowder.net/salud-natural/sabila.html, Dr. Edward F. Group III, DC, ND, 2010

La Sábila (Aloe Vera) tiene cerca de 200 elementos constitutivos que trabajan en forma conjunta produciendo numerosos efectos benéficos difíciles de contabilizar en su totalidad. No es fácil encontrar en la naturaleza una planta que reúna tantas propiedades beneficiosas para la salud en general y para la piel en particular.

3.2.6.2. Agua



Como todas las suculentas el aloe concentra un altísimo porcentaje de agua en su interior, de hecho el 95,5% de la planta está compuesta de agua y sólo el 5% de otros componentes sólido. Esto es crucial para explicar el sorprendente poder terapéutico del aloe, pues el agua es el vehículo idóneo en el que se disuelven el resto de las sustancias biológicamente activas.

3.2.6.3. Vitaminas y elementos

- Vitamina A: Retinol, Vitamina B1: Tiamina, Vitamina B2: Riboflavina, Vitamina B3: Niacina.
- Vitamina B5: Acido pantótenico, Vitamina B6: Piridoxina, Vitamina B9: Ácido Fólico.
- Vitamina B12: Mantenimiento del sistema nervioso central, Vitamina C: Ácido ascórbico.
- Vitamina D: Calciferon, Vitamina E: Tocoferol.

3.2.6.4. Sales minerales y oligoelementos

La sábila (aloe vera) es rica en sales minerales y oligoelementos, entre las que destacan:

- Hierro: componente esencial de la sangre.
- Calcio: es el mineral más abundante que se encuentra en el cuerpo humano.
- Fósforo: cumple un papel muy importante en la síntesis de proteína para el crecimiento.
- Magnesio: cumple diversas funciones metabólicas y juega un papel importante en la producción y el transporte de energía.
- Manganeso: es parte importante en la constitución de ciertas enzimas.
- Cromo: indispensable para el metabolismo de las grasas y de los carbohidratos.
- Cobre: contribuye a la formación de los glóbulos rojos y ayuda al buen mantenimiento de los vasos sanguíneos, los nervios, el sistema inmunológico y los huesos.
- Zinc: estimula el sistema inmunológico, es antiinflamatorio y potencia el apetito sexual.



- Selenio: es un elemento esencial que integra las enzimas.
- Silicio: cumple la importante función de estimular las células que participan en la formación de huesos y cartílagos.
- Germanio: agente antitumoral. Todas las plantas que contienen germanio han sido consideradas milagrosas y son: el aloe vera, el ging-seng y las setas shitake.

3.2.6.5. Aminoácidos

La sábila (aloe vera) aporta 19 de los 22 aminoácidos que necesita nuestro organismo, ocho de los cuales son esenciales y no podemos sintetizarlos por nosotros mismos, por lo que hemos de recurrir a aportes externos.

- Mono y polisacáridos: protegen las paredes del estómago y el intestino, aumentan las defensas y mantienen hidratados los tejidos
- Antraquinonas: son laxantes naturales y potentes antibióticos y antivirales.
- Saponinas: son sustancias vegetales solubles, detergentes naturales con propiedades antisépticas y antibióticas.
- Esteroles: tienen la facultad de inhibir la absorción de colesterol, reduciendo de esta forma el riesgo de padecer enfermedades coronarias. Actúa como protector hepático y antiviral.
- Aloemitina: previene y controla la propagación de ciertas formas cancerígenas.
- Aloemodina: regula el funcionamiento de la mucosa intestinal.
- Aloeoleina: mejora úlceras duodenales y estomacales. Disminuye la acidez.
- Aloetina: neutraliza el efecto de las toxinas microbianas.

3.2.7. Potencial eléctrico

La intensidad del proceso anódico es igual al catódico, y a su vez es igual la densidad de corriente de corrosión I_{corr} que es la medida de velocidad de corrosión. En estas condiciones el metal se corroe a un potencial característico del sistema, potencial de corrosión E_{corr} la cual requiere de un electrodo de referencia y un milivoltímetro para llevar a cabo su medida, donde los resultados se interpretan a partir de la Norma ASTM C-876-91. El método se basa en que los iones de hierro se desplazan desde la armadura (carga negativa) hasta el hormigón. Para detectar la carga negativa en la armadura se usa el



método de potencial, el cual puede emplearse para: definir las zonas en donde deben realizarse más ensayos para así poder determinar el estado de la estructura y diseñar las medidas de protección catódica. La interpretación de las medidas de potencial de corrosión se suelen hacer según el criterio de riesgo, basándose en la Norma ASTM C-876-91:

ECORR(SCE) mV	RIESGO DE DAÑO
>-200	10% de probabilidad de corrosión
-200 a -350	Cierta incertidumbre
<-350	90% de probabilidad de corrosión

Tabla 1. Interpretación de resultados norma ASTM C876-71

Fuente: Pérez, J; Gaona, C; Almeraya, F; Martínez, A; García, J & López, L (2007).

El método ASTM permite medir el potencial de corrosión en diferentes puntos de la armadura, y se completa con curvas equipotenciales, este es un método rápido y económico, puede ser asociado además a la resistividad del hormigón (Garces, Climent, y Zornoza, 2008).

3.2.8. Medida de resistividad

Este es un método utilizado para medir la velocidad instantánea de corrosión en el hormigón y consiste en desplazar el sistema de potencia a otro valor (circuito abierto) presentándose variaciones de potencial (ΔE) y de corriente (ΔI). La relación de la señal es en general de 10 a 30 mV

$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Luego de calcular el valor de R_p se puede obtener la velocidad instantánea de corrosión a partir de la ecuación de Stern y Geary. Densidad de Corriente de Corrosión en función de la unidad de superficie es:

$$I_{corr} = \frac{(b_a b_c)}{2.3(b_a + b_c)} \frac{\Delta E}{\Delta I} = \frac{B}{R_p} \quad (\text{Ecuación 2})$$



Donde B es la constante de Stern y Geary comprendida entre 13-52 mV, S superficie del electrodo en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ (Moreno E., 2008).

ICORR (MA/CM2)	NIVEL DE CORROSIÓN
< 0.1	Despreciable
a 0.5	Baja
0.5 a 1	Moderada
>1	Alta

Tabla 2. Clasificación del nivel de corrosión en función de la densidad de corriente de corrosión

Fuente: Pérez, J; Gaona, C; Almeraya, F; Martínez, A; García, J & López, L (2007)

3.3. Ensayos a compresión del concreto.

3.3.1. Requisitos de Ensayo

- **Probetas cilíndricas:** Las probetas para determinar la resistencia a la compresión o a la tracción por hendimiento, deben ser cilindros moldeados y fraguados en posición vertical, con una longitud igual a dos veces el diámetro. El diámetro del cilindro debe ser de al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del árido grueso. Si el tamaño máximo nominal del árido es mayor a 2 pulg (50 mm), la muestra de hormigón se tamiza en húmedo tal como se describe en la Práctica C 172. Para los ensayos de aceptación de la resistencia especificada a la compresión, deben utilizarse probetas cilíndricas de 6 x 12 pulg (150 x 300 mm) o de 4 x 8 pulg (100 x 200 mm) cuando se especifique (Nota 2).

Nota 2 - Cuando se requieren moldes con dimensiones en Sistema Internacional y no estén disponibles, se permite usar moldes equivalentes en sistema pulgada-libra.

- **Muestreo del Hormigón.** Las muestras utilizadas para elaborar las probetas de ensayo bajo esta norma, deben obtenerse de acuerdo con la Práctica C 172, a menos que se haya aprobado un procedimiento alternativo.



Registre la identificación de la muestra con respecto a la localización del hormigón muestreado y la hora de colocación.

- Descenso de cono, Contenido de Aire y Temperatura: Descenso de cono - Mida y registre el descenso de cono de cada amasada de hormigón con la que se elaboran las probetas, inmediatamente después de remezclar en el recipiente, como se indica en el Método de Ensayo C 143/C 143M.
- Contenido de Aire - Determine y registre el contenido de aire de acuerdo con los Métodos de Ensayo C 173/C 173M o C 231. El hormigón utilizado en la determinación del contenido de aire no debe emplearse en la elaboración de probetas de ensayo.
- Temperatura - Determine y registre la temperatura de acuerdo con el Método de Ensayo C 1064/C 1064M.

Nota 3 - Algunas especificaciones pueden requerir la medición del peso unitario del hormigón. El volumen de hormigón producido por cada amasada puede ser requerido en algunos proyectos. También puede ser deseable información adicional de las mediciones del contenido de aire. El Método de Ensayo C 138/C 138M es utilizado para medir el peso unitario, volumen producido y contenido de aire por el método gravimétrico en mezclas de hormigón fresco.

- Moldeo de las probetas:
 - Lugar para el moldeo - El moldeo de las probetas debe realizarse lo más rápido posible, sobre una superficie rígida y nivelada, sin vibraciones y otras perturbaciones, en un sitio lo más cercano posible del lugar donde se almacenarán.
 - Moldeo de los cilindros - Seleccione el pisón adecuado en el punto 5.4 y Tabla 1 o el vibrador adecuado en el punto 5.5. Con la Tabla 2 determine el método de compactación, a menos que se especifique otro método. Si el método de consolidación es por apisonado, determine los requisitos de moldeo con la Tabla 3. Si la consolidación es por vibración, determine los



requisitos de moldeo con la Tabla 4. Elija una herramienta pequeña, de forma y tamaño suficiente para asegurar que cada porción de hormigón, tomada del recipiente con la muestra, sea representativa y lo suficientemente pequeña para no derramar hormigón al colocarlo en el molde. Mientras se coloca el hormigón en el molde, mueva la herramienta alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución uniforme del hormigón y minimizar la segregación. Cada capa de hormigón debe consolidarse según se requiera. Al colocar la última capa, agregue una cantidad de hormigón que permita mantener lleno el molde después de la compactación.

ESPECIFICACIONES PARA EL MÉTODO DE COMPACTACIÓN	
Descenso de cono, pulgs(mm)	Método de compactación
≥ 1 (25)	Apisonado o vibrado
< 1 (25)	Vibrado

Tabla 3. Especificaciones método de compactación.

Fuente: ASTM: C 31/C 31M – 03ª-Práctica Normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del hormigón.

CILINDROS	NUMERO DE CAPAS APROX IGUAL A SU ALTURA	Nº DE GOLPES DE PISTÓN POR CAPA
Diámetro (pulg)		
4 (100)	2	25
6 (150)	3	25



9 (225)	4	50
---------	---	----

Tabla 4. Requisitos para el moldeo por apisonado.

Fuente: ASTM: C 31/C 31M – 03ª-Práctica Normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del hormigón.

➤ Curado

- Curado estándar: El curado estándar es el método de curado utilizado cuando las probetas son elaboradas y curadas para los propósitos indicados en 4.2.
- Almacenaje: En caso de que las probetas no pudieran moldearse en el lugar donde recibirán el curado inicial, inmediatamente después del acabado, mueva las probetas al lugar de almacenaje para el curado inicial. La superficie de apoyo sobre la que se almacenarán las probetas debe estar nivelada con una tolerancia de 1/4 pulg por pie (20 mm por metro). Si se mueven los cilindros elaborados con moldes desechables, levante y sostenga el cilindro por la parte baja del molde, con una llana grande o con algún otro dispositivo similar. Si se daña la superficie superior de la probeta durante el traslado al lugar de almacenaje inicial, se deben arreglar de inmediato los daños.
- Curado inicial: Después del moldeo y del acabado, las probetas deben almacenarse durante un periodo de hasta 48 horas, en un rango de temperatura entre 60 y 80 °F (16 a 27 °C) y en un ambiente húmedo para prevenir cualquier pérdida de humedad. Para las mezclas de hormigón con una resistencia especificada de 6000 psi (40 MPa) o más, la temperatura inicial de curado debe encontrarse entre 68 y 78 °F (20 y 26 °C). Se pueden emplear diversos procedimientos para mantener las condiciones de humedad y temperatura. En la Nota 5, se puede encontrar un procedimiento adecuado o combinación de procedimientos que pueden ser usados. Proteja todas las probetas contra el sol directo y de las fuentes de calor radiante, en caso de



que se usen. La temperatura de almacenamiento debe ser controlada mediante aparatos de refrigeración o calefactores si fuera necesario. Anote la temperatura, usando un termómetro de máximas y mínimas. Si los moldes son de cartón, proteja la superficie externa de manera que no quede en contacto con la arpillera húmeda u otras fuentes de agua.

