

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Código F-AC-DBL-007	Fecha 10-04-2012	Revisión A
	Dependencia DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Aprobado SUBDIRECTOR ACADEMICO		Pág. i(78)

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	LICETT YOHANA PEDROZA PEREZ, YUDY ANDREA DURAN REYES		
FACULTAD	INGENIERIAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA CIVIL		
DIRECTOR	LEIDY JOHANA QUINTERO LEMUS		
TÍTULO DE LA TESIS	EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES BAJO LA INFLUENCIA DE CONDICIONES AMBIENTALES EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER.		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EN EL SIGUIENTE DOCUMENTO SE ESBOZA LA INVESTIGACIÓN REALIZADA PARA CONOCER LAS CONDICIONES EN LA QUE SE DETERIORA EL ACERO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES COMO COLUMNAS Y LOSAS, CUANDO SE ENCUENTRAN EXPUESTAS AL MEDIO AMBIENTE, TENIENDO EN CUENTA QUE TAMBIÉN SE INVESTIGARON LAS CONDICIONES DEL ACERO CON AGENTES ANTICORROSIVOS Y SIN ANTICORROSIVOS, CON EL FIN DE EVALUAR SU RESISTENCIA Y LUEGO REALIZAR UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CONDICIONES EL ACERO EXPUESTO EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 62	PLANOS: -	ILUSTRACIONES: 27	CD-ROM: 1

EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES BAJO LA
INFLUENCIA DE CONDICIONES AMBIENTALES EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA,
NORTE DE SANTANDER.

AUTORES:

YUDY ANDREA DURAN REYES

LICETT YOHANA PEDROZA PEREZ

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Civil

DIRECTOR:

LEIDY JOHANA QUINTERO LEMUS

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERIAS

INGENIERIA CIVIL

DEDICATORIA

A DIOS, que con su gracia me ha permitido levantarme en los tiempos difíciles y me dio las personas y herramientas necesarias para lograr en mí su voluntad.

A mi papá JESUS EMEL, porque ha forjado en mí el carácter para asumir retos y no darme por vencida, a mi mamá LUCENITH, por enseñarme que el sacrificio tarde que temprano da frutos, ustedes han sido el ejemplo a seguir, han estado siempre en este proceso que para mí no ha sido fácil, pero todo esto es por ustedes.

A mi hermano JESUS DANILO, porque desde que llegaste a mi vida te convertiste en mi motor, mi compañía, mi inspiración, mi amor verdadero, porque siempre has creído en mí.

A vos LEONARDO, porque has sido mi apoyo incondicional y mi motivación constante en esta etapa, gracias por convertirte en ese pilar fundamental en mi vida, por tu amor, tus palabras, tus regaños, VIDA MIA gracias por todo y por tanto.

YUDY ANDREA DURAN REYES

DEDICATORIA

Este gran logro se lo dedicó en primer lugar a Dios que me ha dado la fortaleza y la perseverancia para poder culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres Oscar Emilio y María Nelly, por ser esos seres incondicionales que siempre han estado apoyándome y ayudándome a construir este sueño que hoy se convierte en realidad

A mi esposo Rubiel, por ser ese motor que siempre ha estado a mi lado impulsándome para no dejarme desfallecer en los momentos difíciles y a mi ANGELITO que viene en camino por ser el motivo de mi felicidad y la razón por la cual seguir luchando.

A mis hermanos Oscar Fernando, Fabian Mauricio, Jorge Armando y Jesús Enid por estar siempre a mi lado aconsejándome e impulsándome para cumplir mis sueños

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos infinitos a DIOS ante todas las cosas por permitirnos soñar y a pesar de las circunstancias del camino, nos dio la perseverancia necesaria para lograr nuestro objetivo y hacernos merecedoras de este título.

A nuestros padres agradecemos la compañía, el apoyo incondicional para culminar esta etapa de la vida, pues se convirtieron en el motor diario, forjando nuestro camino hacia la meta.

Agradecemos a la Universidad Francisco de Paula Santander por permitirnos formarnos como ingenieros civiles, a los profesores que nos han dado las herramientas para enfrentarnos al mundo laboral que nos espera.

Más que un agradecimiento queremos hacer un reconocimiento muy especial a nuestra directora Ing. Leidy Johana Quintero Lemus porque se ha convertido en nuestra maestra y amiga, por estar siempre dispuesta para nosotras, pues con su paciencia y dedicación logró enamorarnos de este proyecto que hoy nos otorga la aprobación para lograr nuestro sueño.

Gracias a todas aquellas personas que en algún momento con sus críticas nos dieron la fortaleza necesaria para continuar cuando todo parecía desvanecer, fueron ustedes quienes nos impulsaron para lograr nuestra meta.

YUDY ANDREA DURAN REYES

LICETT YOHANA PEDROZA PEREZ

Índice

Capítulo 1. Eevaluación y diagnóstico de elementos estructurales bajo la influencia de condiciones ambientales en el municipio de Ocaña, norte de Santander	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General..	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Justificación	3
1.5 Delimitaciones	4
1.5.1 Delimitación Operativa.	4
1.5.2 Delimitación Conceptual.....	5
1.5.3 Delimitación Geográfica.	5
1.5.4 Delimitación Temporal.	5
 Capítulo 2. Marco Referencial	 6
2.1 Marco Histórico	6
2.1.1 Antecedentes.	8
2.2 Marco Conceptual.....	10
2.2.1 El acero y sus propiedades.	10
2.2.2 Concreto Reforzado..	12
2.2.3 Propiedades del concreto reforzado.	12
2.2.4 Cemento.	13
2.2.5 El cemento portland.	13
2.2.6 Ensayo a tracción.	13
2.2.7 Ensayo a compresión.....	14
2.2.8 Ensayo de flexión.....	14
2.2.9 Probeta.....	14
2.2.10 Ensayo de carbonatación.....	14
2.2.11 Corrosión del acero del refuerzo.	15
2.3 Marco Teórico.....	15

2.4 Marco Legal	17
Capítulo 3. Diseño Metodológico	19
3.1 Tipo de investigación	19
3.2 Población.....	19
3.3 Muestra	19
3.4 Procedimiento metodológico	20
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de información	21
3.6 Análisis de información	21
Capítulo 4. Presentación De Resultados	22
4.1 Evaluación de las condiciones actuales del acero expuesto influenciado por agentes contaminantes en el casco urbano del municipio de Ocaña, Norte de Santander.	22
4.1.1 Localización de la zona de estudio.....	22
4.1.2 Clima y relieve del municipio de Ocaña.	23
4.1.3 Acero expuesto en las construcciones del municipio de Ocaña.....	24
4.2 Caracterización del comportamiento mecánico de probetas y placas de ensayo, mediante los ensayos de compresión, flexión y tensión.....	28
4.2.1 Determinación del concreto para las muestras de ensayo.	28
4.2.2 Determinación del acero para las muestras de ensayo.	31
4.2.3 Procedimiento elaboración de muestras a ensayar.....	33
4.2.4 Resistencia a la compresión de las muestras de concreto.	37
4.2.5 Flexión en el acero de placas de ensayo.....	42
4.2.6 Ensayo de tensión en el acero de placas de ensayo.....	44
4.3 Determinación la edad de los concretos por medio del ensayo de carbonatación.	49
4.4 Análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar el comportamiento mecánico del concreto reforzado bajo condiciones atmosféricas en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.....	52
Conclusiones	55
Recomendaciones	57
Referencias.....	58

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Resumen de construcciones en Ocaña que presentan corrosión de aceros.....	27
Tabla 2. Dosificación de mezclas de concreto.....	30
Tabla 3. Cantidad de material para mezcla de concreto.....	31
Tabla 4. Dimensiones de muestras de ensayo.....	31
Tabla 5. Despiece de acero de refuerzo para las muestras de ensayo.....	32
Tabla 6. Resistencia a la compresión en cilindros de concreto.....	39
Tabla 7. Coeficientes de corrección de la resistencia real de muestras de concreto.....	40
Tabla 8. Corrección de cálculos.....	40
Tabla 9. Módulos de elasticidad.....	41
Tabla 10. Resultados del ensayo a flexión.....	43
Tabla 11. Resultados de ensayo a tensión varillas con anticorrosivo.....	45
Tabla 12. Resumen de datos ensayo a tensión varilla con anticorrosivo.....	47
Tabla 13. Resultados de ensayo a tensión varillas sin anticorrosivo.....	48
Tabla 14. Resumen de datos ensayo a tensión varilla sin anticorrosivo.....	48

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Aceros de refuerzo empleado para hormigón.....	11
Figura 2. Procedimiento metodológico.....	20
Figura 3. Localización espacial del municipio de Ocaña.....	22
Figura 4. Discontinuidad en la ejecución de obra por falta de presupuesto.....	25
Figura 5. Viviendas parcialmente construidas.....	25
Figura 6. Acopio de materiales en obra (acero).....	26
Figura 7. Factores que influyen en la corrosión del acero.....	28
Figura 8. Armado de acero de refuerzo para muestras de ensayo.....	33
Figura 9. Formaletas con acero figurado listo para fundir.....	34
Figura 10. Vibración de concreto con martillo de goma.....	35
Figura 11. Muestras de ensayo para evaluar en laboratorio.....	36
Figura 12. Muestras expuestas al medio ambiente (imagen izquierda) y muestras protegidas bajo sombra (imágenes a la derecha).....	36
Figura 13. Extracción de cilindros de concreto.....	38
Figura 14. Máquina universal Ensayo compresión.....	38
Figura 15. Ensayo a Flexión del acero corrugado.....	42
Figura 16. Gráfica de esfuerzo-deformación.....	44
Figura 17. Ensayo a tensión del acero corrugado.....	45
Figura 18. Gráfica teórica de Esfuerzo-Deformación.....	46
Figura 19. Gráfica de deformación en función del esfuerzo.....	47
Figura 20. Gráfica de deformación en función del esfuerzo acero sin anticorrosivo.....	49
Figura 21. Aplicación de fenolftaleína a probeta.....	50
Figura 22. Aplicación de fenolftaleína a concreto desportillado.....	50
Figura 23. Escala de coloración de carbonatación.....	51
Figura 24. Módulos de elasticidad de cilindros evaluados.....	52
Figura 25. Gráfica de esfuerzo real en función de cada varilla.....	53
Figura 26. Módulo de elasticidad acero con anticorrosivo.....	54
Figura 27. Módulo de elasticidad acero sin anticorrosivo.....	54

Resumen

En el siguiente documento se esboza la investigación realizada para conocer las condiciones en la que se deteriora el acero en elementos estructurales como columnas y losas, cuando se encuentran expuestas al medio ambiente, teniendo en cuenta que también se investigaron las condiciones del acero con agentes anticorrosivos y sin anticorrosivos, con el fin de evaluar su resistencia y luego realizar un análisis comparativo de la condiciones el acero expuesto para dar a conocer las condiciones en las que se encuentra el acero en las construcciones del municipio de Ocaña.

Introducción

Las estructuras de concreto reforzado conforman actualmente uno de los elementos más importantes en las diferentes construcciones, quienes son definidas como estructuras muy duraderas y que no necesitan un mantenimiento constante, además son diseñados basados en los criterios establecidos en la Norma Sismo-resistente colombiana del 2010 (NSR-10), con el fin de cumplir los requerimientos presentados en el pliego de condiciones de los diferentes proyectos a ejecutar. Sin embargo, últimamente se ha venido presentando un incremento de diversas problemáticas en las estructuras como los son las fisuras, bajas resistencias del concreto, columnas cortas, columnas largas, agrietamientos y en los casos más extremos presentándose la ruptura de los elementos de concreto como consecuencia; muchos de ellos debido a la corrosión del acero de refuerzo.

La corrosión del acero viene siendo un ataque destructivo del material ocasionado por diferentes reacciones cuando éste interactúa con el medio ambiente. Este fenómeno en los elementos estructurales acarrea graves riesgos cuando se trata de acero estructural, es decir, cuando estamos hablando de varilla que forma parte de una estructura de concreto.

Generalmente en las obras civiles se usa con frecuencia el concreto reforzado, por lo cual las varillas de acero se encuentran embebidas en el concreto formando así un elemento estructural resistente a esfuerzos de tensión y compresión; en la ejecución de obras civiles, en el municipio de Ocaña, no se cuenta con un manejo adecuado de los materiales de construcción estando estos expuestos a diferentes fenómenos como la corrosión del acero, al estar recubiertas

por el concreto, estas varillas se encuentran protegidas de la corrosión formando una barrera contra la acción del agua y el oxígeno presentes en el medio, teniendo en cuenta que la funcionalidad de este recubrimiento depende de su espesor y de la calidad del concreto para lograr la durabilidad proyectada.

En las ciudades y municipios donde se llevan a cabo la mayoría de las obras civiles, el uso descomunal de automóviles y la destrucción de bosques entre otras cosas, incrementan notablemente los niveles de CO₂ en el medio, originándose de esta manera los agentes contaminantes produciendo reacciones con la humedad que ocasionan la oxidación o comúnmente conocido como corrosión del acero de refuerzo. Esta investigación se enfoca en las condiciones del medio ambiente y la atmosfera que contamina el acero de refuerzo en el casco urbano del municipio de Ocaña, Norte de Santander.