- Curado final: Al finalizar el curado inicial y dentro de los 30 minutos siguientes a la remoción de los moldes, las probetas deben curarse manteniendo agua libre en las superficies del cilindro, durante todo el tiempo, a una temperatura de 73 ± 3 °F (23 ± 2 °C) usando el agua almacenada en los estanques o cuartos húmedos, que cumplan con los requisitos de la Especificación C 511, excepto cuando se refrenta con mortero de azufre e inmediatamente antes del ensayo. Cuando se refrenta con un compuesto de mortero de azufre, los extremos del cilindro deben estar lo suficientemente secos para evitar la formación de bolsas de vapor o espuma de más de 1/4 pulg (6 mm) bajo o en el refrentado, como lo describe la Práctica C 617. Durante un periodo que no exceda de 3 horas inmediatamente antes del ensayo, no se requiere de una temperatura estándar de curado, siempre que se mantenga la humedad libre en los cilindros y la temperatura ambiente se encuentre entre 68 y 86 °F (20 y 30 °C).



Figura 11. Preparación de cilindros de concreto.

Fuente: Práctica Normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del hormigón.

3.4. MARCO LEGAL

3.4.1. Ley N: 1562 del 2012 "Por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional"

➤ Artículo. 1º-Sistema General de Riesgos Laborales

Es el conjunto de entidades públicas y privadas, normas y procedimientos, destinados a prevenir, proteger y atender a los trabajadores de los efectos de las enfermedades y los accidentes que puedan ocurrirles con ocasión o como consecuencia del trabajo que desarrollan. Las disposiciones vigentes de salud ocupacional relacionadas con la prevención de los accidentes de trabajo y enfermedades laborales y el mejoramiento de las condiciones de trabajo, hacen parte integrante del Sistema General de Riesgos Laborales.



Salud Ocupacional: Se entenderá en adelante como Seguridad y Salud en el Trabajo, definida como aquella disciplina que trata de la prevención de las lesiones y enfermedades causadas por las condiciones de trabajo, y de la protección y promoción de la salud de los trabajadores. Tiene por objeto mejorar las condiciones y el medio ambiente de trabajo, así como la salud en el trabajo, que conlleva la promoción y el mantenimiento del bienestar físico, mental y social de los trabajadores en todas las ocupaciones.

3.4.2. Ley 100 de 1993 (diciembre 23) "Por la cual se crea el sistema de seguridad social integral y se dictan otras disposiciones"

➤ Artículo. 1º- Sistema de seguridad social integral:

El sistema de seguridad social integral tiene por objeto garantizar los derechos irrenunciables de la persona y la comunidad para obtener la calidad de vida acorde con la dignidad humana, mediante la protección de las contingencias que la afecten.

El sistema comprende las obligaciones del Estado y la sociedad, las instituciones y los recursos destinados a garantizar la cobertura de las prestaciones de carácter económico, de salud y servicios complementarios, materia de esta ley, u otras que se incorporen normativamente en el futuro.

3.4.3. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10) –Título C-concreto estructural- capítulo C.4- requisitos de durabilidad.

C.4.2.1 — El profesional facultado para diseñar debe asignar las clases de exposición de acuerdo con la severidad de la exposición anticipada de los elementos de concreto estructural para cada categoría de exposición.

El Título C del Reglamento NSR-10 incluye cuatro categorías de exposición que afectan los requisitos del concreto para asegurar una durabilidad adecuada:

Categoría de Exposición F: para concreto exterior expuesto a la humedad y a ciclos de congelamiento y deshielo, con o sin productos químicos descongelantes.

Categoría de Exposición S: para concreto en contacto con suelo o agua que contenga cantidades perjudiciales de iones sulfatos solubles en agua, como se define en C.4.2.1.



Categoría de Exposición P: para concreto en contacto con agua y que requiere baja permeabilidad.

Categoría de Exposición C: para concreto reforzado y preesforzadas expuesto a condiciones que requieren protección adicional del refuerzo contra la corrosión.

Para cada categoría de exposición, la severidad se encuentra definida por clases, con valores numéricos que aumentan de acuerdo con el incremento del grado de severidad de las condiciones de exposición. Se asigna una clasificación “0” cuando la categoría de exposición tiene un efecto despreciable o no es aplicable al elemento estructural.

3.4.4. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10) –Título C-concreto estructural- capítulo C.3- materiales.

➤ Ensayos de materiales (C.3.1)

Para asegurarse que los materiales utilizados en la obra sean de la calidad especificada, deben realizarse los ensayos correspondientes sobre muestras representativas de los materiales de la construcción. Cuando se trate de edificaciones que deben someterse a Supervisión Técnica de acuerdo con la exigido por la Ley 400 de 1997 el Supervisor Técnico establecerá un programa de control de calidad de acuerdo con lo exigido en A.1.3.9, en el presente Título C, y en el Título I de la NSR-10. Cuando la edificación no requiere Supervisión Técnica debe cumplirse lo exigido en el Artículo 19 de la Ley 400 de 1997 siendo responsabilidad del constructor realizar y documentar los controles de calidad de los materiales que exige el Reglamento, los cuales para concreto estructural están contenidos en el presente Título C, además de los exigidos en el Título I del Reglamento.

➤ **Agregados (C.3.3)**

Los agregados para concreto deben cumplir con una de las siguientes normas:

- (a) Agregado de peso normal: NTC 174 (ASTM C33),
- (b) Agregado liviano: NTC 4045 (ASTM C330).

Se permite el uso de agregados que han demostrado a través de ensayos o por experiencias prácticas que producen concreto de resistencia y durabilidad adecuadas, siempre y cuando sean aprobados por el Supervisor Técnico.



➤ **Agua (C.3.4)**

El agua empleada en el mezclado del concreto debe cumplir con las disposiciones de la norma NTC 3459 (BS3148) o de la norma ASTM C1602M cuando sean menos exigentes que los de la norma NTC 3459.

➤ **Acero de refuerzo (C.3.5)**

El refuerzo debe ser corrugado. El refuerzo liso solo puede utilizarse en estribos, espirales o tendones, y refuerzo de repartición y temperatura. Además, se pueden utilizar cuando el Título C del Reglamento NSR-10 así lo permita: refuerzo consistente en pernos con cabeza para refuerzo de cortante, perfiles de acero estructural o en tubos, o elementos tubulares de acero. Las fibras de acero deformadas dispersas se permiten solamente para resistir cortante bajo las condiciones indicadas en C.11.4.6.1 (f).

4. METODOLOGIA

4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN



Para el estudio de la sábila como aditivo natural como protección del acero de refuerzo en el concreto, se realizó una investigación de tipo mixta ya que representó un conjunto de procesos sistemáticos, experimental y críticos de análisis que implican la recolección y análisis de datos cualitativos y cuantitativos así como su integración y discusión conjuntas, para realizar inferencias producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento de fenómeno bajo estudio. (Hernández, 2008).

La investigación constó de cuatro etapas: análisis de fuentes de información incluyendo población y muestra, procesamiento para la recolección de información, análisis e interpretación de los resultados obtenidos y por ultimo preparación y presentación del informe final.

A continuación se presentan cada una de las etapas en la realización del proyecto de investigación.

4.2.FUENTES DE INFORMACIÓN

4.2.1. Fuentes primarias: la obtención de fuentes primarias estuvo concebida mediante la utilización de la cámara de niebla salina para la simulación de ambientes agresivos hacia el concreto y por ende hacia el acero durante 24 horas, y posterior medida de velocidad de corrosión través del potencióstato-galvanostato. Para los ensayos a compresión del concreto se sometieron a prueba cada uno de los cilindros calculados para cada concentración de sábila, evaluándolos a los 7, 14 y 28 días. Estos ensayos se realizaron en los laboratorios de la Universidad de Cartagena, laboratorios del ingeniero Modesto Barrios, y la Universidad Autónoma del Caribe en el presente año 2015

4.2.2. Fuentes secundarias: en la base de datos de la Universidad de Cartagena se encontraron diferentes artículos, documentos, revistas científicas que fueron de gran utilidad para la realización de esta investigación dentro de las cuales tenemos: Science Direct, Search Ebcghost, American Chemical Society (ACS),



Springer-Books, Ebrary, E-libro, Emerald y ASTM international. Basado en lo interpretaci3n y an3lisis de lo anterior se defini3 la metodolog3a para la concentraci3n de s3bila por cada probeta y la adecuada ejecuci3n de las pruebas a compresi3n y velocidad de corrosi3n.

4.2.3. Poblaci3n y muestra

Las muestras de Aloe Vera provienen de la ciudad de Cartagena, departamento de Bol3var. Para la elaboraci3n de probetas se tomaron concentraciones de 0, 15 y 30% del porcentaje total del agua de mezclado del concreto, ensayados de acuerdo a las normas ASTM C31/C con probetas de dimensiones 4" por 8".

4.3. Variables

Las probetas cil3ndricas se elaboraron teniendo en cuenta la norma ASTM: C 31/C 31M – 03^a, con dimensiones de 4" por 8" y acero estructural embebido de 3/8", para lo cual se tomaron las siguientes variables.

VARIABLES	DEFINICI3N	UNIDAD
DEPENDIENTES		
VELOCIDAD DE CORROSI3N	P3rdida de peso del material(Acero) por unidad de tiempo	g/h

Tabla 5. Variables dependientes para el dise2o experimental.

Fuente: Autores.



VARIABLES INDEPENDIENTES	DEFINICIÓN	UNIDAD
CONCENTRACIÓN DE EXTRACTO DE ALOE VERA(SÁBILA)	Gramos de extracto utilizado a la mezcla de concreto.	g/ml
MATERIAL(ACERO)	Área de material usado en las probetas	Cm ²
RESISTENCIA MECÁNICA	La resistencia que tiene el concreto a la ruptura	Psi

Tabla 6. Variables independientes para el diseño experimental.

Fuente: Autores.

VARIABLES INTERVINIENTES	DEFINICIÓN	UNIDAD
TIEMPO	Tiempo de exposición de las probetas a medio agresivo	H
TEMPERATURA	Temperatura a la que se realizaran los ensayos	°C

Tabla 7. Variables intervinientes para el diseño experimental.

Fuente: Autores.

4.4.Diseño experimental



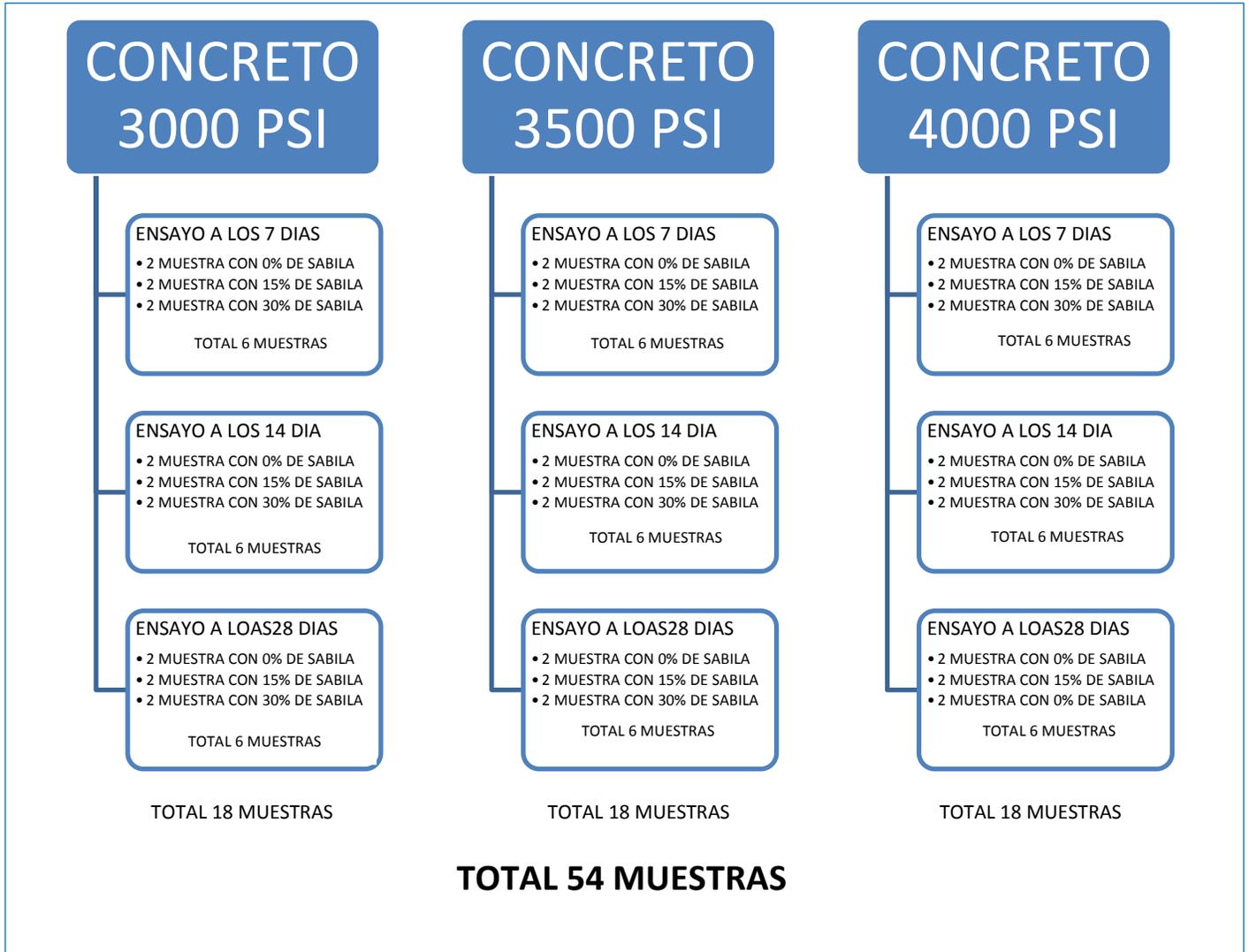
La determinación del número de muestras se obtuvo gracias a la utilización del factorial 3^k , donde K es el número de variables, las cuales en este caso son: la concentración de aloe vera y las diferentes resistencias del concreto para uso en edificaciones. Se elaboraron 9 muestras para ensayar a los 7 días, 3 por cada resistencia con una adición diferente del extracto de sábila, este proceso se repitió con el fin de obtener resultados más exactos en total se realizaron 18 muestras por cada día de ensayo, se realizó el mismo proceso para el ensayo a los 14 y 28 días, en total se elaboraron 54 probetas de concreto para el ensayo a compresión.