Capítulo 1. Evaluación y diagnóstico de elementos estructurales bajo la influencia de condiciones ambientales en el municipio de Ocaña, Norte de Santander

1.1 Planteamiento del problema

La construcción en Colombia es de vital importancia, puesto que ayuda a satisfacer las necesidades que se vienen presentando en el día a día y que de alguna manera la Ingeniería Civil ha desempeñado un rol importante, buscando y aportando de cierta manera la solución a muchas insuficiencias.

En el municipio de Ocaña, Norte de Santander, el mercado de la construcción ha venido aumentando notablemente, se han propuesto y ejecutado diferentes proyectos de obras civiles tales como vivienda de interés social (VIS), edificaciones (5 plantas o más), locales comerciales, vivienda multifamiliar y unifamiliar, entre otros, con los cuales se ha satisfecho necesidades importantes para la comunidad (incrementar el comercio, tener facilidad de vivienda etc.).

La rápida expansión urbana experimentada en los últimos años en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, ha traído como consecuencia la verticalización de la ciudad, generando diversos proyectos que comprende la construcción de edificaciones de 1 o más pisos para mitigar la sobrepoblación que se presenta. En algunos casos estas construcciones dejan expuesto el acero de refuerzo a diferentes condiciones ambientales, sin ningún tipo de protección y con el tiempo va generando corrosión y oxidación el cual pueden influir en la calidad de la edificación.

Varias han sido las problemáticas que se han presentado en el desarrollo de los diferentes proyectos (fisuras, bajas resistencias del concreto, columnas cortas, largas, agrietamiento), en este caso se enfatiza la investigación en la influencia que tienen las condiciones ambientales en los elementos estructurales ya que en muchas obras del municipio no se tiene en cuenta el mantenimiento adecuado para los materiales que conforman estos elementos, lo cual afecta el comportamiento mecánico de la relación acero-concreto, que es el principal material en la construcción, fácilmente se puede encontrar el acero oxidado y no se tiene en cuenta si la resistencia del concreto varía de acuerdo a esto, lo que puede tener graves consecuencias en las estructuras tal como se menciona anteriormente y que pueden poner en algunos casos en riesgo la vida de las personas.

1.2 Formulación del problema

¿Con la elaboración de un diagnóstico a elementos estructurales, facilitará reconocer el comportamiento mecánico del concreto bajo la influencia de las condiciones ambientales, en una obra civil?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General. Evaluar y diagnosticar los elementos estructurales bajo la influencia de condiciones ambientales en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

1.3.2 Objetivos Específicos. Evaluar las condiciones actuales del acero expuesto influenciado por agentes contaminantes en el casco urbano del municipio de Ocaña, Norte de Santander.

Caracterizar el comportamiento mecánico de probetas y placas de ensayo, mediante los ensayos de tensión, compresión y flexión.

Determinar la edad de los concretos por medio del ensayo de carbonatación.

Analizar los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar el comportamiento mecánico del concreto reforzado bajo condiciones atmosféricas en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

1.4 Justificación

El concreto reforzado con acero, es uno de los materiales más utilizado en el sector de la construcción en el municipio de Ocaña, debido al excelente comportamiento que presenta. Sin embargo, en las obras civiles no se le ha dado un manejo adecuado en lo respecta a su conservación, teniendo en cuenta que la corrosión es uno de los efectos más comunes en el que se afecta la resistencia en conjunto con el concreto. Lo anterior exige un conocimiento riguroso del comportamiento de los elementos estructurales (vigas, columnas, placas) expuestos al ambiente, ya que las condiciones atmosféricas son muy cambiantes; el acero expuesto en la región del Norte de Santander, es muy diferente al acero expuesto en otras regiones del país.

Por tal motivo esta investigación se realiza, con la finalidad de estudiar, analizar y dar a conocer, las condiciones actuales en el que se presenta la corrosión en los distintos elementos estructurales con acero de refuerzo en las obras que se ejecutan en el casco urbano del municipio de Ocaña, teniendo en cuenta que se realizan una serie de muestras de ensayo, para evaluar la influencia de las condiciones del medio ambiente en las características mecánicas del acero de refuerzo en columnas y losas. Además, se realizan ensayos de carbonatación, como un referente adicional para conocer el efecto que provoca del acero expuesto al medio ambiente en el concreto.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación Operativa. Para la recolección de la información, se visitan las distintas obras que se encuentran en ejecución en el municipio de Ocaña, para conocer las condiciones actuales en la que se presenta la corrosión. Posteriormente se realiza un minucioso trabajo de laboratorio en donde se realizan probetas y se ensayan para conocer sus condiciones mecánicas y evaluar los resultados obtenidos y sus diferencias.

Además, para la recolección de información, se puede contar con estudios realizados que se encuentran en la web, tales como: “Durabilidad de estructuras en concreto armado, localizadas frente a la costa” de la Universidad Autónoma de México, “Evaluación, diagnóstico, patología y propuesta de intervención sobre el caño El Zapatero a la entrada de la Escuela Naval Almirante Padilla” de la Universidad de Cartagena, “Comportamiento del potencial de corrosión de concreto reforzado expuesto al ambiente de la ciudad de Xalapa, Ver” Universidad Veracruzana.

1.5.2 Delimitación Conceptual. En el proceso de la investigación, se van a tener en cuenta conceptos de relación con el tema como: tipos de cemento, tipos de acero, elementos estructurales, materiales de construcción, condiciones ambientales, entre otros.

1.5.3 Delimitación Geográfica. Esta investigación se va a realizar en las obras civiles ubicadas en el casco urbano del municipio de Ocaña, Norte de Santander.

1.5.4 Delimitación Temporal. El trabajo de investigación se lleva a cabo durante ocho meses, tiempo en el cual se presentan los análisis y resultados de la información recolectada, los cuales puedan ser considerados confiables.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco Histórico

Dentro de los orígenes de la industria del acero y la corrosión, según Fernández M. (2017), nos dice que:

Los primeros metales empleados fueron los que o bien podían fácilmente reducirse al estado elemental, o bien los que se encontraron nativos; por esta condición tales metales no pasan fácilmente al estado combinado y en consecuencia, su corrosión no ocasionó notables problemas

Con la introducción del uso del hierro, se alcanza la verdadera magnitud del problema. Pasaron muchos siglos sin iniciarse una verdadera curiosidad por las causas de la corrosión. En 1788 AUSTIN hizo observar que el agua originalmente neutra tiende a volverse alcalina cuando actúa sobre el hierro, esto se debe a que en las aguas salinas se produce hidróxido sódico como producto catódico del proceso electroquímico de la corrosión. La interpretación de que la corrosión es un fenómeno electroquímico, fue establecida por el francés THENARD en 1819. Investigaciones de FARADAY entre 1834 y 1340, dieron la demostración de la relación esencial existente entre la acción química y la generación de corrientes eléctricas. En 1890 fue patentado por T.A. EDISON un sistema rudimentario de protección catódica a base de corrientes impresas por medio de un ánodo inerte de grafito remolcado.

Entre 1388 y 1908 se desarrolló el punto de vista de que los ácidos eran los agentes principales responsables de la corrosión, particularmente era sustentado que el orín en el hierro que se formaba si estaba presente el ácido carbónico. Pronto, en 1905 se puso de manifiesto por DUNSTAN GOUDING y JOWET, que el hierro expuesto al agua y oxígeno, sin la presencia del ácido carbónico, se forma orín. Otra teoría de corrosión surgió alrededor de 1900 como consecuencia del hallazgo de peróxido de hidrógeno durante la corrosión de muchos metales, dando lugar a la idea de que aquel actúa como intermediario en el proceso de corrosión intermediario en el proceso de corrosión. Ahora se conoce que el peróxido de hidrógeno se forma cuando hay exceso de oxígeno en el cátodo.

En 1907 los americanos WALKER, CEDERHOLM y BENT, aceptan la corrosión por líquidos neutros con ayuda del oxígeno como estimulador catódico. En 1910 los alemanes HEYN y BAVER, realizan amplias investigaciones sobre corrosión, fueron los primeros en establecer medidas de velocidad de corrosión en numerosos líquidos, sobre hierro y acero, estableciendo cuantitativamente el hecho de que el ataque del hierro se estimula por contacto con un metal más noble, mientras que el contacto con un metal más activo confiere protección total o parcial, en este sentido ya en 1824 Sir HUMPHREY DAVY había propuesto proteger el cobre con hierro o cinc contra el agua de mar.

Continuando con la historia, según Moreno Fernández E. (2008) nos dice que:

En 1812, Louis-Joseph Vicat, comenzó unas investigaciones sobre las condiciones que daban origen a la hidráulidad. Publicó “Reserches Experimentales” y “Mortiers et ciments calcaires”. El sistema de fabricación por “vía humedad” empleado por Vicat marca el inicio del actual proceso de fabricación del cemento.

Joseph Aspdin, un constructor de Leeds, Gran Bretaña, obtuvo el 21 de octubre de 1824, una patente para el sistema de fabricación de un conglomerante producido al calcinar una mezcla de calizas y arcillas. En dicha patente figuraba por primera vez el nombre de “Cemento Pórtland” atribuido al producto obtenido de esta forma.

William Aspdin, inició la producción de cemento Portland en 1843, en la planta de Rotherhithe, cerca de Londres. Este cemento resultó ser muy superior al cemento romano y la aplicación más significativa es en la construcción del parlamento de Londres.

Sin embargo, la producción de cemento a escala industrial con una base más científica, fue establecida en 1844 por Isaac Charles Johnson al emplear temperaturas suficientemente altas para clínkerizar la mezcla empleada como materia prima. La arcilla y caliza calcinadas junto con un óptimo ajuste en la dosificación, dio lugar a un producto escoriado de endurecimiento mas lento, mayor hidráulidad y que alcanzaba resistencias mucho mas elevadas.

Wilhelm Michaelis detalló en 1868, la composición ótima de la mezcla del material crudo y el contenido máximo de óxido de calcio en la mezcla que consigue reaccionar con SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 a temperaturas de sinterización en su libro “El mortero hidráulico”.

En 1849, Joseph Monier construye unas jardineras para rosales con un mortero al que colocó en su interior una tela metálica formada por alambres de acero. Este sistema de refuerzo se considera como el inicio del hormigón armado. En 1877 patenta la utilización del hormigón armado en la elaboración de elementos estructurales como pilares y vigas. De forma paralela, en 1855, Bassemer patenta un convertidor de afinado por soplado con aire por el fondo, lo que inicia la producción de productos de acero laminado como redondos para hormigón. (Moreno, 2008)

Francois Coignet, en 1856, patenta unas barras de acero envueltas en masa de cemento y proyecta la primera cubierta en cemento armado con perfiles de acero. En 1861 publica “Betons agglomérés” estudiando por primera vez el Hormigón y el acero como partes integrantes del nuevo material y donde se recogen las primeras recomendaciones de proyecto para elementos de hormigón armado. En 1867, se realiza el primer empleo a gran escala del hormigón armado a la Exposición Universal de París, en el solado de las plantas subterráneas del restaurante, dentro del edificio principal bajo la dirección de S. Krantz, G. Eiffel y de Dion. (Moreno, 2008)

En la primera década del siglo XX empieza a aplicarse el hormigón en obras singulares así, en 1903 Perret construye el primer edificio con estructura de hormigón armado en el número 25 de la calle de Franklin de París, Le Corbusier construye en 1914 la primera casa prefabricada en hormigón armado y, en 1929, Frank Lloyd Wright construye el primer rascacielos “St. Mark’s Tower” en hormigón en Nueva York.

En el año 1939 aparece en España la Primera Instrucción bajo el título: “Instrucción para el proyecto de obras de hormigón armado”.

En los últimos años, el denominado “Hormigón de Altas prestaciones, (HAP)”, se ha abierto camino en campos muy diversos, tanto en obra civil como en edificación. Esto es debido a que presenta mejoradas ciertas cualidades como son: resistencia, rigidez, impermeabilidad, durabilidad, reducción de plazos de descimbrado, resistencia a las heladas y a la agresión, economía global, etc.

2.1.1 Antecedentes. Aunque la corrosión en el acero empleado para la construcción es un tema que abarca mucha historia, a continuación se muestran algunos antecedentes de gran relevancia a lo largo del tiempo.

2.1.1.1 Antecedentes a nivel Internacional. El tema de estudio de la corrosión del acero en edificaciones es poco común puesto que no se han realizado muchos estudios alrededor del mundo, en España la Ingeniera Esther Moreno Fernández realizó en el año 2008 una investigación sobre la corrosión de armaduras de hormigón en donde se concluye que:

Con bajos niveles de corrosión (hasta 7% aproximadamente) los aceros siguen siendo lo suficientemente dúctiles (cumplen los requisitos especificados en todos los códigos) como para proporcionar a la estructura un comportamiento dúctil en el rango no-lineal que permita redistribuciones de las leyes de esfuerzos antes del colapso. La deformación bajo carga máxima y la deformación última son muy sensibles a la corrosión disminuyendo de forma drástica su valor y ocasionando una reducción evidente de la ductilidad.

Además en la Universidad Veracruzana el Ingeniero Omar Alejandro Viveros Castillo realizó para su trabajo de tesis un estudio sobre el comportamiento del potencial de corrosión en concreto reforzado en la región de Xalapa, México. Después de varios ensayos y cálculos llegó a las siguientes conclusiones:

Los valores de *E_{corr}* que se presentan a lo largo de estos 8 meses en el acero de refuerzo, en los tres diferentes recubrimientos empleados, son más positivos que -200 mV, lo que en base a la norma ASTM C 876-91 indican un riesgo de corrosión del 10%.

En las varillas de refuerzo de especímenes en relación agua/cemento =0.45 se distingue ligeramente la influencia que tiene el recubrimiento sobre el potencial de corrosión, presentando valores más nobles de *E_{corr}* en las varillas con recubrimiento de 3.0 cm y más negativos en el recubrimiento 1.5 cm. En los especímenes de relación a/c= 0.65 se observa como los valores de velocidad de corrosión son similares en los tres recubrimientos.

2.1.1.2 Antecedentes a nivel Nacional. En Colombia las investigaciones con respecto a la corrosión en el concreto reforzado para ello se encontró una investigación que realizaron las estudiantes María Fernanda Serpa Iriarte y Lina María Samper Pertuz en el año 2014, la cual se resume en una intervención del puente sobre el Caño El Zapatero en Cartagena de Indias, para dicho estudio se llevó a cabo diferentes pruebas arrojando un diagnóstico de las patologías que afectaban el puente: El puente ubicado sobre el caño “El Zapatero” frente a la escuela naval Almirante Padilla a sus 18 años de edad se encuentra en buen estado, debido a la alta calidad en diseño, materiales y el cumplimiento estricto de las normas especificadas para su construcción.

Los autores consideran que los problemas y patologías que presenta son por falta de mantenimiento y en algunos casos como el de la iluminación por descuido o víctima del mal uso y robo por parte de habitantes de la zona. Comparado con los estudios existentes de otros puentes se pudo evidenciar que las causas con más probabilidad de ocasionar patologías y daños en la estructura son los mismos: corrosión, desgaste de rodadura, taponamiento y desgaste de juntas, impactos mecánicos e infiltración.

2.1.1.3 Antecedentes a nivel Regional. A nivel regional no se han realizado ningun tipo de estudio con respecto a la corrosion que afecta las estructuras o edificaciones por lo tanto no se encuentran investigaciones relacionadas.

2.1.1.4 Antecedentes a nivel Local. A nivel local no se han realizado ningun tipo de estudio con respecto a la corrosion por lo tanto esta investigacion es la primera en la provincia de Ocaña que se realiza teniendo en cuenta los efectos de la corrosion a los elementos estructurales que se enencuentran expuestos a diferentes condiciones ambientales.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 El acero y sus propiedades. El acero es una aleación de hierro con pequeñas cantidades de otros elementos, es decir, hierro combinado con un 1% aproximadamente de carbono, y que hecho ascua y sumergido en agua fría adquiere por el temple gran dureza y elasticidad. Hay aceros especiales que contienen, además, en pequeñísima proporción, cromo, níquel, titanio, volframio o vanadio. (Zapata J., 2013). Ver figura 1, tipos de aceros.

2.2.1.1 Ductilidad. Es la capacidad para absorber sobrecargas. Se mide por el porcentaje de alargamiento que sufre el material antes de romperse.

2.2.1.2 Maleabilidad. Término que frecuentemente se intercambia con ductilidad. La maleabilidad es la propiedad o cualidad de ser comprimido o aplanado.

2.2.1.3 Resiliencia. Capacidad para absorber energía en la zona elástica se mide por el módulo de resiliencia que es la energía de deformación que puede absorber por unidad de volumen el material.

2.2.1.4 Tenacidad. Capacidad para absorber energía en la zona plástica. El módulo de tenacidad se obtiene integrando el diagrama tensión deformación hasta la fractura.

2.2.1.5 Dureza. La dureza es importante cuando se proyecta una pieza que deba resistir el desgaste, la erosión o la deformación plástica.



Figura 1. Aceros de refuerzo empleado para hormigón. Fuente: Moreno Fernández E. (2008)

2.2.2 Concreto Reforzado. El concreto simple, sin refuerzo es resistente a la compresión, pero débil a la tensión lo que limita su aplicabilidad como material estructural. El uso del refuerzo no está limitada a la finalidad anterior, también se emplean 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 este concreto simple con refuerzo constituye lo que se llama concreto reforzado (Socarras C., 2014).

2.2.3 Propiedades del concreto reforzado. Las propiedades del concreto son sus características o cualidades básicas. Las cuatro propiedades principales del concreto según Socarras C (2014), son:

2.2.3.1 Trabajabilidad. Es una propiedad importante para muchas aplicaciones del concreto.

2.2.3.2 Durabilidad. El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgastes, a los cuales estará sometido en el servicio.

2.2.3.3 Impermeabilidad. Es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla.

2.2.3.4 Resistencia. Es una propiedad del concreto que, casi siempre, es motivo de preocupación.

2.2.4 Cemento. El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. El producto resultante de la molienda de estas rocas es llamado clinker y se convierte en cemento cuando se le agrega agua y eso para que adquiera la propiedad de fraguar al añadirle y endurecerse posteriormente. (Ponce M., 2016).

Los tipos de cementos, según Ponce M., (2016) son:

Cemento de origen arcilloso: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente.

Cemento de origen puzolánico: la puzolana del cemento puede ser de origen orgánico o volcánico Elemento, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad, y por lo tanto por sus destinos y usos.

2.2.5 El cemento portland. El tipo de cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón es el cemento portland, producto que se obtiene por la pulverización del clinker portland con la adición de una o más formas de yeso (sulfato de calcio). Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. (Ponce M., 2016).

2.2.6 Ensayo a tracción. El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la misma. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. (Lucena L., 2018).

2.2.7 Ensayo a compresión. La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado, la forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 y con alguna frecuencia lb/pulg^2 (p.s.i). La equivalencia que hay entre los dos es que 1 psi es igual a 0.07kg/cm^2 . Aunque hoy en día se ha acogido expresarla en MPa de acuerdo con el sistema internacional de unidades. (Blaur J. M., 2008)

2.2.8 Ensayo de flexión. El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerzas perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a las inmediatas. Para realizar el ensayo se necesita vigas simplemente apoyadas, con la carga concentrada en un punto medio (flexión práctica u ordinaria). (Roper J., 2014).

2.2.9 Probeta. Corresponden a las muestras o prototipos utilizados, característicamente de concreto, en el caso de esta investigación, concreto reforzado, para posteriormente ser ensayadas en laboratorio, bajo lineamientos establecidos por norma.

2.2.10 Ensayo de carbonatación. La carbonatación del hormigón es la segunda causa de corrosión en estructuras de hormigón reforzado. La carbonatación en el concreto es la pérdida de pH que se presenta cuando el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio con alto pH en carbonato de calcio, que tiene un pH más neutral. (Fernández Ríos J. M., 2018).

2.2.11 Corrosión del acero del refuerzo. La ASTM define la corrosión como la “reacción química o electroquímica entre un material, usualmente un metal y su medioambiente, que produce un deterioro del material y de sus propiedades”. (García F., 2003)

2.3 Marco Teórico

En lo que respecta a la profundización teórica para la elaboración de este proyecto de investigación se destacan diferentes estudios relacionados con el mismo enfoque, pero cabe mencionar que este tipo de investigación, se puede apreciar y se encuentra mayormente reflejada en aquellas construcciones marítimas en donde el agua de mar por tener un gran contenido de sal produce una fácil corrosión en los aceros implementados para los elementos estructurales que se utilizan, por tal motivo son de especial cuidado la corrosión en las construcciones dependiendo de la ubicación de las estructuras, aunque también, en regiones aledañas al mar la contaminación de los elementos estructurales a causa de los agentes contaminantes del agua de mar puede presentar afectaciones a las estructuras, por medio de la infiltración, ya que actualmente en ciudades como Santa Marta, se conoce por dialogo directo con habitantes de la ciudad, que el agua que anteriormente consumía la población, provenía de pozos, pero hoy en día, la mayoría de estos pozos se encuentran contaminados con agua de mar a causa de la infiltración, lo que ha ocasionado una disminución en el recurso hídrico disponible para abastecer la población.

Por otra parte algunas de las investigaciones realizadas (tesis de grado), que tienen mayor relevancia dentro del ámbito objeto de estudio se destacan las siguientes:

Tesis titulada Comportamiento del potencial de corrosión de concreto reforzada expuesta al ambiente de la ciudad de Xalapa, según Viveros Castillo O. A., (2008), el cual nos resume su trabajo en el siguiente párrafo:

Las estructuras de concreto reforzado son definidas como estructuras muy duraderas y que requieren de muy poco mantenimiento. Sin embargo, en los últimos años se ha observado un incremento en el agrietamiento de elementos de concreto debido a la corrosión del acero de refuerzo. La cooperación del concreto para con el acero de refuerzo se basa en que el concreto provee al refuerzo una protección tanto química como física en contra de la corrosión. La protección química se debe a la alcalinidad del concreto, la cual produce una capa de óxido en la superficie del acero impidiendo que el acero continúe corroyéndose.

Tesis titulada Evaluación, diagnóstico, patología y propuesta de intervención del puente sobre el caño El Zapatero a la entrada de la Escuela Naval Almirante Padilla, según Serpa Iriarte M. F. & Samper Pertúz L. M., (2014), el cual resume su trabajo en el siguiente párrafo:

En el estudio se realizó una evaluación cualitativa y diagnóstico patológico del estado del puente sobre el caño “El Zapatero” frente a la escuela naval Almirante Padilla de Cartagena de Indias, justificado por su importancia por ser el único acceso terrestre que va de la ciudad de Cartagena hacia la isla de Manzanillo. En cuanto a la resistencia del concreto, la carbonatación y el espesor de recubrimiento de sus componentes estructurales se puede decir que se encuentra en óptimo estado sin riesgo de un colapso inminente por una falla estructural.

Tesis titulada Evaluación de la corrosión atmosférica del acero expuesto en diversas atmosferas, según Garcés Rodríguez R. C., (2002), el cual nos dice que:

Uno de los problemas más graves causados por los avances de la tecnología, es la corrosión de los materiales como consecuencia de la agresividad atmosférica, incluyendo la destrucción de las estructuras metálicas, construcciones, metales y aleaciones, debido a que 80% están expuestos a este medio. Debido a lo anterior, muchos países están interesados en la construcción de mapas de corrosividad atmosférica que les pueda ayudar a predecir los niveles de corrosividad que presentarán dichos sitios. Estos mapas pueden corresponder a una ciudad e incluso a una determinada construcción situada en la misma ciudad, por ejemplo un palacio o bien una región, un país e incluso a todo un continente.

Tesis titulada Problemas patológicos derivados de la corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto, según Martínez Culebro G. A., (2004), el cual se resume en lo siguiente:

La presentación de este trabajo, tiene por objetivo hacer ver los beneficios que trae una inspección periódica a las estructuras así como también llevar a cabo servicios de mantenimiento ya sean preventivos o correctivos para lograr mantener la estructura en buen estado. Se realizó una investigación bibliografía sobre los problemas que trae la corrosión del acero de refuerzo en el concreto, describiendo métodos existentes para su reparación así como también productos. Se desarrolla un caso práctico que consta en un estudio preliminar a una estructura de concreto usada como edificio de aulas escolares en la primaria Benito Juárez No. 1 la cual muestra alto grado de corrosión en dos de sus aulas del segundo piso y daños leves aislados producidos por la misma corrosión en el resto del edificio. Se observa la falta de cuidados y mantenimientos por las autoridades encargadas de la seguridad estructural de dichos edificios.

2.4 Marco Legal

En lo que concierne al marco legal, las leyes imperantes que rigen la investigación, corresponden a las normas y códigos para los parámetros de chequeos que se tienen en cuenta en el montaje experimental de laboratorio. A continuación, se describen las principales normas y reglamentos que rigen esta investigación dentro del territorio nacional.

Reglamento colombiano de construcción sismo resistente en su última actualización 2010. (NSR-10).

Norma técnica colombiana 673. CONCRETOS. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO. Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el

ensayo por la sección transversal de área del espécimen. (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN 2010).

Norma técnica colombiana 4025. CONCRETOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL MODULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y LA RELACIÓN DE POISSON EN CONCRETO A COMPRESIÓN. Esta norma determina. (1) el módulo de elasticidad secante (o módulo de Young) y (2) la relación de Poisson de cilindros de concreto normalizados y núcleos de concreto, cuando éstos, se hallan bajo esfuerzos de compresión longitudinal. (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN 2006).

Norma técnica colombiana para la flexión de aceros con tres apoyos. (NTC-663).

Norma técnica para ensayos a tracción en acero corrugado de sección redonda. (ASTM 37).

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de investigación

Se trata de una investigación de tipo descriptivo y experimental; es descriptivo por que se tienen en cuenta las características físicas y mecánicas de concreto, como también del acero empleado para las probetas, de igual forma es experimental, debido a los ensayos de laboratorio necesarios para la obtención de resultados. La investigación además, se puede considerar de tipo cuantitativo, ya que se analizan los datos obtenidos por laboratorio y se realizan mediciones y comparaciones de los resultados.