COMBINACIONES DISEÑO EXPERIMENTAL PARA PROBETAS DE CONCRETO.			
PORCENTAJE DE EXTRACTO DE SÁBILA/RESISTENCIA DEL CONCRETO	0%	15%	30%
3000 PSI	6	6	6
3500 PSI	6	6	6
4000 PSI	6	6	6

Tabla 9. Diseño de las probetas de concreto

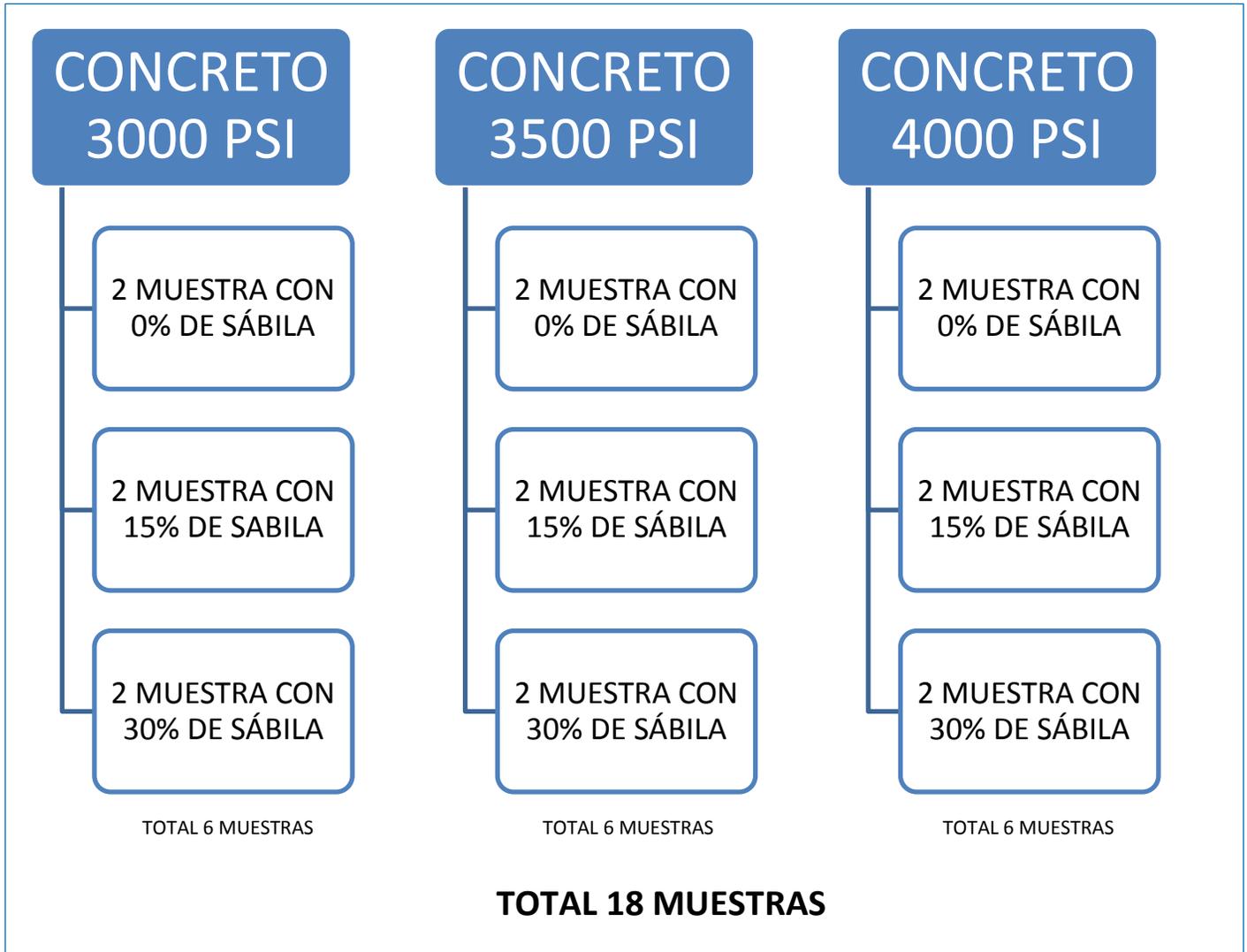
Fuente: Autores

De la anterior tabla se concluyen las diferentes muestras que se tomaran para los ensayos a compresión teniendo en cuenta la concentración de sábila para cada resistencia, a continuación se presenta un gráfico donde quedan evidenciadas las especificaciones de cada muestra para los ensayos a compresión y para determinar la velocidad de corrosión



Gráfica 1. Distribución de muestras de 3000psi, 3500psi y 4000psi

Fuente: Autores



Grafica 1-1. Diseño de las probetas de concreto para realizar ensayos para determinar la velocidad de corrosión.

Fuente: Autores.



- Elaboración de probetas para ensayos a compresión.

Para los ensayos a compresión se realizaron para cada muestra 3 experimentos de acuerdo a la composición de sábila y resistencia, ensayados hasta los 28 días de fraguado del concreto. Las muestras tuvieron dimensiones de 15 cm por 30 cm basados en la norma **ASTM: C 31/C 31M – 03^a**, las cuales serán ensayadas a los 7, 14 y 28 días. El número total de muestras ensayadas fueron 54.

PERIODO(DÍAS)	PROBETAS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SÁBILA (%)
7	0
	15
	30
14	0
	15
	30
28	0
	15
	30

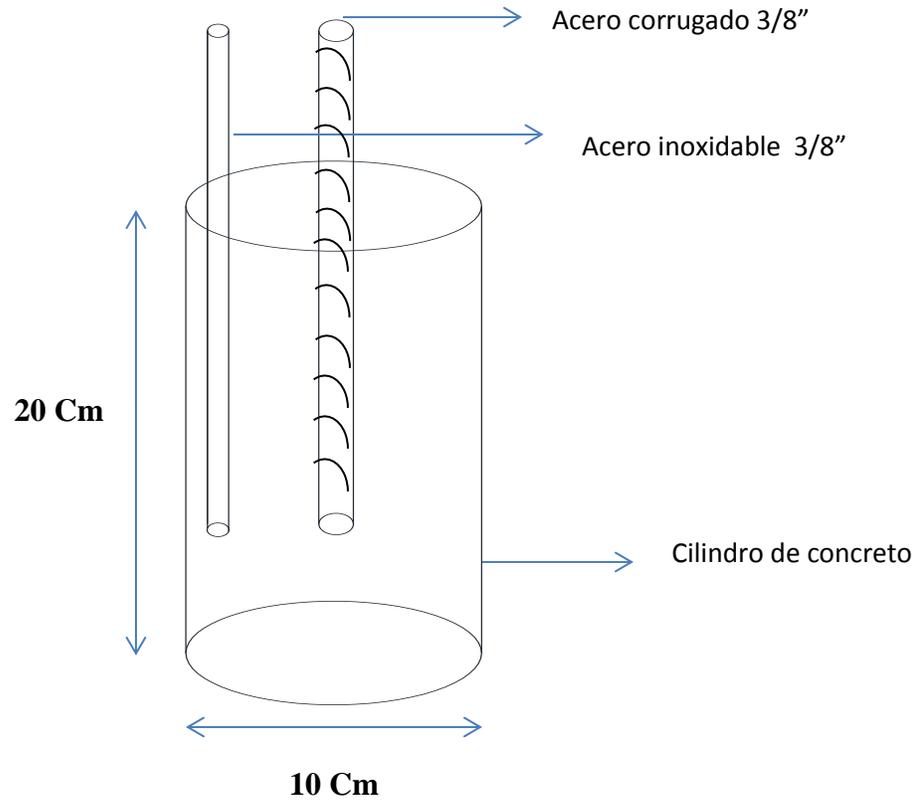
Tabla 10. Diseño de las probetas de concreto

Fuente: Autores

A continuación, un esquema de los cilindros diseñados para ensayar a compresión y para determinar la velocidad de corrosión.



- **Cilindros para determinar la velocidad de corrosión del acero**

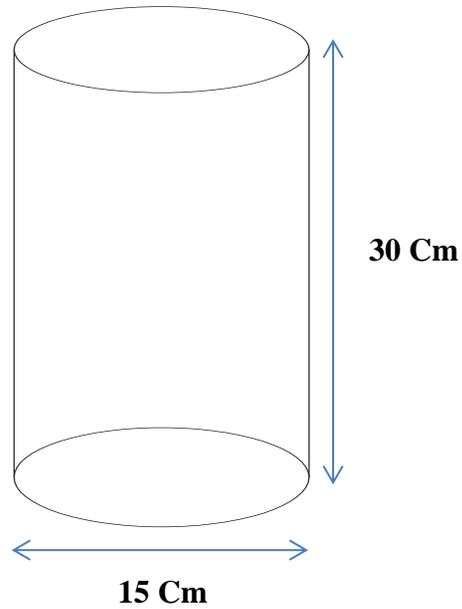


Grafica 2. *Diseño de probetas de ensayos para medir la velocidad de corrosión.*

Fuente: Autores.



- **Cilindros para ensayos a compresión:**



Grafica 3. Diseño de probetas para ensayos a compresión.

Fuente: Autores.



4.5. PROCEDIMIENTO

Los ensayos para determinar la resistencia de los cilindros de concreto se llevaron a cabo en el Laboratorio del Ing. Modesto Barrios, docente de la Universidad de Cartagena, en el programa de ingeniería civil; los ensayos de las diferentes resistencias, con diferentes proporciones de extracto de sábila se hicieron a temperatura ambiente; a partir de las muestras ensayadas a los 7 días, se observó la gran diferencia existente entre las muestras que contenían el extracto de sábila en distintas proporciones y la muestra que no contenía sábila, en los ensayos realizados a los 14 y 28 días se corroboró que el extracto de sábila afecta desfavorablemente la resistencia del concreto disminuyéndola abismalmente en comparación con las muestras ensayadas sin presencia del extracto de sábila.

4.5.1. Obtención del extracto de sábila

Para obtener el extracto inhibidor se pesaron los gramos de sábila en relación a la cantidad de agua que se requería para obtener la resistencia buscada, para esta investigación se usó el 15 y 30% de sábila, en relación a la cantidad total de agua, luego de la recolección del extracto de sábila se inició el proceso de licuado para obtener una consistencia uniforme a la hora de hacer la adición al agua, posteriormente se pesaron las diferentes cantidades de sábila en una balanza electrónica, el procedimiento tardó aproximadamente unas 4 horas y se realizó en los Laboratorios de Geotecnia y Materiales de la facultad de ingeniería civil en la Universidad de Cartagena.



Figura 12. Plantas de sábila utilizadas como aditivo al concreto

Fuente: Autores.



Figura 13. Moldes utilizados en la elaboración de probetas.

Fuente: Autores.



4.5.1.1.Preparación de las muestras

- Para las muestra ensayadas a compresión, se hicieron las 54 muestras planeadas inicialmente, cada una con las especificaciones ya explicadas, se prepararon 18 muestras de 3000psi, 18 de 3500psi y 18de 4000 psi, y a cada muestra se le adiciono el porcentaje de sábila correspondiente
- Para las muestras sumergidas en la cámara salina, se prepararon 18 cilindros, 6 por cada resistencia, en los cuales están 2 con una adición de 0% de extracto de sábila, 2 con una adición de 15% de extracto de sábila y 2 con una adición de 30% de extracto de sábila
- Para la elaboración del concreto se usó cemento portland tipo I, agua potable procedente de la red local de suministro para uso doméstico sin olor, color ni sabor tomada de la ciudad de Cartagena, con buenos antecedentes de uso en la fabricación de concreto, se usaron dos tipos de agregados: triturado caliza de ½ de CIMACO y arena de Rotinet y la adición del extracto de sábila en diferentes proporciones.
- En la preparación del acero se usó pintura epóxica a la altura de 12 cm en barra de acero de 22 cm esto se hizo con el fin de que quedaran 8 cm pintados dentro del cilindro y 4cm afuera para buscar que los cloruros entraran directamente atravesando el concreto, y no a través de alguna fisura existente en el agujero en que se introdujo el acero, de esta manera se busca que la oxidación no tenga fácil acceso al acero por medio del extremo expuesto de la barra de acero.



Figura 14. Agregados utilizados en la elaboración de la mezcla de concreto

Fuente: Autores.



Figura 15. Mezcla de concreto

Fuente: Autores.



Figura 16. Probetas de concreto para ensayos a velocidad de corrosión

Fuente: Autores.



Figura 17. Probetas de concreto para ensayos a compresión

Fuente: Autores.



Figura 18. Probetas de concreto utilizadas para ensayos a compresión y a velocidad de corrosión.

Fuente: Autores.

4.5.2. Implementación del montaje experimental

Las muestras y los ensayos de compresión, se elaboraron teniendo en cuenta la NTC C 31/C 31M – 03^a



Figura 19. Muestras en estado de curado del concreto

Fuente: Autores.



Figura 20. Ensayo a compresión del concreto

Fuente: Autores.



Figura 21. Ensayo a compresión del concreto

Fuente: Autores



4.5.2.1. Cámara salina

Las probetas fueron sumergidas en la cámara salina por un tiempo de 216 horas, luego de las cuales se sacaron y se realizó el ensayo para determinar la velocidad de corrosión.



Figura 22. Cámara de niebla salina utilizada para simular ambiente agresivo.

Fuente: Autores.



Figura 23. Elementos de Cámara de niebla salina utilizada para simulación de ambiente agresivo

Fuente: Autores.

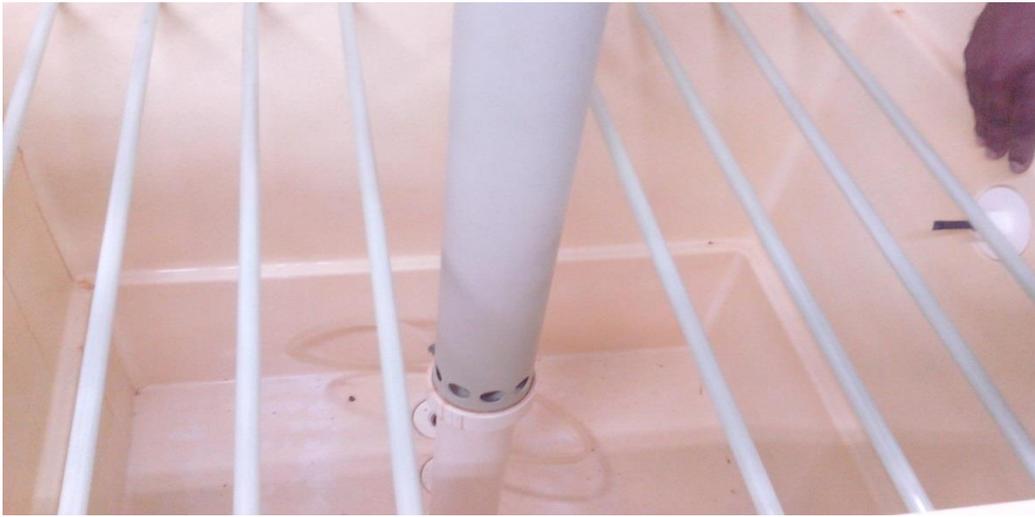


Figura 24. Cámara de niebla salina

Fuente: Autores.

4.5.2.2. Determinación de la velocidad de corrosión del acero embebido en las muestras de concreto armado.

El grado de la corrosión se evaluó mediante propiedades electroquímicas de potencial de corrosión (E_{corr}) y la resistencia mecánica de las probetas de hormigón armado sumergidas en la cámara salina a 200 horas después de la inmersión.

Las mediciones de E_{corr} se realizaron con un multímetro de alta impedancia HIBOK 50B que se encuentra en los laboratorios de física de la Universidad de Cartagena, donde los valores se interpretaron según la norma ASTM C-876 para así establecer en qué estado se encuentra la barra de acero embebida en el concreto.

Para lo cual, se tuvo en cuenta que estos parámetros dependen de la cinética de las reacciones de corrosión, estas variaciones se presentan en la siguiente tabla:



<i>E_{corr}</i>	criterio
> - 0,2 V	pasivo
-0,2 a -0,35	Cierta incertidumbre
< - 0,35 V	activo

Tabla 11. Parámetros del potencial de corrosión en voltios

Fuente: (Moreno, Requenab, Morrisc, Alvarezd, & Duffod, 2000)

Las mediciones de resistividad eléctrica se realizaron con un electrodo de referencia externo de Cobre-Sulfato de cobre (Cu/CuSO₄), conectado a un multímetro de alta impedancia HIBOK 50B que se encuentra en los laboratorios de física de la Universidad de Cartagena y se calcularon a partir de los datos obtenidos del E_{corr} de acuerdo a la ecuación:

$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

ρ : Resistividad eléctrica (Ωcm)

R: Resistencia eléctrica (Ω)

A: Área transversal (cm^2)

L: Longitud (cm)



Basándonos en los rangos estándares existentes en la actualidad para definir el valor de la resistividad eléctrica del hormigón, se empleó como criterio general el siguiente:

valor	criterio
$\rho > 200 \text{ k}\Omega\text{-cm}$	Poco riesgo
$200 > \rho > 10 \text{ k}\Omega\text{-cm}$	Riesgo moderado
$\rho < 10 \text{ k}\Omega\text{-cm}$	Alto riesgo

Tabla 12. Criterio general de valores de resistividad eléctrica del hormigón

Fuente: (Mejía Orellana & Peña Estrella)



5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1. Ensayos a compresión del concreto

Las pruebas para determinar la resistencia del concreto se obtuvieron utilizando la maquina universal está compuesta por un equipo principal, una fuente hidráulica, un controlador y un sistema de control computarizado. Su placa móvil es accionada por energía eléctrica, hasta lograr ajustar la zona de compresión deseada. Las probetas cilíndricas ensayadas fueron de 6'' por 12'' para resistencias de 3000psi, 3500psi 4000psi, a una concentración de sábila de 0%, 15% y 30%. En total se ensayaron 72 muestras.

A continuación se muestran los resultados de ensayos a los 7, 14 y 28 días.

RESISTENCIA : 3000PSI				
MUESTRA	SABILA (%)	RESISTENCIA DEL CONCRETO (PSI)		
		7 días	14 días	28 días
1	0	1871,2	2698,2	2998,56
2		1886,7	2715,52	3050,14
PROMEDIO		1871,2	2718,8	3020,88
3	15	1736,2	1916,35	2202,2
4		1716,48	1952,58	2114,14
PROMEDIO		1726,98	1933,73	2148,59
5	30	1582,5	1875,69	2012,95
6		1532,64	1839,93	2110,17
PROMEDIO		1557,7	1851,68	2057,42

Tabla 13. Ensayos a compresión para resistencia de 3000psi

Fuente: Autores



RESISTENCIA : 3500PSI				
MUESTRA	SABILA (%)	RESISTENCIA DEL CONCRETO (PSI)		
		7 días	14 días	28 días
1	0	2158,56	3256,98	3550,24
2		2126,62	3215,6	3498,56
PROMEDIO		2148	3221,6	3579,56
3	15	1710,25	2745,86	2998,67
4		1689,23	2715,25	3101,23
PROMEDIO		1699,6	2736,93	3041,03
5	30	1503,25	2610,29	2898,25
6		1525,36	2635,49	2923,18
PROMEDIO		1511,96	2620,92	2912,13

Tabla 14. Ensayos a compresión para resistencia de 3500psi

Fuente: Autores

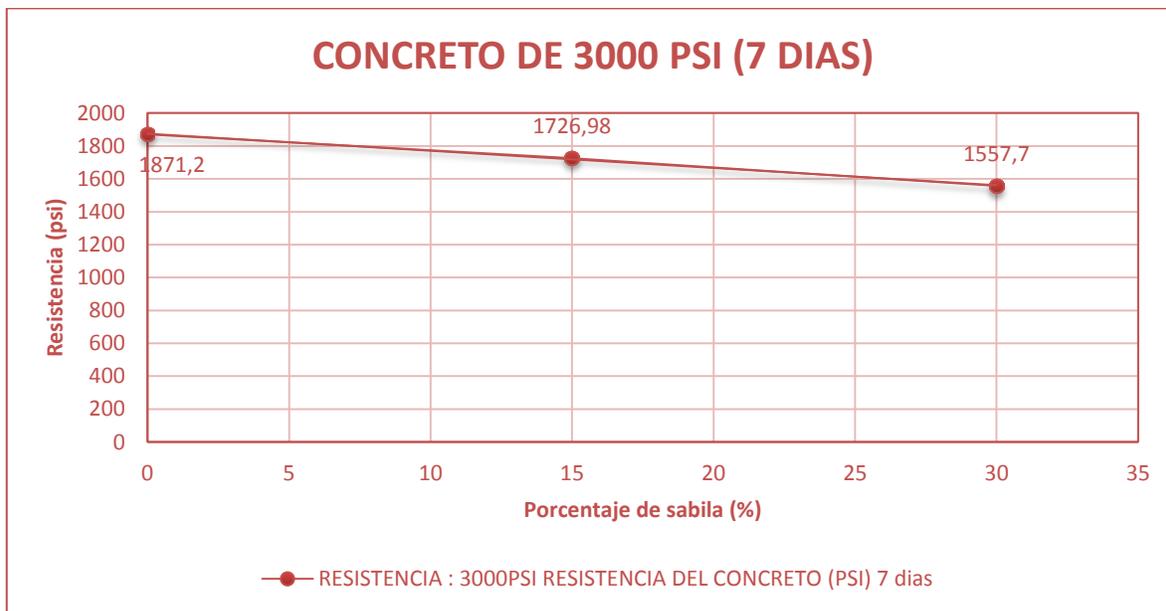
RESISTENCIA : 4000PSI				
MUESTRA	SABILA (%)	RESISTENCIA DEL CONCRETO (PSI)		
		7 días	14 días	28 días
1	0	2498,65	3640,5	4050,12
2		2515,14	3625,25	4100,2
PROMEDIO		2503,8	3637,6	4087,19
3	15	2236,15	2506,23	2852,3
4		2262,32	2487,56	2798,1
PROMEDIO		2248,8	2498,4	2807,19
5	30	1766,64	1782,21	1975,45
6		1790	1852,45	2001,3
PROMEDIO		1786,4	1879,2	1999,1