3.2 Población

La población en un proyecto de investigación, según Arias, F. G. (2006), nos dice que “es el conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación.” Como población de estudio, se tienen en cuenta las construcciones que se encuentran en ejecución en el área urbana del Municipio de Ocaña Norte de Santander.

3.3 Muestra

Para la obtención de la muestra en esta investigación, se realizan especímenes de prueba, los cuales son ubicados bajo diferentes condiciones de climas y posteriormente ensayados.

3.4 Procedimiento metodológico

El procedimiento metodológico, empleado para la elaboración del proyecto se desglosa en tres fases. La primera fase consiste en la revisión de la información existente a nivel Regional, Local, Nacional e Internacional. La segunda fase consiste en la elaboración de especímenes de concreto reforzado los cuales serán expuesto a condiciones ambientales simulando la situación en la cual se encuentran los elementos estructurales en Ocaña y posteriormente ensayados en laboratorio. Y la tercera fase será trabajo de oficina en la cual se analizará los datos obtenidos en los ensayos, preparación del informe final para ser socializado a la comunidad académica y profesional de la región.

En la siguiente figura 2, se puede apreciar de manera detallada, el procedimiento metodológico que resume la investigación.

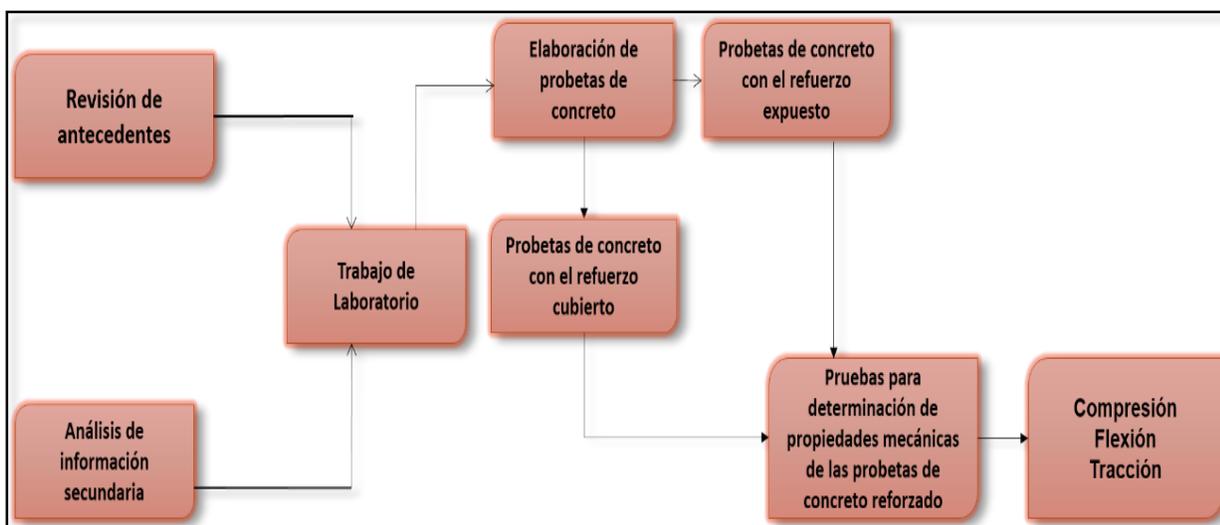


Figura 2. Procedimiento metodológico. Fuente: Autores de la investigación.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Las técnicas e instrumentos para la recolección de información en este proyecto de investigación, como fuente primaria, se basan en el análisis de materiales, específicamente de especímenes o probetas de prueba, las cuales son ensayadas en laboratorio, realizando pruebas de resistencia, flexión y tracción; como fuentes secundarias, se consideran los documentos digitales, tesis y propuestas que ya se han realizado con respecto al mismo tema de investigación.

3.6 Análisis de información

Para llevar a cabo el análisis de la información recopilada a través de los ensayos de laboratorio, se realizan diversas comparaciones de los datos obtenidos con las diferentes probetas ensayadas, para comprobar las diferencias y sacar conclusiones.

Capítulo 4. Presentación de resultados

4.1 Evaluación de las condiciones actuales del acero expuesto influenciado por agentes contaminantes en el casco urbano del municipio de Ocaña, Norte de Santander.

4.1.1 Localización de la zona de estudio. El proyecto de investigación se lleva a cabo bajo las condiciones atmosféricas del casco urbano del municipio de Ocaña, por ende cabe mencionar su situación geográfica, que actualmente se encuentra ubicado sobre la cordillera oriental andina. El área donde se encuentra Ocaña, se denomina Provincia de Ocaña. Según el sistema de georreferencia MAGNA-SIRGAS (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia-Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas), se localiza a 8° 15' 25" Latitud Norte y 73° 21' 34" Longitud Oeste, tiene un área de 8.602 km² con una altitud promedio de 1200 msnm.

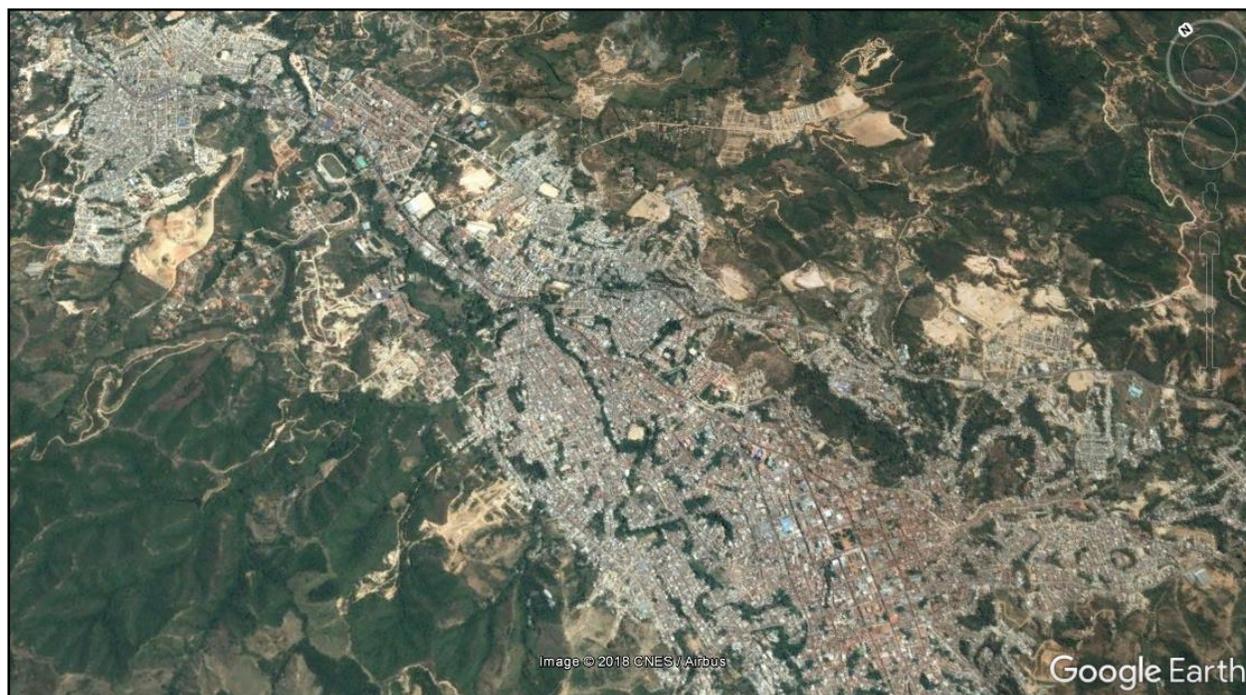


Figura 3. Localización espacial del municipio de Ocaña. Fuente: Google Earth Pro.

En la figura 3 se puede observar el esquema territorial con la identificación de la zona de estudio señalado en rojo. Los límites departamentales y municipales de Ocaña son:

Límites Departamentales

Por el Norte. Limita con el municipio de Gonzáles (Departamento del Cesar).

Por el Occidente. Limita con el municipio de Río de Oro (Departamento del Cesar).|

Por el sur. Limita con el municipio de San Martín (Departamento del Cesar).

Límites Municipales

Por el Oriente. Limita con los municipios de San Calixto, La Playa y Abrego.

Por el Norte. Limita con los municipios de Teorama, Convención y El Carmen.

Por el sur. Limita con el municipio de Ábrego.

4.1.2 Clima y relieve del municipio de Ocaña. Según el PBOT de Ocaña, la temperatura promedio de Ocaña es de 22 °C. Piso térmico templado, con una temperatura no menor a los 8 °C y no mayores a los 30 °C. Precipitaciones entre los 1.000 y 2.000 mm anuales, las lluvias durante el primer semestre son escasas.

En cuanto al relieve, está constituido por un terreno muy quebrado, en el cual, si bien predominan las altitudes medias, no faltan al sur y al oeste las grandes alturas con vegetación paramuna. Este relieve contrasta al nordeste con una franja en llanada, dividida desigualmente por una Línea de lomas que se extiende más allá de la frontera internacional.

4.1.3 Acero expuesto en las construcciones del municipio de Ocaña. En el municipio de Ocaña, son muchas las construcciones que actualmente se vienen presentando sin las respectivas medidas y controles con respecto a los materiales que se utilizan, como es el caso de los aceros empleados para los elementos estructurales, pues si bien cabe mencionar, en muchas ocasiones la discontinuidad en la ejecución de las obras o el mal acopio de los materiales, producen que los aceros utilizados sufran del fenómeno denominado corrosión, el cual puede llegar a perjudicar el comportamiento estructural de una edificación y la resistencia y durabilidad de los concretos reforzados utilizados.

Para dar a conocer este fenómeno que se presenta en la mayoría de construcciones del municipio de Ocaña, a causa de la poca prevención; se realizaron una serie de visitas de obra, en total 8 obras, en donde se registraron que las obras en donde existe menor control por parte de profesionales de la ingeniería, son las que más presentan esta falencia, destacando de esta manera dos importantes factores que repercuten generalmente, en la mayoría de obras del municipio que no están bajo el control de personal especializado. Los dos factores encontrados se describen a continuación.

4.1.3.1 Factor de discontinuidad en la ejecución. Uno de los factores encontrados durante las visitas de obra fue la discontinuidad en la ejecución, es decir, en aquellas obras en donde por falta de recursos o disponibilidad de los mismos, se pausan por ciertos periodos de tiempo, dejando expuestos los aceros que componen importantes elementos estructurales como losas, vigas y columnas. A continuación en la siguiente figura 4, se puede apreciar una construcción que por falta de recursos monetarios, solo alcanzaron a fundir los cimientos y las vigas de arrastre, dejando al descubierto los aceros para las columnas de confinamiento de la estructura.



Figura 4. Discontinuidad en la ejecución de obra por falta de presupuesto. Fuente: Autores de la investigación.

Otra de las discontinuidades, que se encontraron en las edificaciones del municipio de Ocaña, se presenta cuando construcción de viviendas unifamiliares de dos y tres piso, realizan el primer piso para pernotar en él, y dejan lo demás para realizarlo con el tiempo. Ver figura 5.



Figura 5. Viviendas parcialmente construidas. Fuente: Autores de la investigación.

4.1.3.2 Factor acopio del acero en obra. Uno de los eventos característicos causantes de la corrosión del acero en las obras, corresponde al acopio de los materiales, dado que cuando el acero se mantiene en lugares húmedos y a la intemperie del medio, éstos, tienden a corroerse. En la siguiente figura 6, se puede apreciar como el acero antes de ser fundido en concreto se encuentra totalmente corroído.



Figura 6. Acopio de materiales en obra (acero). Fuente: Autores de la investigación.

Como se puede ver en la figura 6, los aceros utilizados para los elementos estructurales de una edificación del municipio de Ocaña, se encuentran apilado bajo el sol y el agua, sin ningún tipo de almacenamiento preventivo, lo que ocasiona que sea más evidente la propagación del fenómeno de corrosión. Por consiguiente durante el proceso de visitas de campo, se trató de hacer entender a los constructores, maestros y obreros, la importancia que tiene evitar este fenómeno para no afecte con el tiempo los elementos estructurales.

Como resultado del análisis de las visitas de campo realizadas a las construcciones que se ejecutan en el municipio de Ocaña, se obtiene la siguiente tabla 1, en donde se registra que la mayoría de las obras repercuten en el fenómeno de la corrosión en los aceros empleados para los elementos estructurales.

Tabla 1

Resumen de construcciones en Ocaña que presentan corrosión de aceros

Nº	Barrio Localización de las obras	Fecha de visita (día-mes-año)	Tipo de obra	Factor causante del fenómeno de corrosión
1	Santa Clara	06 – 11 – 2017	Vivienda unifamiliar	Mal acopio del acero
2	La Gloria	07 – 11 – 2017	Vivienda Multifamiliar	Mal acopio del acero
3	Villa Elvia	08 – 11 – 2017	Vivienda Multifamiliar	Discontinuidad de obra
4	Circunvalar	09 – 11 – 2017	Vivienda Multifamiliar	Discontinuidad de obra
5	Marabel	10 – 11 – 2017	Vivienda Multifamiliar	Discontinuidad de obra
6	Ciudadela Deportiva	13 – 11 – 2017	Comercial, unifamiliar	Mal acopio del acero
7	El Bambo	14 – 11 – 2017	Vivienda unifamiliar	Mal acopio del acero
8	El Milanés	15 – 11 – 2017	Vivienda unifamiliar	Mal acopio del acero

Nota. La tabla muestra el resumen de las obras visitas y de las cuales se observó problemas de corrosión. Fuente: Autores de la investigación.