Tabla 15. Ensayos a compresión para resistencia de 4000psi

Fuente: Autores

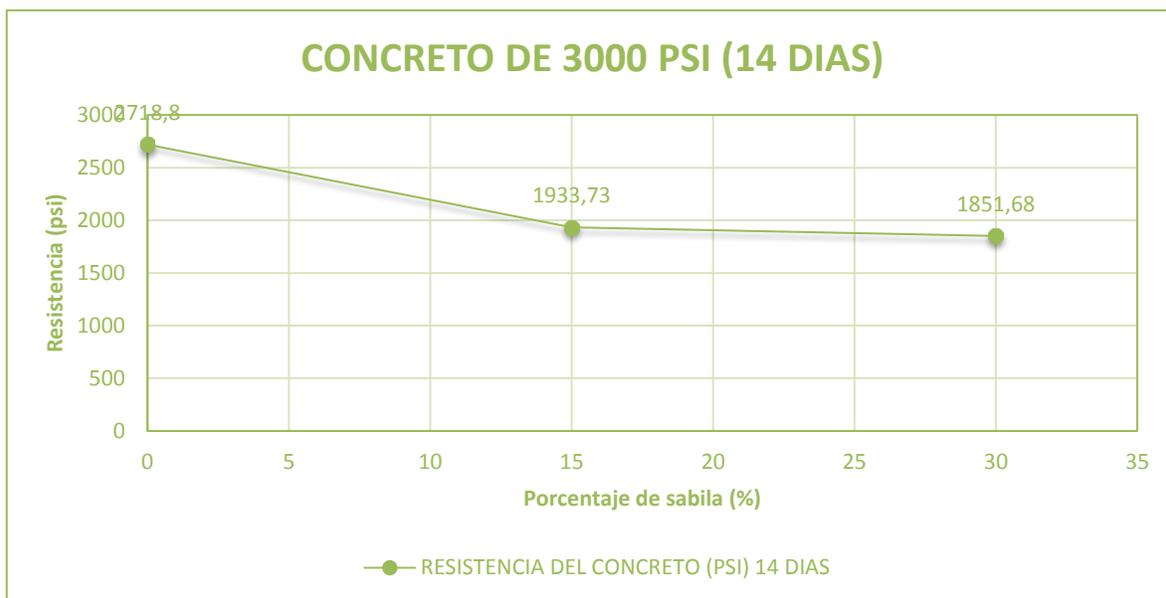


- Graficas comparativas de resultados obtenidos



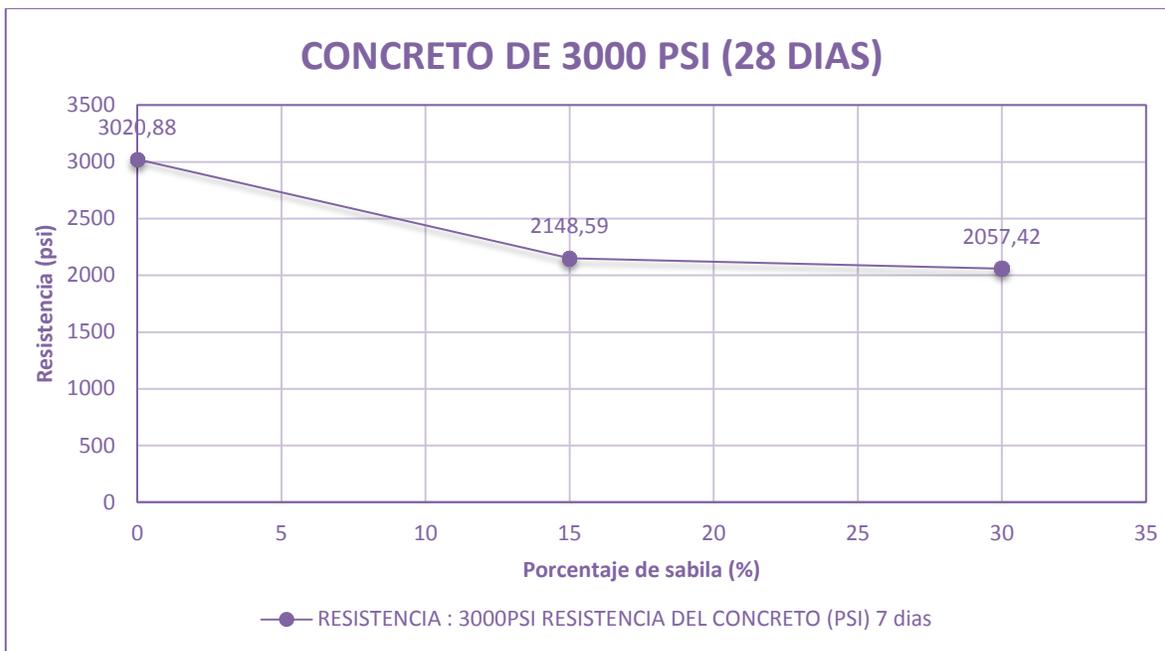
Gráfica 4. Variación de la resistencia Vs contenido de sábila para 3000 psi

Fuente: Autores



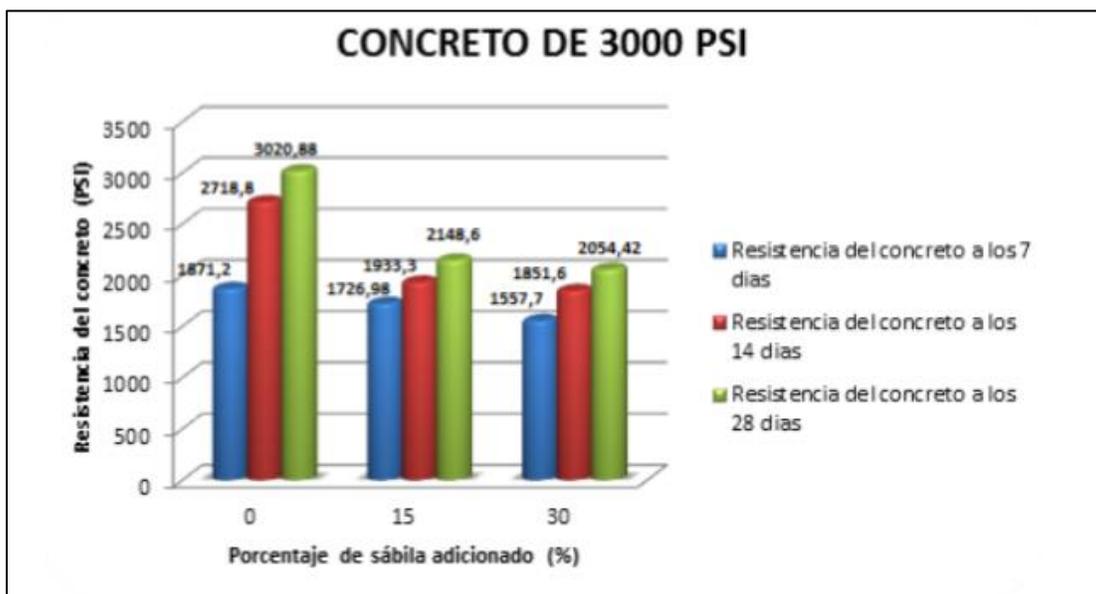
Gráfica 5. Variación de la resistencia Vs contenido de sábila 3000psi a los 14 días

Fuente: Autores



Gráfica 6. Variación de la resistencia Vs contenido de sábila 3000 psi a los 28 días

Fuente: Autores

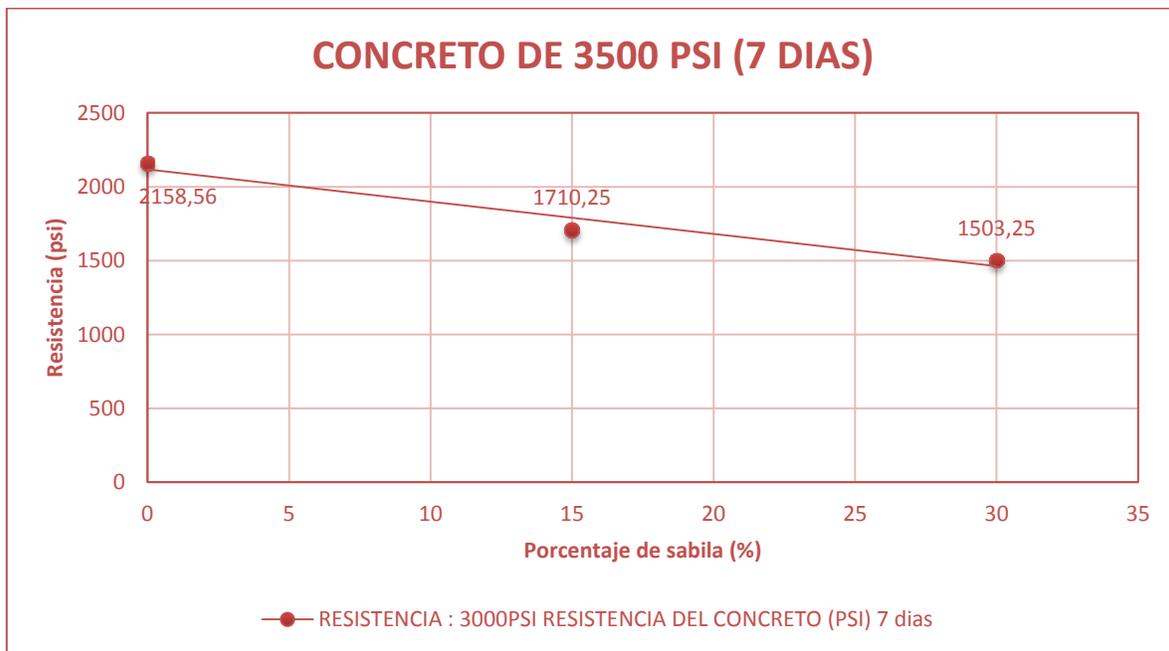


Gráfica 7. Variación de la resistencia Vs contenido de sábila para 7,14 y 28 días

Fuente: Autores

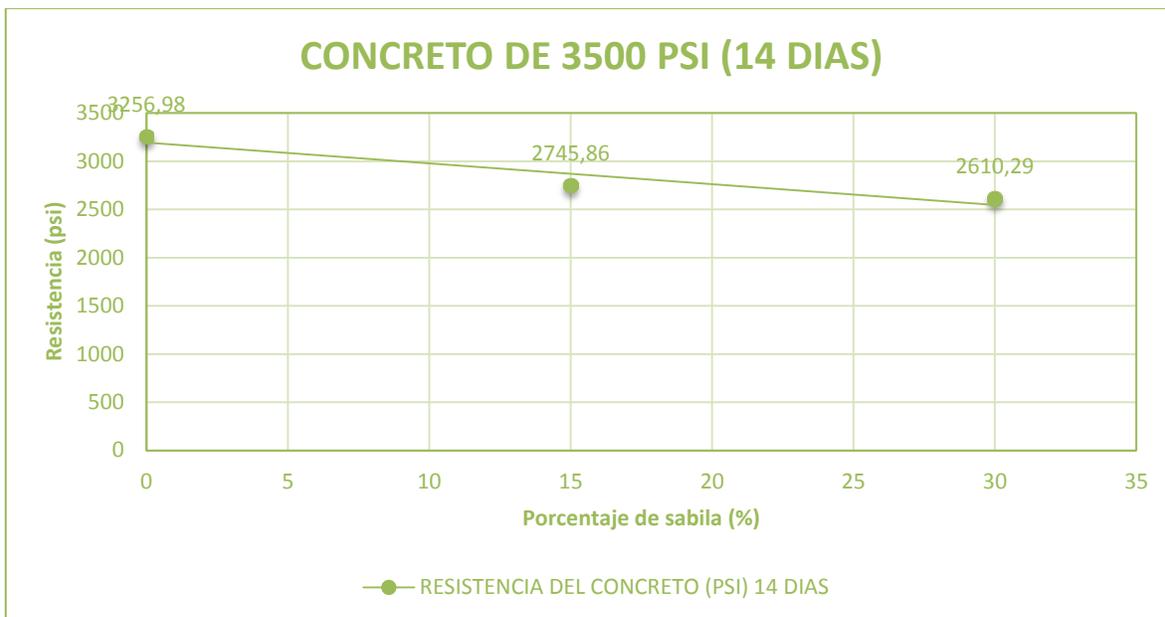


Los resultados anteriores muestran que para el concreto de 3000 psi la variación de la resistencia especialmente la final a los 28 días fue decreciente disminuyendo en un 28,87% con la adición del 15% de sábila y para la concentración de 30% la resistencia disminuye en un 31,99%. Demostrando con estos resultados que la sábila no es un buen aditivo para el concreto ya que se busca aumentar la resistencia o mantenerla constante pero este la disminuye considerablemente.