Como se pudo apreciar en la tabla anterior, es más representativo encontrar que el mal acopio de los aceros utilizados provoca que se presente la corrosión, de igual forma también cabe mencionar que la discontinuidad en obra es muy común encontrarlo cuando son casas unifamiliares de dos pisos en donde se pernota en el primer piso y el segundo piso queda parcialmente construido, con los aceros de vigas y columnas expuestos para su respectiva continuación con la construcción del segundo piso.

Como resultado de la evaluación del acero expuesto en las obras del municipio de Ocaña, se puede apreciar la siguiente figura 7, los factores identificados que influyen directamente.

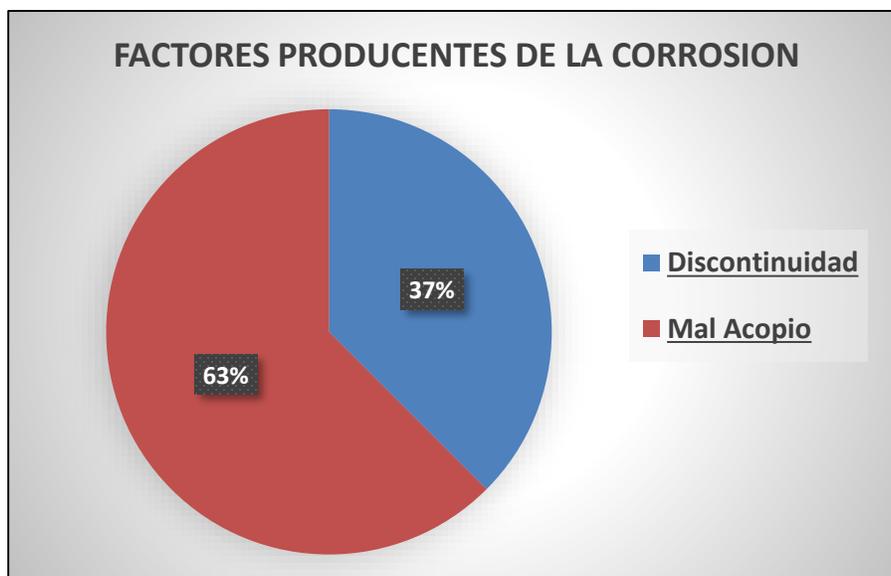


Figura 7. Factores que influyen en la corrosión del acero. Fuente: Autores de la investigación.

4.2 Caracterización del comportamiento mecánico de probetas y placas de ensayo, mediante los ensayos de compresión, flexión y tensión.

Para llevar a cabo la caracterización de las probetas y placas de ensayo, inicialmente se analizan las características de la mezcla a utilizar, como la cantidad de concreto necesario para realizar las muestras de ensayo.

4.2.1 Determinación del concreto para las muestras de ensayo. Para la realización de las probetas y placas de ensayo, se utilizó un concreto con una resistencia de 3.000 PSI. Cabe mencionar que debido a la importancia del proyecto, no se profundizó en un diseño de mezcla específico, ya que se estudiaron los efectos de la corrosión en el acero expuesto y su comportamiento en la resistencia del concreto.

A continuación se describe la determinación del volumen de concreto a emplear en las probetas y placas.

Volumen de probetas. Se denominan probetas, a las muestras de columnas utilizadas, con aceros expuestos, el cual representa el siguiente volumen de concreto:

$$V.Probeta = Ancho * Lado * Alto$$

$$V.Probeta = 0.15 m * 0.15 m * 0.30 m$$

$$V.Probeta = 0.00675 m^3$$

En total el número de probetas realizadas correspondió a 15, por lo cual el volumen de concreto total de las probetas es de $0.10125 m^3$.

Volumen de placas de ensayo. Las placas de ensayo, corresponden a pequeñas losas de concreto reforzado con varillas de 3/8", con los aceros expuestos; el volumen que representa es el siguiente:

$$V.Placas = Ancho * Largo * Espesor$$

$$V.Placas = 0.30 m * 0.30 m * 0.1 m$$

$$V.Placas = 0.009 m^3$$

En total el número de placas de ensayo correspondió a 15 unidades, por lo cual el volumen de concreto total es de $0.135 m^3$.

Volumen total de concreto:

$$V.Concreto = (V.Probeta * 10 unidades) + (V.Placas * 6 unidades)$$

$$V.Concreto = (0.00675 * 15) + (0.009 * 15)$$

$$V.Concreto = 0,23625 m^3$$

Considerando el 5% en desperdicios, el valor final del volumen del concreto es de:

$$V. \text{ Concreto} = 0,2481 \text{ m}^3$$

Una vez conocido el cálculo de los volúmenes de concreto necesarios para el total de muestras de probetas y placas de ensayo, mediante la siguiente tabla 2, que representa las dosificaciones de concreto por volumen.

Tabla 2

Dosificación de mezclas de concreto

TIPO DE CONCRETO	RESISTENCIA P.S.I	MATERIALES			
		CEMENTO KG	ARENA M3	TRITURADO M3	AGUA LITROS
1:2:2	3.500	420	0.67	0.67	250
1:2:3	3.000	350	0.56	0.84	180
1:2:4	2.500	300	0.48	0.95	170
1:3:4	2.000	260	0.63	0.84	170
1:3:6	1.500	210	0.5	1.00	160
1:2:3 IMP	3.000	350	0.56	0.84	180
1:2:4 IMP	2.500	300	0.48	0.95	170

Nota. La tabla muestra la dosificación de mezclas de concreto para hallar los volúmenes de materiales a utilizar.

Fuente: Construyafacil.org (2012).

La resistencia utilizada para las muestras de ensayo corresponde a 3.000 psi, lo cual da a entender que el tipo de concreto a emplear es de relación 1:2:3. Por otra parte, dado que la importancia del proyecto prima en los efectos de la corrosión del acero empleado para los elementos estructurales, no se tuvo en cuenta un respectivo diseño de mezcla, aunque también cabe mencionar que se realizaron algunos ensayos a compresión de muestras cilíndricas extraídas de las probetas (columnas de ensayo). A continuación en la siguiente tabla 3, se muestra la cantidad de material necesario para elaborar la mezcla de concreto con la resistencia deseada.

Tabla 3*Cantidad de material para mezcla de concreto*

MATERIAL	VALOR TEÓRICO	VOLUMEN ÚTIL (M3)	CANTIDAD A UTILIZAR
Cemento (Argos)	350 kg	0.2481	86.835 kg (2 bultos-50kg)
Arena	0.56 m ³	0.2481	0.139 m ³
Triturado	0.84 m ³	0.2481	0.208 m ³
Agua	180 lts	0.2481	44.658 lts

Nota. La tabla muestra el resultado de la dosificación de la mezcla de concreto a utilizar. Fuente: Autores de la investigación

4.2.2 Determinación del acero para las muestras de ensayo. Inicialmente para poder determinar el acero a utilizar, en la siguiente tabla 4, se resumen las dimensiones de los elementos objeto de estudio.

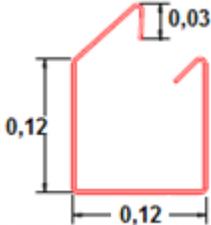
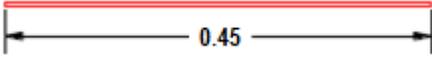
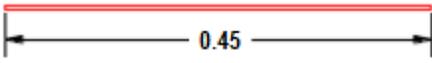
Tabla 4*Dimensiones de muestras de ensayo*

DIMENSION DE PROBETAS (Columnas de ensayo)	
Ancho	0.15 mts
Largo	0.15 mts
Alto	0.30 mts
Recubrimiento	0.015 mts
DIMENSION DE PLACAS DE ENSAYO	
Ancho	0.30 mts
Largo	0.30 mts
Espesor	0.10 mts

Nota. La tabla muestra las dimensiones utilizadas en las muestras de ensayo. Fuente: Autores de la investigación.

El despiece de acero empleado para las muestras de ensayo se puede apreciar en la siguiente tabla 5.

Tabla 5*Despiece de acero de refuerzo para las muestras de ensayo*

Id	Tipo	Diám (pulg)	Long (m)	Esquema	Gancho	Cant.	Long. total (m)	Kg/ML	Peso (kg)
<i>Despiece probetas de ensayo (columnas tipo)</i>									
RF1	Recto	3/8	0.40		No aplica	30	12	0.560	6.72
RF2	Recto	3/8	0.40		No aplica	30	12	0.560	6.72
RC	Fleje	3/8	0.54		0.03	60	32.4	0.560	18.14
<i>Despiece placas de ensayo</i>									
RF1	Recto	3/8	0.45		No aplica	60	27	0.560	15.12
RF2	Recto	3/8	0.45		No aplica	60	27	0.560	15.12
TOTAL ACERO PESO NETO:									61.82

Nota. La tabla muestra el despiece de acero de refuerzo para las muestras de ensayo. Fuente: Autores de la investigación.

El acero de refuerzo utilizado para las muestras de ensayo, corresponde a varillas corrugadas de 3/8", en donde para estudiar su efecto con respecto a la corrosión, se realizan muestras con aceros expuestos al medio ambiente y otras muestras con igualdad de aceros expuestos pero con un agente anticorrosivo para evaluar si en realidad existen diferencias o no en la resistencia del material. A continuación en la siguiente figura 8, se puede apreciar el figurado del acero para las distintas muestras de ensayo.



Figura 8. Armado de acero de refuerzo para muestras de ensayo. Fuente: Autores de la investigación.

4.2.3 Procedimiento elaboración de muestras a ensayar. Una vez figurado el acero y conocido la cantidad de material para preparar la mezcla de concreto, se procede a elaborar las muestras de ensayo correspondiente a 15 probetas de columnas y 15 placas de ensayo.

Para poder realizar el vaciado de concreto, inicialmente se deben realizar las formaletas que son un factor primordial que aseguran el acabado final de cualquier elemento estructural, por lo cual para las muestras a ensayar, se utilizó como formaleta madera lisa con una delgada capa de aceite vegetal, para evitar la adherencia del concreto con las paredes del encofrado en madera.

Por consiguiente se realizaron 15 encofrados o formaletas, de las cuales 6 correspondieron a las placas de ensayo y 9 a las probetas de columnas; cabe mencionar que el total de muestras fundidas en concreto reforzado con acero expuesto, correspondió a 30 unidades. En la siguiente figura se puede observar las formaletas para los tipos de muestras utilizados.



Figura 9. Formaletas con acero figurado listo para fundir. Fuente: Autores de la investigación.

Una vez tenida la mezcla lista, se procede al vaciado del concreto en las formaletas hasta llegar a su rasante, teniendo en cuenta que para evitar la acumulación de aire y el mal acomodado de las partículas que conforman la mezcla, se realiza la debida vibración de la mezcla por medio de un martillo de goma, ya que utilizar un vibrador industrial, solo amerita cuando los elementos estructurales son de gran magnitud.

En la siguiente figura 10, se puede apreciar el vaciado de concreto, en donde se utilizó el martillo de goma para reacomodar el material granular de la mezcla; en la misma figura también se aprecia que el concreto deja al descubierto las varillas de refuerzo tanto para las probeta como para las placas, las cuales permiten la corrosión de la muestra para su posterior análisis.



Figura 10. Vibración de concreto con martillo de goma. Fuente: Autores de la investigación.

Luego de tener las muestras totalmente fraguadas, se procede a retirar el encofrado y curar con agua posteriormente para la óptima hidratación de las muestras a ensayar; las muestras finales se pueden apreciar en la figura 11. Por consiguiente, es de reiterar que la totalidad de las muestras corresponden a 15 probetas de columnas y 15 placas de ensayo, de las cuales la mitad de probetas de columna cuentan con anticorrosivo y de igual forma la mitad de las placas de ensayo también cuentan con un agente anticorrosivo en los aceros utilizados. Después de tener las muestras de ensayo terminadas, la mitad de las muestras con y sin anticorrosivo, se sitúan en una zona donde se ven expuesto al medio ambiente y la otra mitad en otro lugar donde sean protegidos a las condiciones del medio ambiente. Ver figura 12.



Figura 11. Muestras de ensayo para evaluar en laboratorio. Fuente: Autores de la investigación



Figura 12. Muestras expuestas al medio ambiente (imagen izquierda) y muestras protegidas bajo sombra (imágenes a la derecha). Fuente: Autores de la investigación.

4.2.4 Resistencia a la compresión de las muestras de concreto. Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en cilindros de concreto los cuales fueron extraídos de las probetas de columnas. Para la realización de este ensayo inicialmente se pretendía evaluar a compresión la probeta de columna pero dado a la carencia del equipo especializado para su elaboración dentro de las instalaciones de los laboratorios de resistencia de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, se decidió evaluar cilindros de concreto extraídos de las probetas de columnas, teniendo en cuenta que dichas muestras (probetas), tuvieron un periodo de envejecimiento de más de 6 meses, con el fin de que la corrosión hiciera efecto dentro del comportamiento del concreto, ya que al presentarse la corrosión por medio del acero expuesto, se genera una acumulación de óxidos expansivos en la interfaz acero-concreto, que provoca fisuras y carbonatación en el concreto.