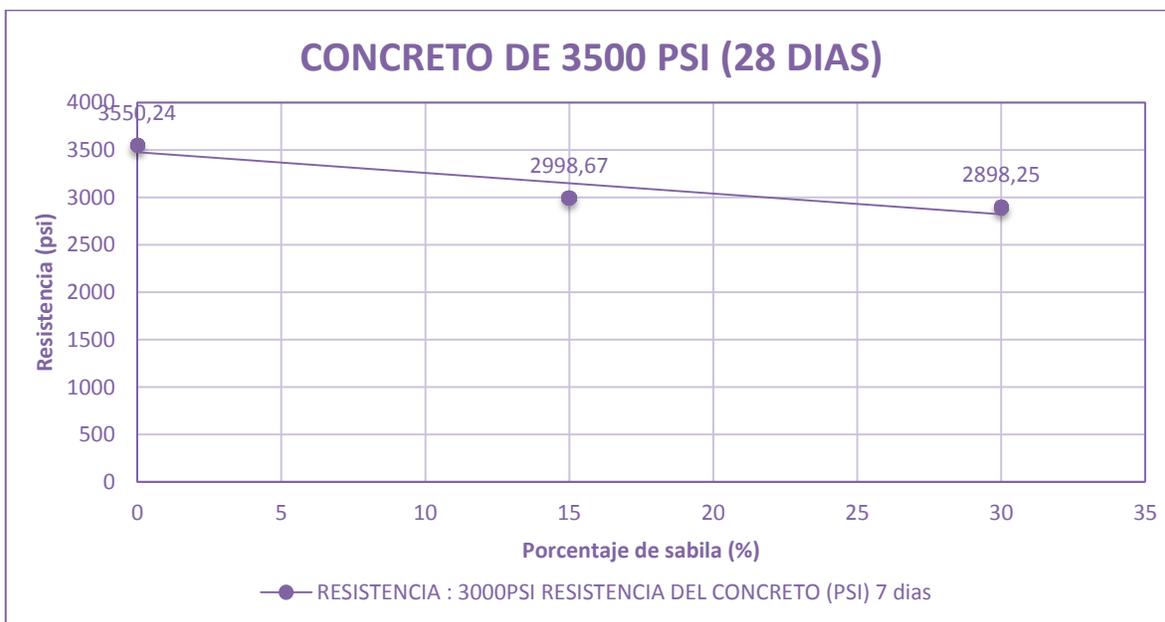
Gráfica 8. Variación de la resistencia Vs contenido de sábila 3500 psi a los 7 días

Fuente: Autores



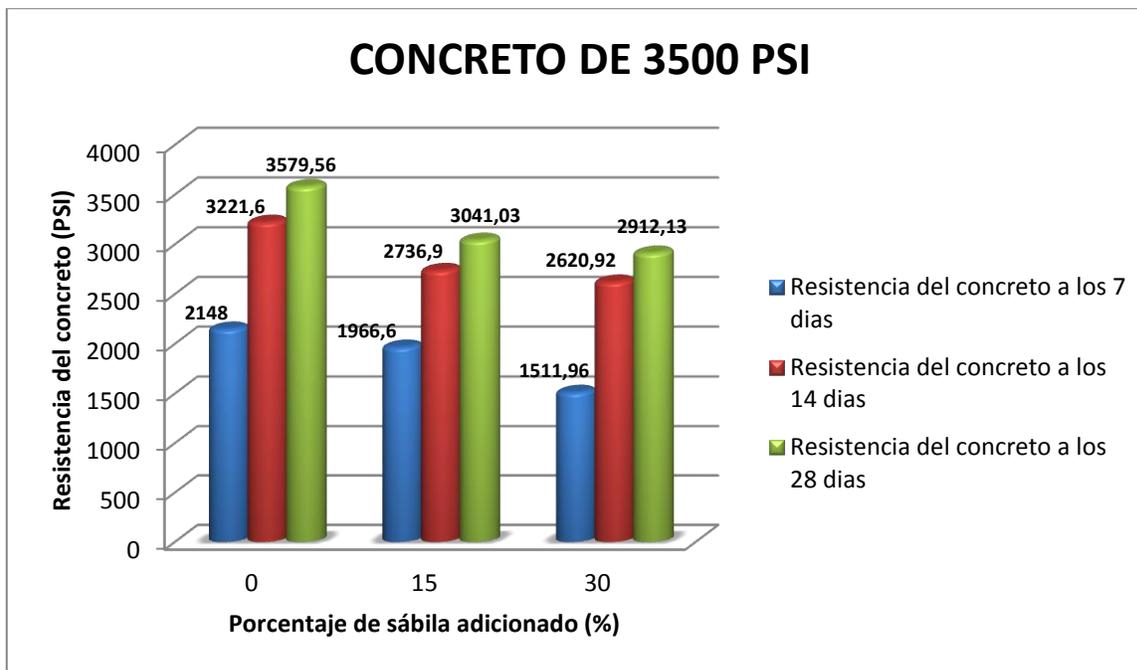
Gráfica 9. Variación de la resistencia Vs contenido de sábila 3500 psi a los 14 días

Fuente: Autores



Gráfica 10. Variación de la resistencia Vs contenido de sábila 3500 psi a los 28 días

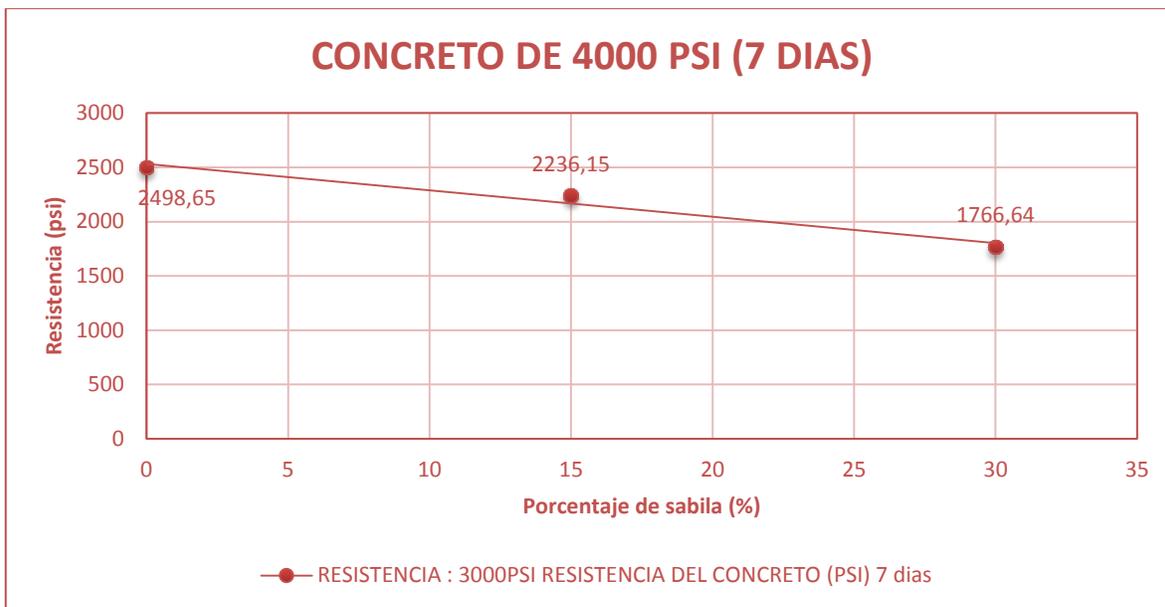
Fuente: Autores



Gráfica 11. Variación de la resistencia Vs contenido de sábila a los 7,14 y 28 días

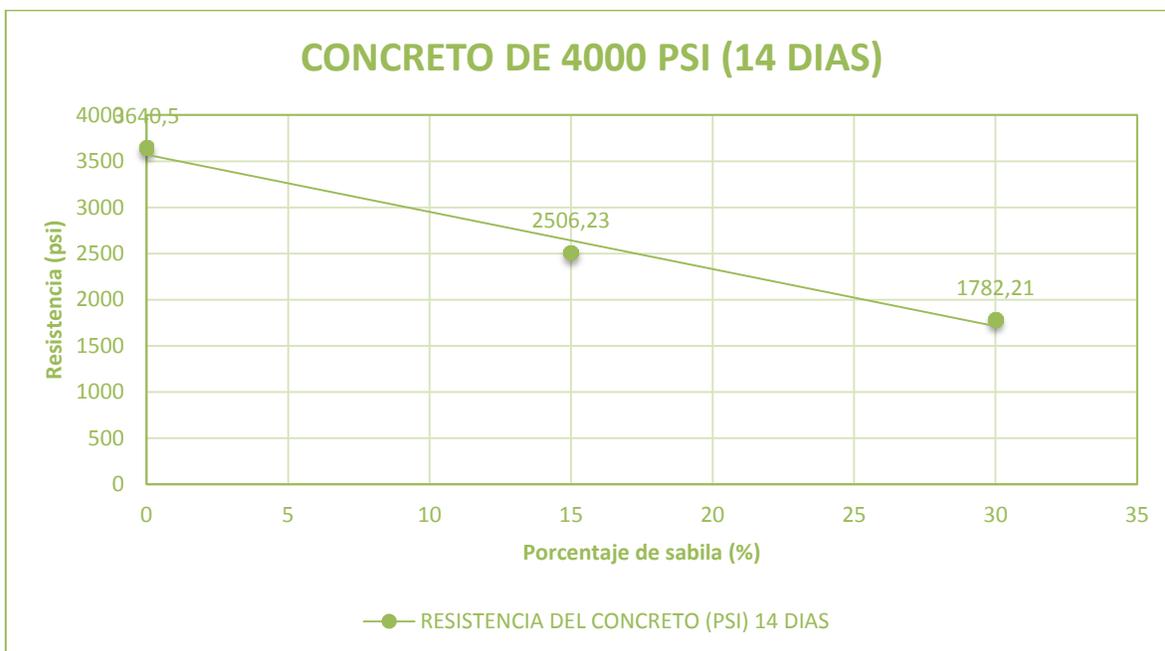
Fuente: Autores

La grafica 11 muestra una disminución de resistencia del 15% para concentraciones del 15% de sábila en comparación con las muestras piloto que no contenían aditivo alguno, por otro lado para las muestras con un 30% de sábila se tornó una disminución de resistencia del 18,64% aumentando la tendencia a no ser eficaz en la durabilidad de las estructuras ya que no cumple con los parámetros físico-mecánicos de la mezcla del concreto para la cual se diseñó.



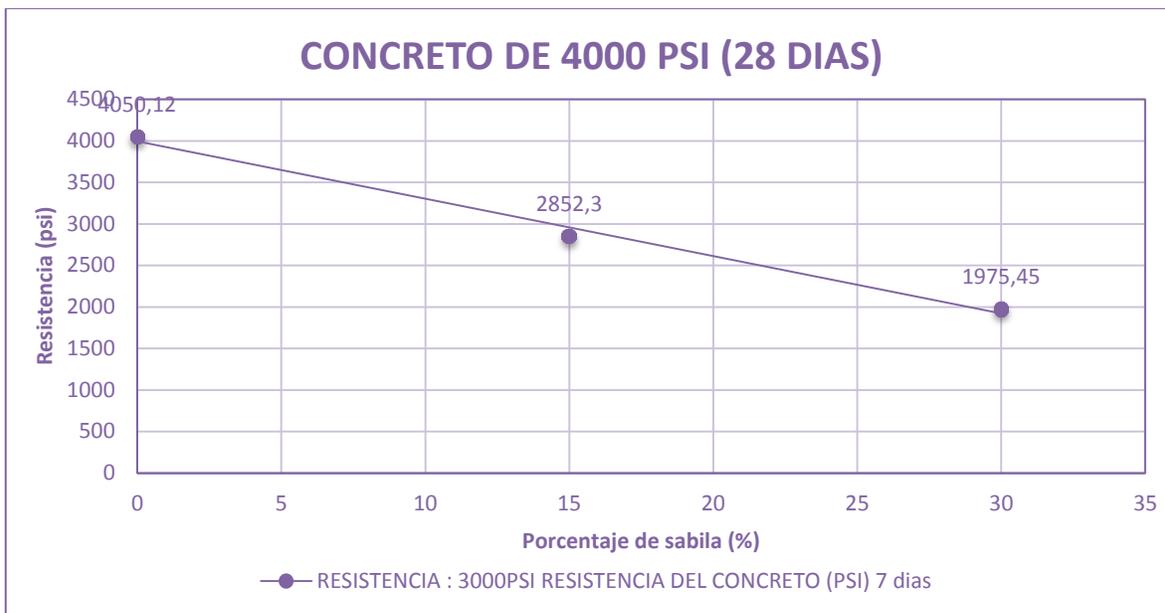
Gráfica 12. Variación de la resistencia Vs contenido de sábila 4000 psi a los 7 días

Fuente: Autores



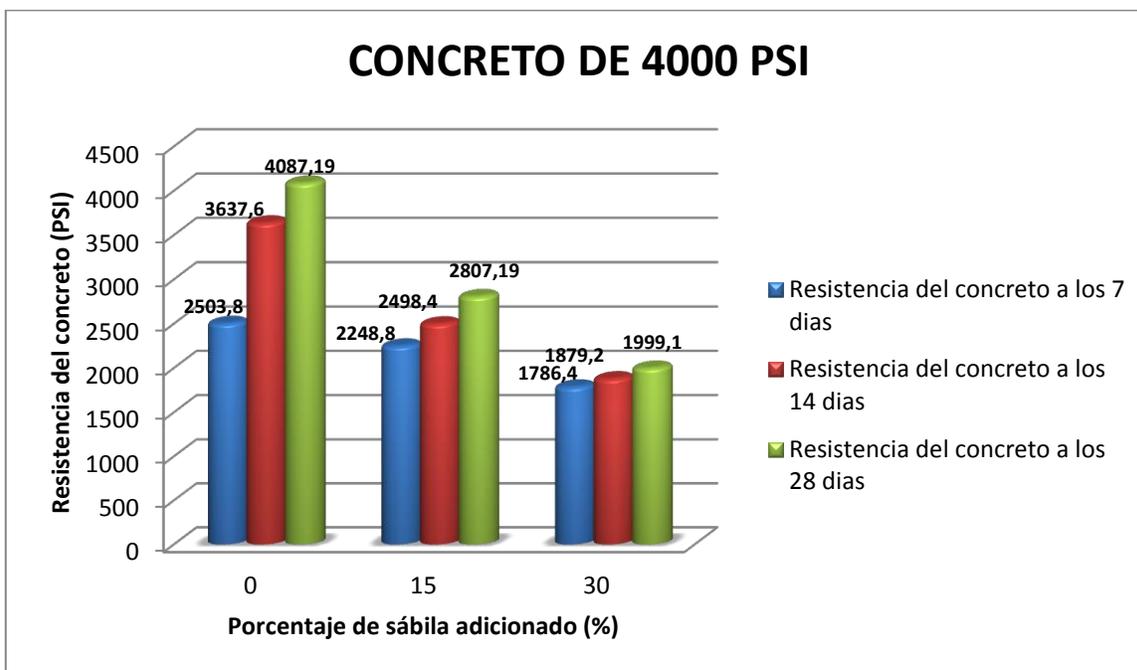
Gráfica 13. Variación de la resistencia Vs contenido de sábila 4000 psi a los 14 días

Fuente: Autores



Gráfica 14. Variación de la resistencia Vs contenido de sábila 4000 psi a los 28 días

Fuente: Autores



Gráfica 15. Variación de la resistencia Vs contenido de sábila a los 7,14 y 28 días

Fuente: Autores



La grafica 15 genera una afectación de disminución de la resistencia del 31,31% para un porcentaje de sábila del 15% y para el 30% se encuentra que la disminución alcanza el 51,08%, con este dato se corrobora que el uso de sábila en el concreto no puede ser utilizado como factor o posible método de utilización buscando la incorporación de cambios ambientales en los que se utiliza el concreto ya que no es viable que se utilice un aditivo que trastorne gigantescamente la resistencia de un material en más de la mitad del valor en este caso resistencias de 4000 psi, una de las más usadas en la costa caribe colombiana.