En la siguiente figura 13, se puede apreciar como por medio de la maquina extractora de núcleos, se extraen los cilindros de concreto a ensayar, dicha maquina funciona con agua para evitar la propagación de partículas de polvo, de igual forma la boquilla que extrae los cilindros es diamantada para poder cortar a la perfección el concreto.

Al momento de extraer los cilindros, uno de los inconvenientes que se presentaron, fue que algunos cilindros se rompieron o desquebrajaron al momentos de sacarlos de la maquina extractora, por lo cual el total de cilindros extraídos en perfectas condiciones correspondió a 9, en donde para poder realizar el respectivo ensayo a compresión, fue necesario realizar cortes con una cierra de banco o tronadora, para perfeccionar las superficies de los cilindros con el fin de obtener una superficie plana para poder llevar a cabo el ensayo sin ninguna alteración.



Figura 13. Extracción de cilindros de concreto. Fuente: Autores de la investigación.

Por consiguiente, los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron utilizando la maquina universal como se puede apreciar en la siguiente figura 14.



Figura 14. Maquina universal Ensayo compresión. Fuente: Autores de la investigación.

En la siguiente tabla 6, se pueden apreciar los resultados del ensayo a compresión de todos los cilindros ensayados.

Tabla 6

Resistencia a la compresión en cilindros de concreto

Cilindro	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Peso (gr)	Carga Max Kn	Esfuerzo Mpa	Tiempo seg	Deformación mm
1	82.7	50.51	337	7.1	3.54	17.88	13.647
2	53.1	49.9	209	20.5	10.47	38.35	22.001
3	50.7	47.69	173	27.8	16.97	33.94	18.99
4	61.8	50.49	253	11.3	5.64	32.32	21.83
5	66.7	50.32	199	7.8	3.90	32.35	22.14
6	58.2	50.59	265	3.5	1.73	24.34	19.03
7	68	50.47	273	4.7	2.35	23.89	17.97
8	59	50.62	247	6.5	3.25	32.30	24.06
9	37.8	50.47	158	6.4	3.21	37.58	29.69
Promedio	59.78	50.12	234.89	10.62	5.67	30.33	21.04

Nota. La tabla muestra la resistencia a la compresión de los nueve cilindros de concreto ensayados. Fuente: Autores de la investigación.

Dado que se habla de muestras obtenidas por núcleo mediante un extractor de muestras, por lo general, se puede apreciar una variación en los diámetros, debido que al momento de la perforación, la muestra se puede deflectar o puede llegar a cierto grado de torsión, por lo cual, es necesario promediar el diámetro, para luego determinar la resistencia real que soporta cada cilindro, en donde según la norma técnica NTC 673, se utiliza una relación de longitud/diámetro de cada muestra para conocer si el resultado de la resistencia real del cilindro debe ser multiplicada por un coeficiente de corrección, siempre y cuando este en el rango de 1,0-2,05.

A continuación en la siguiente tabla 7, se pueden apreciar los coeficientes de corrección de la resistencia.

Tabla 7*Coefficientes de corrección de la resistencia real de muestras de concreto*

Relación L/D	Factor de corrección de la resistencia
2,05	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Nota. La tabla muestra el factor de corrección de resistencia en cilindros de concreto. Fuente: Norma NTC 673.

Como se pudo apreciar en la tabla 6, la columna de esfuerzos, el cual tiene su unidad en Mpa, corresponde a la resistencia real que soporta cada cilindro, medido como la carga máxima aplicada por la maquina universal dividido entre el área de cada cilindro, pero teniendo en cuenta los parámetros de muestra de la norma NTC 673, para ensayos a compresión de cilindros de concreto, nos dice que al ser un número menor de 10 cilindros, se debe determinar la resistencia real de cada espécimen con el área promedio del total de las muestras siempre y cuando exista una variación con respecto a cada diámetro de 0.50 mm. Para resumir los cálculos y conocer los valores de resistencia real, se presenta la siguiente tabla 8.

Tabla 8*Corrección de cálculos*

Cilindro	Diámetro promedio (mm)	Área promedio (mm ²)	Altura (mm)	Carga Max (Kn)	Esfuerzo Mpa	Relación L/D	Factor de corrección	Esfuerzo real Mpa
1	50.12	1972.9315	82.7	7.1	3.60	1.65	0.954	3.43
2	50.12	1972.9315	53.1	20.5	10.39	1.06	0.897	9.32
3	50.12	1972.9315	50.7	27.8	14.09	1.01	0.892	12.57
4	50.12	1972.9315	61.8	11.3	5.73	1.23	0.914	5.23
5	50.12	1972.9315	66.7	7.8	3.95	1.33	0.923	3.65
6	50.12	1972.9315	58.2	3.5	1.77	1.16	0.907	1.61
7	50.12	1972.9315	68	4.7	2.38	1.36	0.926	2.21
8	50.12	1972.9315	59	6.5	3.29	1.18	0.909	2.99
9	50.12	1972.9315	37.8	6.4	3.24	0.75	1	3.24

Nota. La tabla muestra la corrección de cálculos del esfuerzo real de cilindros. Fuente: Autores de la investigación.

Como se puede apreciar en la tabla 8, empleando el factor de corrección y el diámetro promedio, el esfuerzo final que verdaderamente soportan los cilindros tiene una pequeña disminución con relación a los esfuerzos reales medidos sin aplicar el factor de corrección, pero es de resaltar que en el cilindro 9, no se aplicó el factor de corrección, dado que estaba por fuera del rango y teniendo en cuenta que los datos del factor de corrección se obtuvieron por medio de interpolación, no aplico para un dato fuera del rango que se muestra en la tabla 7.

4.2.4.1 Módulo de elasticidad. El módulo de elasticidad estático de los cilindros de concreto, se realiza empleando la norma NSR-10 título c, en donde establece que el módulo de elasticidad en base a la resistencia a la compresión para concretos normales se halla de la siguiente manera.

$$E = 4700 * \sqrt{F'c}$$

El valor de la resistencia a la compresión del concreto ($F'c$), a los 21 Mpa es igual a 21538,10 Mpa. Por consiguiente el módulo de elasticidad de cada uno de los cilindros se aprecia en la siguiente tabla 9.

Tabla 9

Módulos de elasticidad

Cilindro	Esfuerzo real Mpa	Módulo de elasticidad
1	3.43	8704.52
2	9.32	14348.48
3	12.57	16663.47
4	5.23	10748.52
5	3.65	8979.34
6	1.61	5963.63
7	2.21	6987.05
8	2.99	8127.06
9	3.24	8460.00

Nota. La tabla muestra los módulos de elasticidad estática de los cilindros. Fuente: Autores de la investigación.

4.2.5 Flexión en el acero de placas de ensayo. Para llevar a cabo el análisis a flexión del acero en placas de ensayo, se realizaron 7 muestras de varillas de acero corrugado de 45 cm promedio, con el fin de evaluar el comportamiento del acero expuesto, teniendo en cuenta que para dar inicio al ensayo fue necesario demoler el concreto de la placa de ensayo para obtener el acero.

En la siguiente figura 15, se puede apreciar el procedimiento realizado para la obtención de datos del ensayo a flexión, en donde se utilizó la maquina universal con tres apoyos, dos en los extremos, y el apoyo central que ejerce la carga para deformar la varilla.



Figura 15. Ensayo a Flexión del acero corrugado. Fuente: Autores de la investigación.

En la siguiente tabla 10, se puede apreciar en resumen, los resultados del ensayo a flexión de las varillas corrugadas de las placas de ensayo, cabe resaltar que dichas varillas que estuvieron expuestas, en su totalidad estaban recubiertas de un anticorrosivo.

Tabla 10

Resultados del ensayo a flexión

Cant. de muestras	Diámetro (mm)	Distancia entre apoyos "L"(mm)	Área Trasn. Efect. (mm ²)	Carga máxima (KN)	Esfuerzo real (Mpa)
1	10.12	400	5619.38	0.80345	0.143
2	10.11	400	5619.38	0.73705	0.131
3	9.93	400	5619.38	0.79681	0.142
4	10.32	400	5619.38	0.83001	0.148
5	10.19	400	5619.38	0.76361	0.136
6	9.95	400	5619.38	0.71049	0.126
7	10.34	400	5619.38	0.73705	0.131
Promedio	10.14	400	5619.38	0.76835	0.137

Nota. La tabla muestra los resultados del ensayo a flexión de las varillas de acero de las placas de ensayo. Fuente: Autores de la investigación.

Como se puede apreciar en la tabla 10, los resultados del ensayo a flexión dan a conocer que a pesar de tratarse de la misma varilla y con las mismas condiciones iniciales, la carga máxima que pudo soportar cada varilla varia, al igual que el esfuerzo real

En la siguiente figura 16, se puede apreciar la gráfica de esfuerzos en función de la deformación, en donde es evidente que todas las muestras se comportan como elásticas, ya que van aumentando su deformación a medida que aumenta la carga aplicada, hasta que llegan a cierto punto en el que las deformaciones no siguen aumentando. A partir de dicho valor las deformaciones son permanentes y el cuerpo se comporta como inelástico o plástico.

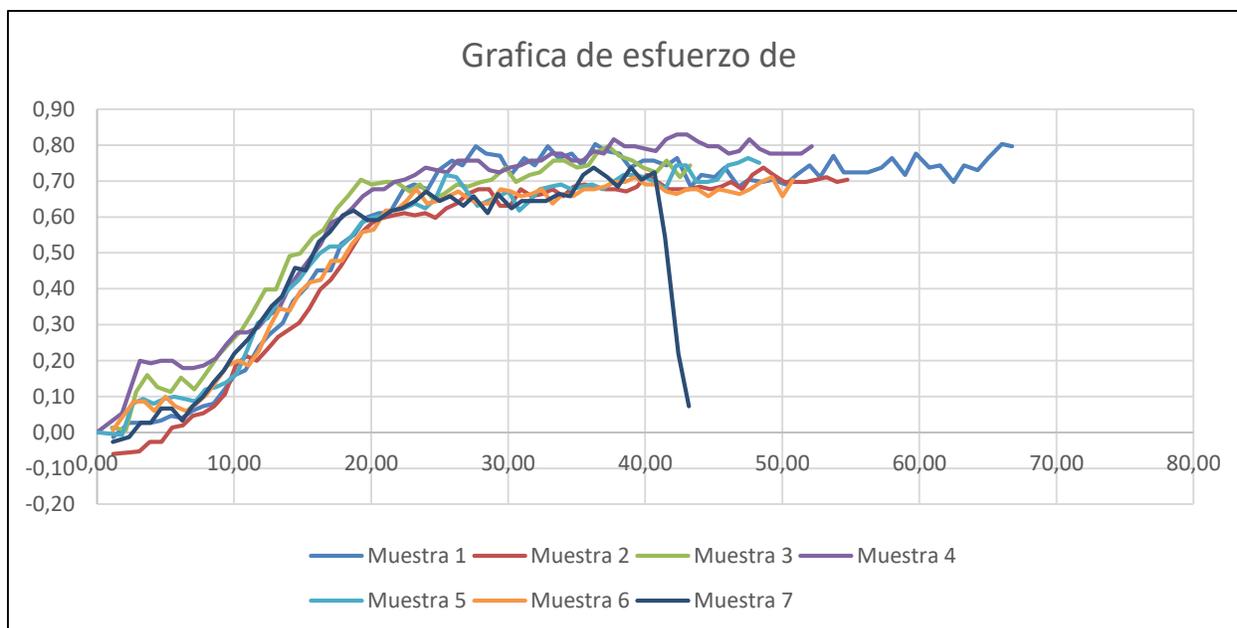


Figura 16. Grafica de esfuerzo-deformación. Fuente: Autores de la investigación.

4.2.6 Ensayo de tensión en el acero de placas de ensayo. Al igual que para el ensayo a flexión, en el ensayo a tensión, también se demolieron placas de ensayo para extraer el acero que posteriormente es evaluado; en este caso se evaluaron 4 muestras de varillas de acero con anticorrosivo y cuatro muestras sin anticorrosivo.

En la siguiente figura 17, se puede apreciar la maquina universal, con una muestra de varilla de acero, en su estado de ruptura, es decir cuando el material deja de ceder y se rompe. Por consiguiente es de mencionar que inicialmente el procedimiento que realiza la maquina corresponde a dos fuerzas de tensión iguales y opuestas uniáxial, que producen una deformación del material; dicha deformación que experimentan las varillas de acero evaluadas son plásticas, dado que al deformarse el material y llegar a su punto de falla, la varilla de acero no podrá recuperar su estado inicial.



Figura 17. Ensayo a tensión del acero corrugado. Fuente: Autores de la investigación

Con respecto a los resultados obtenidos en los ensayos realizados, a continuación en la siguiente tabla 11, se resumen datos iniciales y la carga máxima que soportan las varillas de acero con anticorrosivo, en total se realizaron 4 muestras.

Tabla 11

Resultados de ensayo a tensión varillas con anticorrosivo

Muestra	Long. Total (mm)	Log. Final (mm)	Diámetro muestra (mm)	Área (mm ²)	Carga Máxima (kN)	Resistencia máxima (Mpa)
1	400	452	10.12	80.44	43.0146	53.4742
2	402	463	10.11	80.28	42.9681	53.5228
3	408	460	9.93	77.44	42.5365	54.9283
4	406	464	10.32	83.65	42.8884	51.2713045
Promedio	404	459.75	10.12	80.4525	42.8519	53.29915113

Nota. La tabla muestra los resultados del ensayo a tensión en cuanto a la resistencia máxima.

Fuente: Autores de la investigación.

Como se pudo observar en la tabla anterior, a pesar de usar el mismo material, los diámetros de la muestra tienden a variar un poco debido a las condiciones en las que se utilizó, ya que se extrajeron demoliendo las placas de concreto. En la tabla 11, la columna de carga máxima, corresponde a la fuerza aplicada por la maquina universal en unidad de kN, la columna resistencia máxima en unidad de Mpa, que se define como la carga máxima dividido entre el área de la varilla, corresponde al esfuerzo de tensión, es decir cuando la varilla de acero inicia deformándose linealmente de manera elástica y cambia a un estado plástico, en el que la varilla sufre una reducción en el área de su sección transversal cambiando las propiedad física del material.

En la siguiente figura 18, se puede apreciar, la gráfica que identifica cada uno de los puntos en donde el material empieza a cambiar el tipo de deformación hasta llegar a su punto de ruptura.

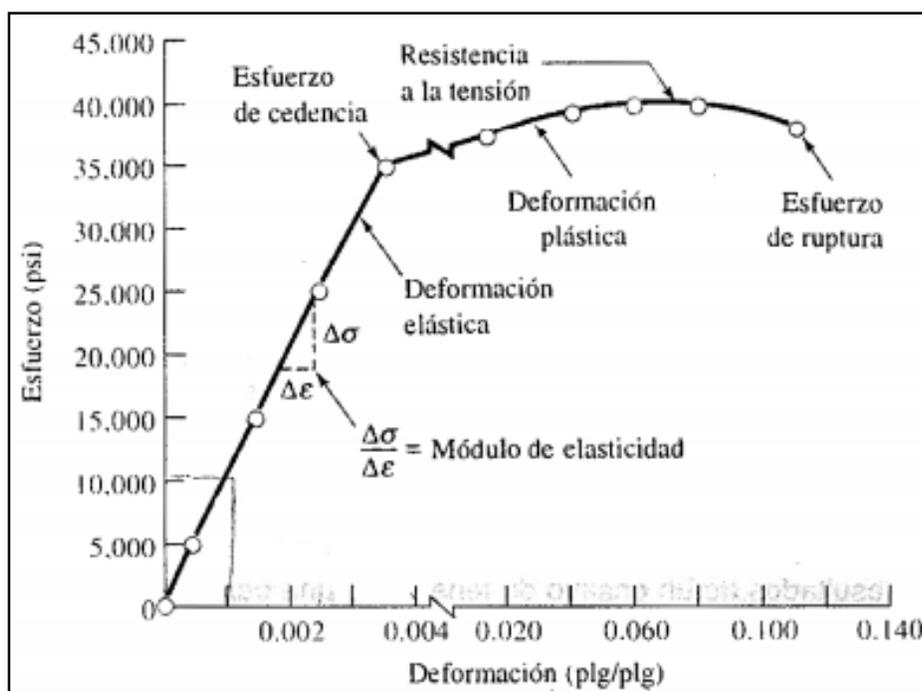


Figura 18. Grafica teórica de Esfuerzo-Deformación. Fuente: Balvantín A. (2016)

Según lo observado en la figura anterior, a continuación en la siguiente tabla 12 se resumen los cálculos necesarios para determinar el comportamiento del acero obtenido del ensayo de laboratorio.

Tabla 12

Resumen de datos ensayo a tensión varilla con anticorrosivo

Muestra	Long. Total (mm)	Log. Final (mm)	Área (mm ²)	Área reducida (mm ²)	Esfuerzo a tensión (Mpa)	Modulo Elasticidad	% Elongación	% Reducción de área
1	400	452	80.44	6.29	53.4742	0.00635	15.17	92.18
2	402	463	80.28	6.36	53.5228	0.00407	15.17	92.08
3	408	460	77.44	7.22	54.9283	0.00165	12.74	90.65
4	406	464	83.65	6.78	51.2713	0.00137	14.28	91.89
Promedio	404	459.7	80.452	6.6625	53.2991	0.00336	14.34	91.7

Nota. La tabla muestra los datos obtenidos a través del laboratorio y cálculos realizados para conocer sus características. Fuente: Autores de la investigación.

Como se muestra en la tabla 12, el módulo de elasticidad, corresponde al delta del esfuerzo en función del delta de la elongación; en la siguiente 19, se puede apreciar la deformación en función de la fuerza aplicada del acero con anticorrosivo.

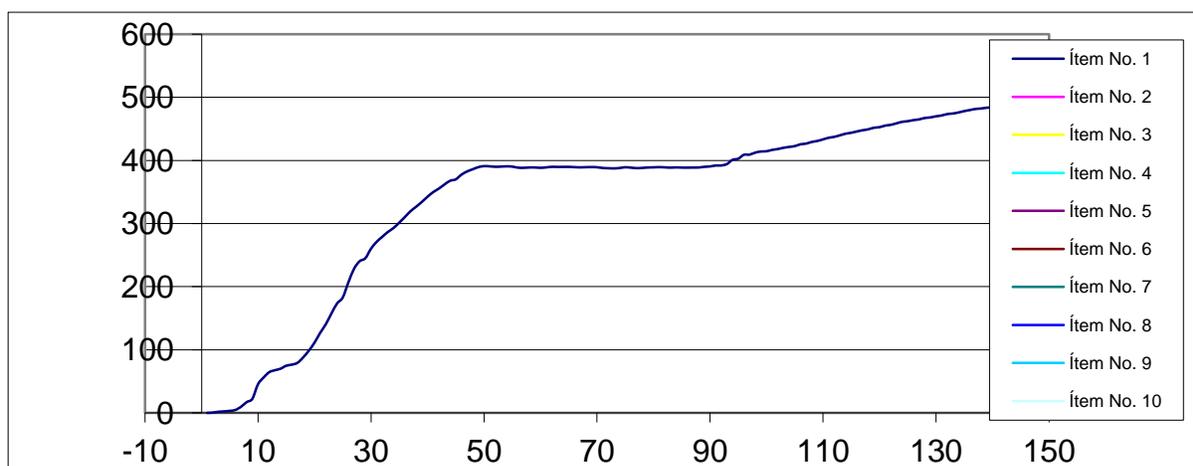


Figura 19. Grafica de deformación en función del esfuerzo. Fuente: Autores de la investigación.

De igual forma los datos obtenidos para las varillas de acero con componente corrosivo, a continuación en la siguiente tabla 13 y tabla 14, se detalla la caracterización de las varillas con acero sin anticorrosivo, para posteriormente evaluar sus diferencias con respecto a las varillas que si utilizaron agente anticorrosivo.

Tabla 13

Resultados de ensayo a tensión varillas sin anticorrosivo

Muestra	Long. Total (mm)	Log. Final (mm)	Diámetro muestra (mm)	Área (mm ²)	Carga Máxima (kN)	Resistencia máxima (Mpa)
1	402	453	8.38	55.15	43.3333	78.5736
2	400	459	10.26	82.68	43.8313	53.0132
3	405	464	10.71	90.09	42.7556	47.4588
4	403	466	10.23	82.19	43.7849	53.2727
Promedio	402.5	460.5	9.895	77.5275	43.426275	58.079575

Nota. La tabla muestra los resultados del ensayo a tensión en cuanto a la resistencia máxima.

Fuente: Autores de la investigación.

Tabla 14

Resumen de datos ensayo a tensión varilla sin anticorrosivo

Muestra	Long. Total (mm)	Log. Final (mm)	Área (mm ²)	Área reducida (mm ²)	Esfuerzo a tensión (Mpa)	Modulo Elasticidad	% Elongación	% Reducción de área
1	402	453	55.15	6.03	78.5736	0.00236	11.25	89.07
2	400	459	82.68	6.52	53.0132	0.00408	12.85	92.11
3	405	464	90.09	6.66	47.4588	0.00125	12.72	92.61
4	403	466	82.19	6.39	53.2727	0.00128	13.52	92.22
Promedio	402.5	460.5	77.52	6.4	58.0795	0.00224	12.58	91.50

Nota. La tabla muestra los datos obtenidos a través del laboratorio y cálculos realizados para conocer sus características. Fuente: Autores de la investigación.

En la siguiente figura 20, se puede apreciar la representación gráfica de la carga aplicada en función de la deformación para las varillas de acero sin componente anticorrosivo.

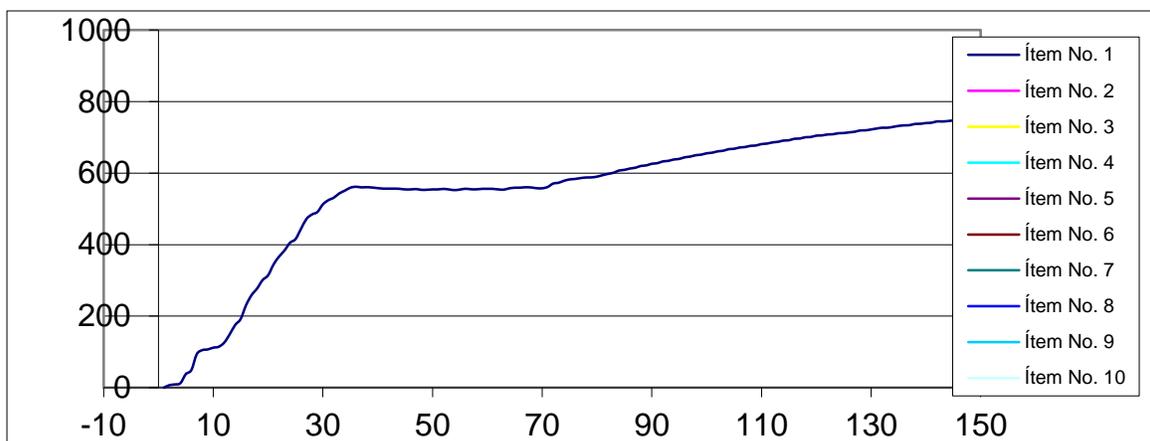


Figura 20. Grafica de deformación en función del esfuerzo acero sin anticorrosivo. Fuente: Autores de la investigación.

4.3 Determinación la edad de los concretos por medio del ensayo de carbonatación.

Para poder determinar el ensayo de carbonatación, se utilizó un químico llamado fenolftaleína, el cual al entrar en contacto con el concreto produce una coloración fucsia, que mide la carbonatación del concreto, es decir el deterioro que presenta el concreto reforzado. Durante la experiencia de laboratorio, cabe mencionar que al aplicar el químico fenolftaleína, en las aristas superficiales de las probetas de columnas, no ocurrió ninguna coloración dado que al ser la capa superficial al contacto con el medio ambiente no se entraba en contacto con la alcalinidad del concreto.

En la siguiente figura 21, se puede apreciar, la aplicación del químico fenolftaleína en una de las caras laterales de la probeta de columna, en donde se puede apreciar que no se produce ninguna coloración que indique el grado de carbonatación del concreto. Por consiguiente, en la figura 22, se puede apreciar las muestras con la respectiva coloración de la carbonatación, ya que fue necesario desportillar la capa superficial del concreto para que hiciera efecto.



Figura 21. Aplicación de fenolftaleína a probeta. Fuente: Autores de la investigación.



Figura 22. Aplicación de fenolftaleína a concreto desportillado. Fuente: Autores de la investigación

Como se pudo observar en la figura 22, se presentó la necesidad, de desportillar el concreto para que el químico utilizado para determinar la carbonatación hiciera efecto y mostrara un color que determine el grado de carbonatación, la cual resulta de la reacción del hidróxido cálcico con el dióxido de carbono del aire, formando carbonato cálcico y agua. Este proceso es acompañado por la reducción de la alcalinidad en el concreto, lo cual pudiendo activar el proceso de corrosión del acero en presencia de agua y oxígeno, lo que lleva a una degradación más acelerada y a una reducción de la durabilidad.

Para conocer el grado de carbonatación, empleando la escala de valores según su color, en la siguiente figura 23, se aprecia dicha escala.