5.1. Ensayos para determinar la velocidad de corrosión del acero

Para la determinación del potencial de corrosión, se usó el multímetro, se tomaron seis mediciones y se promediaron para escoger un valor más certero, el promedio de estas mediciones se relaciona a continuación.

- CONCRETO DE 3000 PSI

PORCENTAJE DE SABILA	ECORR (AMPERIOS)
0%	-0,475
15%	-0,3905
30%	-0,195

Tabla 17. Determinación del potencial de corrosión para el concreto de 3000PSI

Fuente: Autores

- CONCRETO DE 3500 PSI

PORCENTAJE DE SABILA	ECORR (AMPERIOS)
0%	-0,4516
15%	-0,3713
30%	-0,1856

Tabla 17. Determinación del potencial de corrosión para el concreto de 3500PSI



Fuente: Autores

- CONCRETO DE 4000 PSI

PORCENTAJE DE SABILO	ECORR (AMPERIOS)
0%	-0,4283
15%	-0,3521
30%	-0,176

Tabla 18. Determinación del potencial de corrosión para el concreto de 4000PSI

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta de la clasificación referida en la Tabla 11 donde se establece los parámetros del potencial de corrosión, se puede observar que el fenómeno de la corrosión se encuentra en estado activo para una adición del 0% de sábila y del 15% pero para un 30% en todas las resistencias, se encuentra en estado pasivo.

La variación del potencial estuvo dada para las resistencias de 3000 psi y 3500 psi en un 4,92% en concentraciones del 0%, 4,91% para un 15% de sábila y para 30% se obtuvo una variación del 4,82%. En resistencias de 3500 y 400 psi se observó una variación del 5,15%, 5,17% y 5,17% respectivamente para cada una de las muestras. Los valores de resistencia de 3000 psi en comparación con las de 4000psi se mostraron en un 9,83%, 9,833% y finalmente un 9,74%. Lo anterior demuestra que la concentración de sábila permite que los ensayos den como resultado menores potenciales de corrosión.

El potencial de corrosión es un parámetro fundamental para la determinación de la resistividad eléctrica se obtuvo estado activo para el acero embebido en las probetas de concreto con concentraciones de sábila del 30% en cada una de las resistencias, es decir existe corrosión en menor proporción en comparación con las muestras que presentaron estado pasivo.

Para la determinación de la resistividad eléctrica, se construyó una curva de resistividad Vs tiempo, se tomaron seis mediciones se promediaron y se tabularon, tal como se relaciona a continuación.

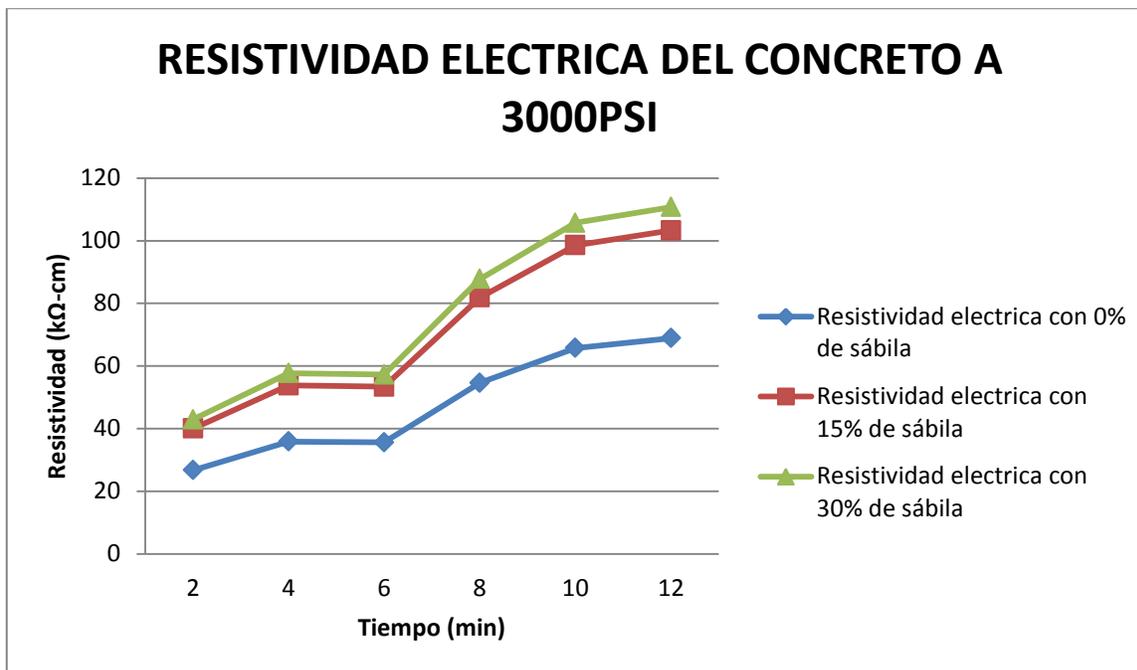


- CONCRETO DE 3000 PSI

PORCENTAJE DE SABILA	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (kΩ-cm)	TIEMPO (min)
0%	26,69	2
	35,86	4
	35,58	6
	54,58	8
	65,72	10
	68,86	12
15%	40,035	2
	53,79	4
	53,37	6
	81,87	8
	98,58	10
	103,29	12
30%	42,93	2
	57,68	4
	57,23	6
	87,79	8
	105,71	10
	110,76	12

Tabla 19. Medición de la resistividad eléctrica del hormigón pasado 216 horas en cámara salina para concreto de 3000PSI

Fuente: Autores



Grafica 16. Resistividad eléctrica Vs tiempo de prueba para 3000 psi

Fuente: Autores.

La grafica 16 muestra que la resistividad eléctrica para las concentraciones de 15 y 30% de sábila existe poco riesgo de corrosión de acuerdo a la tabla de Criterio general de valores de resistividad eléctrica del hormigón, y para muestras sin aditivo la corrosión es muy poca pero la curva ofrece valores cercanos para clasificarla como de alto riesgo, esto demuestra que la adición de sábila en cantidades entre 15% y 30% ayuda a la disminución de la velocidad de corrosión, tomando en cuenta la resistencia para la cual se diseñaron las probetas fue de 3000 psi .

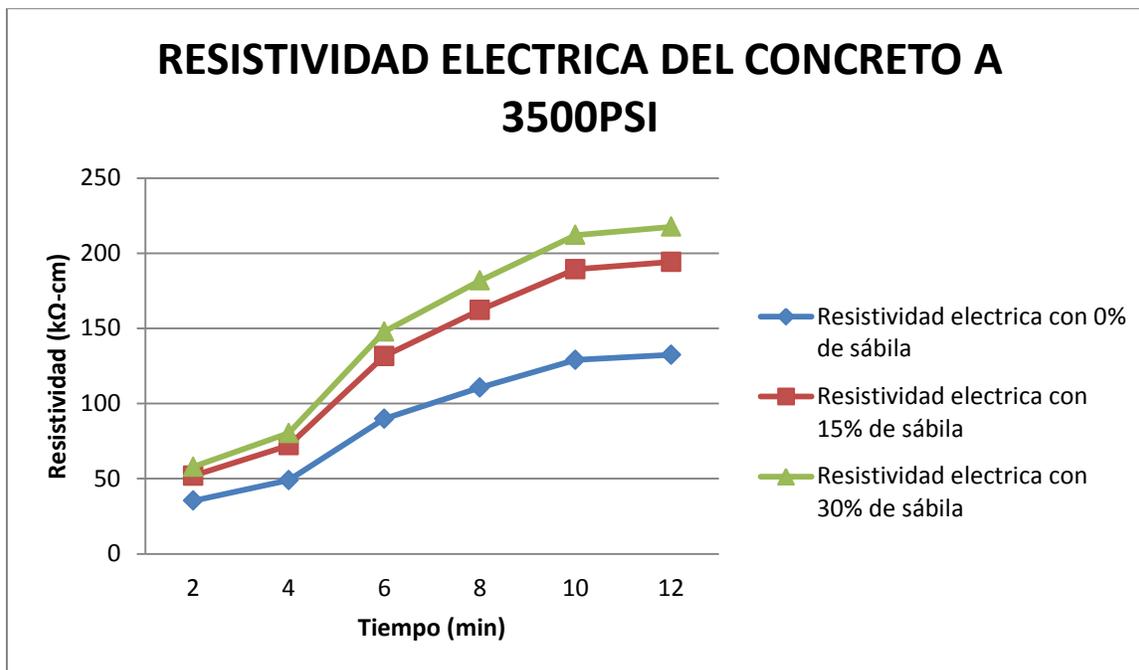


- CONCRETO DE 3500 PSI

PORCENTAJE DE SABILA	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (kΩ-cm)	TIEMPO (min)
0%	35,30	2
	48,99	4
	89,79	6
	110,60	8
	129,03	10
	132,35	12
15%	51,98	2
	72,11	4
	131,51	6
	162,22	8
	189,31	10
	194,21	12
30%	57,82	2
	80,28	4
	147,87	6
	181,88	8
	212,15	10
	217,57	12

Tabla 20. Medición de la resistividad eléctrica del hormigón pasado 216 horas en cámara salina para concreto de 3500PSI

Fuente: Autores



Grafica 17. Resistividad eléctrica Vs tiempo de prueba para 3500 psi

Fuente: Autores.

La velocidad de corrosión para el acero embebido con concentraciones de sábila del 15% en comparación con 30% se tornó en un 12,02% de variación siendo esta última la que genere menor velocidad de corrosión. En general para esta resistencia el riesgo del fenómeno de corrosión es moderado.

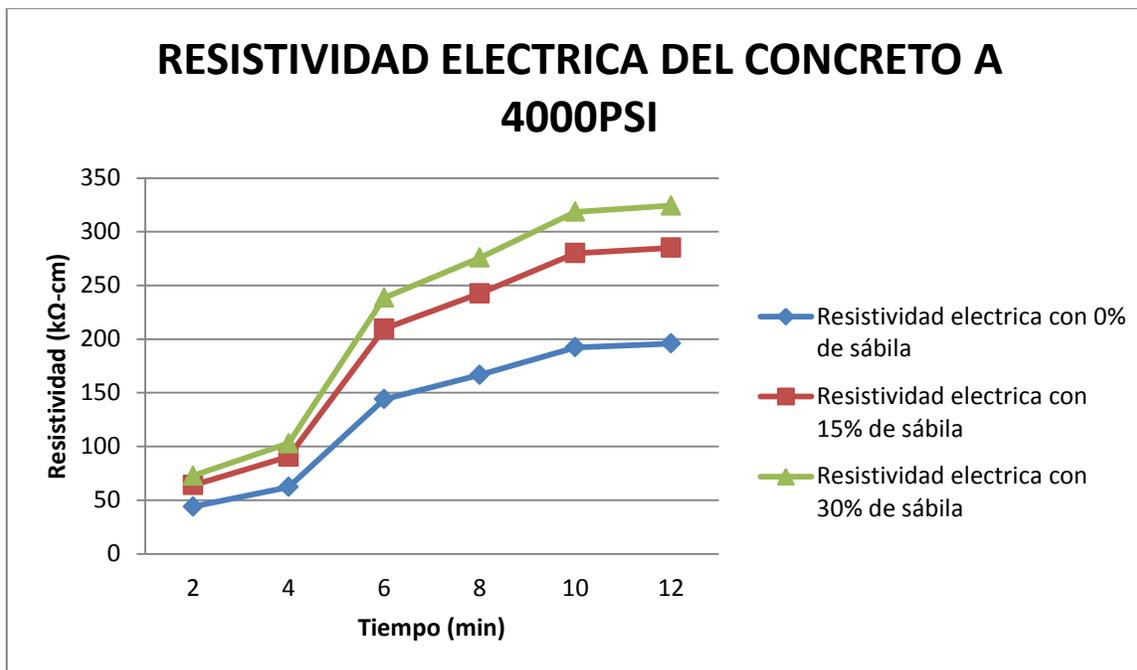


- CONCRETO DE 4000 PSI

PORCENTAJE DE SABILA	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (kΩ-cm)	TIEMPO (min)
0%	43,90	2
	62,11	4
	143,99	6
	166,61	8
	192,34	10
	195,83	12
15%	63,92	2
	90,43	4
	209,64	6
	242,58	8
	280,04	10
	285,12	12
30%	72,72	2
	102,88	4
	238,50	6
	275,97	8
	318,59	10
	324,37	12

Tabla 21. Medición de la resistividad eléctrica del hormigón pasado 216 horas en cámara salina para concreto de 4000PSI

Fuente: Autores



Grafica 18. Resistividad eléctrica Vs tiempo de prueba para 4000 psi

Fuente: Autores.

La resistividad eléctrica para muestras de 4000 psi presento poco riesgo de corrosión para las concentraciones de sábila del 15% y del 30% siendo este un parámetro fundamental para concluir que a mayor resistencia la utilización de sábila inhibe aún más el proceso de corrosión hasta el valor estudiado.

Se destaca el hecho de que en cada una de las resistencias analizadas la velocidad de corrosión disminuye cuando se aumenta la concentración del aditivo, por lo que se define la sábila como elemento natural favorable para la disminución de velocidad de corrosión en gran manera hasta la concentración del 30%.



6. CONCLUSIONES

- La obtención de los extractos se realizó a través de pasos sencillos y fáciles, lo que supone que su producción a gran escala industrial no representaría mayores inconvenientes.
- En el estudio de los ensayos a compresión de las probetas cilíndricas se observó una disminución considerable de la resistencia del concreto para la cual fueron diseñadas. Esto nos permite concluir que la utilización de la sábila como aditivo natural integral a la masa de concreto no posee los factores que contribuyan a aumentar la vida útil de las estructuras en futuros usos.
- Los porcentajes de sábila utilizados para cada mezcla de concreto incidieron de manera negativa en la obtención de resistencias, ya que a medida que se eleva la concentración del aditivo disminuye la resistencia del concreto. Esto se debe a las propiedades de la sábila que concentran un altísimo porcentaje de agua en su interior, de hecho el 95,5% de la planta está compuesta de agua y solo el 5% de otros componentes sólidos.
- El potencial eléctrico (Ecorr) para las resistencias de 3000 psi, 3500 psi y 4000 psi muestra un estado de corrosión activo, exceptuando aquellas en donde la concentración de sábila fue del 30% presentando estado pasivo con menor tendencia a la corrosión. A demás para las muestras con 0% de sábila el potencial de corrosión se observó mayor gracias al no contenido de aditivo.
- La resistividad eléctrica indica que el acero presento poco riesgo de corrosión en cada una de las muestras destacando el hecho de que cuando se adiciono el 30% de sábila la velocidad de corrosión disminuyó. Cumpliendo con uno de los objetivos de la investigación y asegurando que este aditivo de origen natural tiene propiedades químicas que lo hacen actuar favorablemente a la mezcla de concreto permitiendo la menor velocidad de agentes como cloruros que atacan el acero.
- La sábila como aditivo natural al concreto garantiza la disminución de la velocidad de corrosión del acero estructural embebido pero bajo ninguna circunstancia se debe



utilizar ya que de acuerdo a los resultados obtenidos genera pérdidas de resistencia en más del 50% para el caso más crítico. No es un aditivo que tenga la posibilidad de proyectos futuros en materia de construcción.



7. RECOMENDACIONES

- La resistencia del concreto es un parámetro que se debe garantizar para cualquier tipo de construcción dependiendo del uso y siempre buscando garantizar una vida útil eficiente. De acuerdo a los datos obtenidos para la resistencia del concreto se sugiere realizar los ensayos con concentraciones menores a las utilizadas es muy probable que esto pueda variar considerablemente y se pueda llegar a encontrar valores incorporados de sábila en donde no se vea afectada la resistencia.
- Como recomendación se sugiere que se hagan investigaciones en el aspecto económico y se haga una comparación con el uso de aditivos de origen diferente al natural.
- Es importante continuar estas investigaciones analizando el aspecto de durabilidad el cual no se trató en esta investigación y que hoy forma parte de los requerimientos en las estructuras que se construyen.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Allstudies.com. (s.f.). *Acero Estructural* | Allstudies.com. Recuperado el 16 de ABRIL de 2015, de Acero Estructural | Allstudies.com: <http://allstudies.com/acero-estructural.html>
- Abel Castañeda y Francisco Corvo. Caracterización y comparación de la velocidad de corrosión del acero de refuerzo determinada por ruido electroquímico y diferencia de espesor bajo la influencia de iones cloruro. *Revista cenit ciencias químicas*. Vol. 39, no. 2. 2008.
- Ali Gürten; Kadriye Kayakırlmaz; Mehmet Erbil. El efecto de tiosemicarbazida sobre la resistencia a la corrosión del acero de refuerzo en el hormigón. *Construction and building materials*. Volume 21. Issue 3. March 2007. Pages 669-676.
- Ávila M. Javier, G. J. (1986). *Mas allá de la herrumbre*. México.
- Darío Yesid Peña Ballesteros, Sandra Rocío Pedraza Torres, Custodio Vásquez Quintero Evaluación de la corrosión del acero aisi-sae 1020 en un ambiente multifásico de salmuera co₂-h₂s. Enero-junio. 2010. Issn: 0122-3461.
- Durar. (Agosto 2000). *Manual de Inspección, Evaluación y Diagnostico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado*. CYTED. Tercera Edición.
- Feliú S., y. F. (Madrid (1985).). *Modelado e Identificación de Procesos de Corrosión; Análisis de la Respuesta a Señales Eléctricas*. Monografía No. 380.
- Gren, F. y. (1896). *Corrosion Engineering*. United Stated of America: Editorial McGraw- Hill.
- Gren, F. y. (1986). *Corrosion Engineering*. Estados Unidos de America: Editorial McGraw- Hill.



- González, M. (19 de Noviembre de 2010). *Potenciostato | La Guía de Química*. Obtenido de Potenciostato | La Guía de Química: <http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/potenciostato>
- <http://www.monografias.com/trabajos93/produccion-y-comercializacion-sabila-region-caribe-colombiana/produccion-y-comercializacion-sabila-region-caribe-colombiana.shtml>: <http://www.monografias.com/trabajos93/produccion-y-comercializacion-sabila-region-caribe-colombiana/produccion-y-comercializacion-sabila-region-caribe-colombiana.shtml>.
- Jaime Guillermo Barrero Pérez, J. A. (2004). Diseño y construcción de un prototipo de potenciostato galvanostato para el laboratorio de corrosión de la escuela de ingeniería metalúrgica. *Revista de la facultad de ingenierías físico-mecánicas*.
- Luis Alfredo Palacio Camargo, W. A. (29 de Abril de 2011). *Producción y comercialización de la sábila en la región caribe colombiana*. Recuperado el 19 de Abril de 2015, de Producción y comercialización de la sábila en la región caribe colombiana: <http://www.monografias.com/trabajos93/produccion-y-comercializacion-sabila-region-caribe-colombiana/produccion-y-comercializacion-sabila-region-caribe-colombiana.shtm>
- Martín, Yarelys; Castañeda, Abel; Montejó, Raúl, 2009, Primeras experiencias en el estudio electroquímico de la eficiencia de un aditivo formulado en el instituto superior politécnico "José Antonio Echeverría" en la reducción de la corrosión en el acero de refuerzo, revista cenic ciencias químicas., vol. 40 issue 4, special section p1-12. 13p



- Oğuzhan Keleştemur, Bahar Demirel, October 2010, Comportamiento de la corrosión del acero de refuerzo embebido en el concreto producido con piedra pómez finamente molida y humo de sílice, *Construction and Building Materials*, Volume 24, Issue 10, Pages 1898-1905.
- Pech-Canul Máximo A, G. D. (s.f.). XXII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Electroquímica . Recuperado el 15 de Febrero de 2015, de <http://www.uv.mx/personal/rorozco/files/2011/02/Articulo-en-extenso-sobre-inhibidor-a-base-de-sabila.pdf>
- Pérez Quiroz, J. T. (2001). Seguimiento por la Técnica de Impedancia Electroquímica de la Protección Catódica del Acero de Refuerzo en Concreto Modificado por un Agente Humectante. México.
- Sadegh Pour-Ali; Changiz Dehghanian, Ali Kosari, Protección contra la corrosión de los aceros de refuerzo en el entorno del concreto cargados con cloruro a través de nanocompuesto de epoxi / polianilina-canforsulfonato, *corrosion science*, volume 90, january 2015, pages 239-247
- Torres Acosta, A. F. (2005). Structural evaluation and rehabilitation of concrete arches in the Progreso Pier. International Conferences of construction and rehabilitation of concrete structure. Johannesburg South Africa.: E.I and Cuadros, H.
- Torres Acosta, A. F. (November. (2005).). Structural evaluation and concrete arches in the Progreso Pier. International Conferences of construction and rehabilitation of concrete structure. Johannesburg South Africa.
- Vargas, I. H. (1998). Ataque por cloruros en el concreto. Diplomado de Obras de Concreto que imparten la Facultad de Arquitectura de la UNAM y el IMCYC.



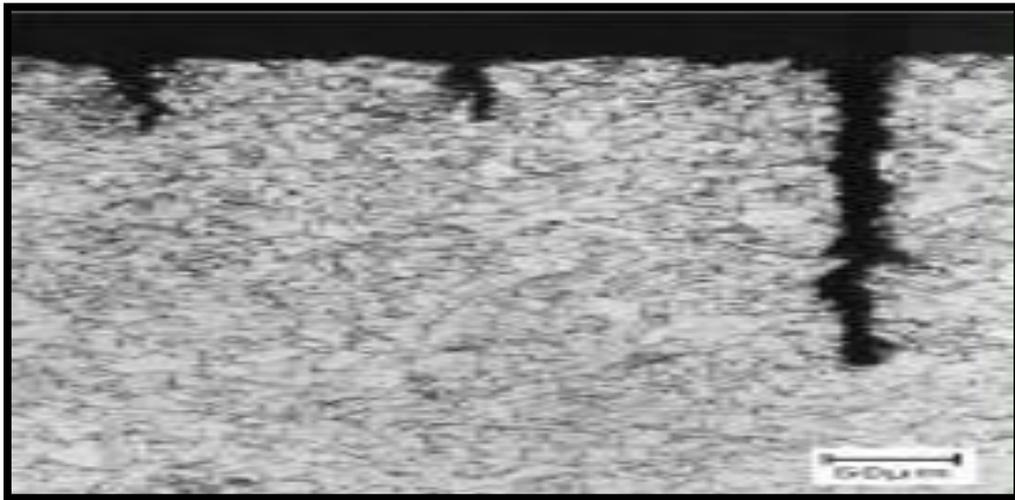
- Vargas, I. H. (1998). Ataque por cloruros en el concreto. Diplomado de Obras de Concreto que imparten la Facultad de Arquitectura de la UNAM y el IMCYC.
- V. Sribharathy, Susai Rajendran, P. Rengan, R. Nagalakshmi, Inhibición de corrosión mediante un extracto acuoso de aloe vera (l.) burm f. (liliaceae), corrosion inhibition by an aq. extract of aloe vera (l.) burm f. (liliaceae).
- www.arquitecturaenacero.org/corrosion. (s.f.).
http://www.arquitecturaenacero.org/corrosion. Recuperado el 16 de ABRIL de 2015, de <http://www.arquitecturaenacero.org/corrosion>:
<http://www.arquitecturaenacero.org/corrosion>



ANEXOS



Anexo 1. Corrosión por deterioro uniforme o general



Anexo 2. Corrosión por esfuerzo



Anexo 3. Corrosión galvánica



Anexo 4. Corrosión galvánica



Anexo 5 Corrosión por picadura



Anexo 6. Corrosión por grietas o hendiduras



Anexo 7. Probetas de concreto



Anexo 8. Agregados utilizados en la mezcla de concreto



Anexo 9. Curado de probetas cilíndricas de concreto para ensayos a compresión



Anexo 10. Probeta de concreto ensayada a los 28 días



Anexo II. Ensayo de probetas de concreto.