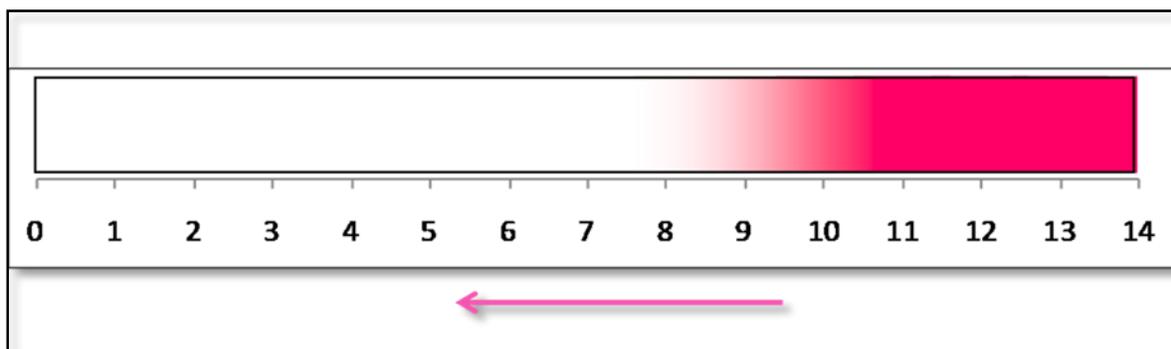


Figura 23. Escala de coloración de carbonatación. Fuente: García Galán I. (2011)

Como resultado del ensayo de carbonatación, las probetas se tornaron de un color fucsia fuerte por lo tanto y comparando con la escala del ph de la fenolftaleína se determinó que el concreto es alcalino por lo tanto no ayuda a la corrosión, ya que aumentan las posibilidades de presentar corrosión y la coloración del concreto tiende a ser más clara, es decir cuando el concreto pierde alcalinidad.

4.4 Análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar el comportamiento mecánico del concreto reforzado bajo condiciones atmosféricas en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

En lo que respecta al análisis de los ensayos que describen el comportamiento mecánico del concreto reforzado, a continuación se presenta el análisis que determina las condiciones que se evaluaron.

En el ensayo a compresión de los especímenes obtenidos por núcleos, tienden a variar un poco su diámetro real debido a factores externos como la flexión y la torsión que se presenta cuando son extraídos con la máquina de extracción. En la siguiente figura 24, se aprecia la gráfica de los módulos de elasticidad de todos los cilindros de concreto evaluados.



Figura 24. Módulos de elasticidad de cilindros evaluados. Fuente: Autores de la investigación.

Como se puede apreciar en la figura 24, se analiza el módulo de elasticidad, el cual hace referencia a la rigidez de un material, y se define como la capacidad de resistencia a la deformación. El módulo de elasticidad más alto se obtiene del cilindro 3, el cual cuenta con el menor diámetro de todas las muestras. Cabe destacar, que a pesar de que las muestras fueron extraídas de las probetas de columna, el módulo de elasticidad más alto, no supero la resistencia máxima de 21 Mpa a la cual fue sometida la mezcla.

En lo que respecta el ensayo a flexión, se evaluaron 7 varillas de acero con anticorrosivo, en donde la variación del esfuerzo real no tuvo muchas diferencias. Como se puede apreciar en la figura 25, el esfuerzo real que resiste antes de deformarse cada varilla de acero, presenta valores que debido al cálculo de error no se varían pero consecuentemente, dado que se habla de las mismas condiciones de las varillas para todas las muestras, por lo cual como resultado del análisis cabe mencionar que el proceso de demolición del concreto para extraer el acero pudo alterar en cierta medida las propiedades de las varillas.

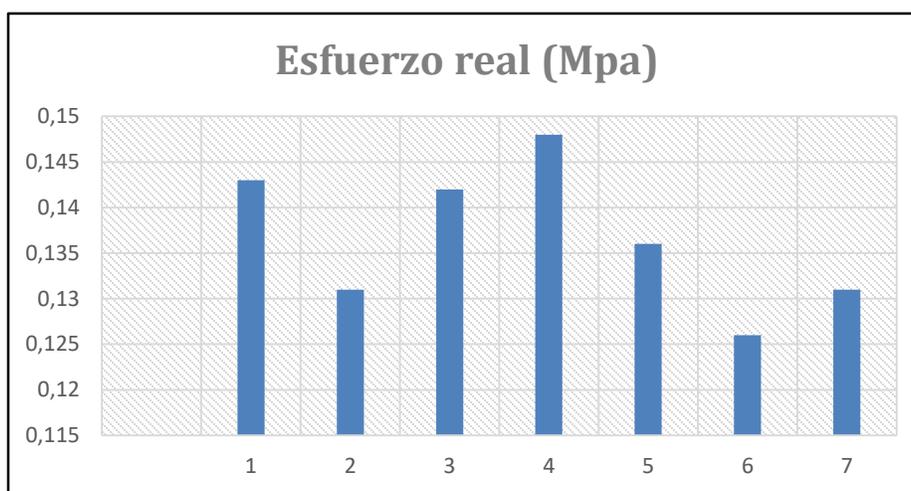


Figura 25. Grafica de esfuerzo real en función de cada varilla. Fuente: Autores de la investigación.

Por consiguiente para conocer aún mejor las características del acero cuando tiene y cuando no tiene componente anticorrosivo, en las siguientes figuras 26 y 27 se muestra el módulo de elasticidad para comparar sus diferencias.

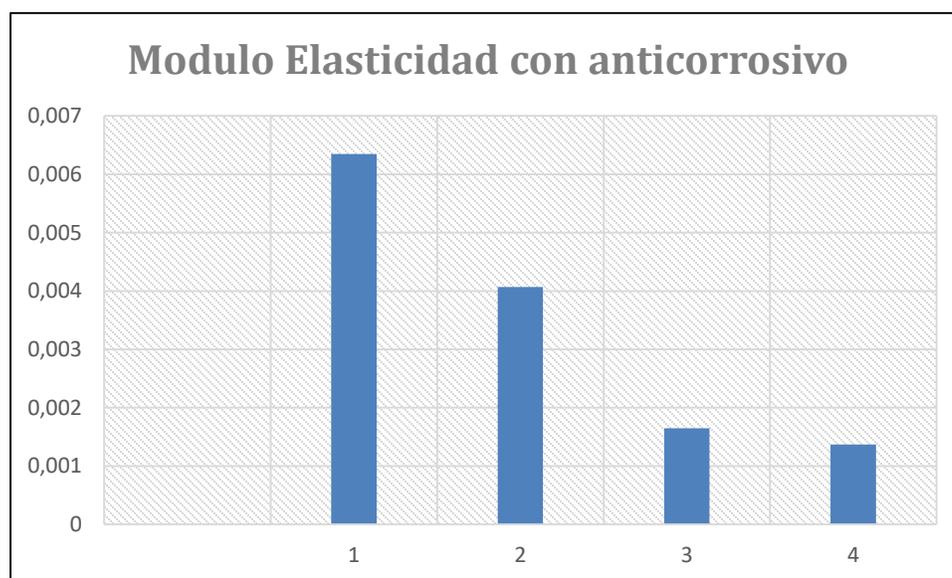


Figura 26. Módulo de elasticidad acero con anticorrosivo. Fuente: Autores de la investigación.



Figura 27. Módulo de elasticidad acero sin anticorrosivo. Fuente: Autores de la investigación

Conclusiones

En el municipio de Ocaña, son muchas las construcciones que presentan corrosión en el acero de sus estructuras, en donde por medio de la investigación en campo, se llegó a la conclusión que existen dos factores primordiales que provocan el fenómeno de corrosión en los aceros utilizados en las construcciones de Ocaña; estos factores corresponden a las discontinuidades en obra que hace referencia a la pausa en su ejecución y el mal acopio del material; según la información analizada, el 63 % de la corrosión se ve reflejada en el mal acopio del material, por cual el 37 % alude a la discontinuidad en obra.

Con el reconocimiento de las características físicas de las muestras de ensayo mediante los ensayos de laboratorio, se pudo determinar la resistencia a la compresión del concreto, la deflexión máxima del acero con anticorrosivo y la resistencia a la tracción, dando a conocer que el concreto se comporta en condiciones de elasticidad y plasticidad normales tanto para el acero con anticorrosivo como el acero sin anticorrosivo.

En lo que respecta al reconocimiento del envejecimiento del concreto, no se obtuvo una carbonatación que sustentara la hipótesis de que el concreto a falta de alcalinidad estuviera permitiendo la corrosión en el acero, ya que los colores que se presentaron fueron muy fuertes, además dado al factor tiempo se considera que si las muestras de ensayo se hubieran dejado envejecer unos cuantos años tal vez el componente químico utilizado fenolftaleína, presentara una coloración más clara del concreto que determinara su carbonatación.

Con relación al análisis de resultados a pesar de que se utilizaron las mismas condiciones de las muestras, debido a las variaciones obtenidas en los ensayos de laboratorios al momento de realizar los procedimientos, se logró identificar que por lo menos en el ensayo a tensión, los valores del módulo de elasticidad, es decir la capacidad de resistir la cargas, de las varillas que fueron revestidas con un agente anticorrosivo presentaba valores superiores a las varillas que no fueron revestidas con anticorrosivo, lo cual da a entender que a pesar del poco tiempo que se dejaron envejecer las muestras, se pudo ver reflejado que al recubrir el acero antes de fundir las estructuras, mejora la resistencia del acero y posteriormente de la estructura monolíticamente.

Recomendaciones

Se recomienda en general para las construcciones que se realizan sin ninguna supervisión de personal calificado, determinar primero las condiciones iniciales de los sitios o los lugares dentro de una construcción destinados al acopio del acero, ya que se debe verificar que no exista humedad o contacto con el agua; lo ideal corresponde a tener un lugar cubierto al medio ambiente y libre de cualquier humedad.

Para las construcciones que por falta de recursos pausan su ejecución, es recomendable recubrir el acero expuesto con plásticos para evitar que se oxide rápidamente si la obra dura mucho tiempo sin continuar con su ejecución.

Se recomienda utilizar agentes anticorrosivos en las estructuras de concreto reforzado, en especial en aquellos lugares donde pueda existir humedad, ya que ayuda a mejorar las condiciones de resistencia del acero y le da una mejor durabilidad al concreto.

Referencias

- Fernández M. (2017). La corrosión. *slideshare.net*. Recuperado de:
<https://es.slideshare.net/MarianaFernandez24/la-corrosin-71113769>
- Moreno Fernández E. (2008). *Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón: Estudio experimental de la variación de la ductilidad en armaduras corroídas aplicando el criterio de acero equivalente*. (Tesis Doctoral) Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, Madrid.
- Zapata J. (2013). Diseño De Elementos De Máquinas I. *Eumed.net Enciclopedia virtual*.
Recuperado de: <http://www.eumed.net/libros-gratis/ciencia/2013/14/acero-propiedades.html>
- Socarras C. (2014). Definición Propiedades Características Ventajas Desventajas. *slideplayer.es*.
Recuperado de: <https://slideplayer.es/slide/1080644/>
- Ponce M. (2016). Ingeniería Civil Aglomerantes. *blogspot.com*. Recuperado de:
<http://tcnmaterial.es.blogspot.com/2016/10/aglomerantes.html>
- Lucena L. (2018). Ensayo de tracción. *es.scribd.com*. Recuperado de:
<https://es.scribd.com/document/130244834/El-ensayo-de-traccion-de-un-material-consiste-en-someter-a-una-probeta-normalizada-a-un-esfuerzo-axial-de-traccion-creciente-hasta-que-se-produce-la-r>
- Blaur J. M. (2008). Ensayo a compresión de cilindros de concreto. *ingevil.blogspot.com*.
Recuperado de: <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/ensayo-compresin-de-cilindros-de.html>
- Ropero J. (2014). Ensayo de Flexión. *es.scribd.com*. Recuperado de:
<https://es.scribd.com/document/245841641/Ensayo-de-Flexion>
- Fernández Ríos J. M. (2018). Ensayo de carbonatación. *es.scribd.com*. Recuperado de:
<https://es.scribd.com/document/278477420/Ensayo-de-Carbonatacion>

García F. (2003). Evaluación de estructuras, técnicas y materiales para su reparación. *Revistacyt*. Recuperado de: <http://www.imcyc.com/revistacyt/oct11/artingenieria.html>

Viveros Castillo O. A. (2008). *Comportamiento del potencial de corrosión de concreto reforzada expuesta al ambiente de la ciudad de Xalapa*. (Tesis de pregrado) Universidad Veracruzana región Xalapa, México.

Serpa Iriarte M. F. & Samper Pertúz L. M. (2014). *Evaluación, diagnóstico, patología y propuesta de intervención del puente sobre el caño El Zapatero a la entrada de la Escuela Naval Almirante Padilla*. (Tesis de pregrado) Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.

Garcés Rodríguez R. C. (2002). *Evaluación de la corrosión atmosférica del acero expuesto en diversas atmosferas*. (Tesis de Maestría) Universidad Autónoma de Nuevo León, Villahermosa, Tabasco México.

Martínez Culebro G. A. (2004). *Problemas patológicos derivados de la corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto*. (Tesis de pregrado). Instituto Tecnológico de Sonora, Obregon, Sonora.

Arias, F. G. (2006). El proyecto de investigación introducción a la metodología científica. Recuperado de: <http://ebevidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACION-C3%93N-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf>

Construyafacil.org (2012). Dosificaciones por volumen en mezclas de concreto. Recuperado de: <http://www.construyafacil.org/2012/05/dosificaciones-por-volumen-en-mezclas.html>

Apéndice

Apéndice A. Ensayos de laboratorio

Ver documento adjunto AQUÍ

Apéndice B. Registro fotográficos

Ver documento adjunto AQUÍ