



**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO DEL ANTEPROYECTO:
IMPORTANCIA DE UNA ADECUADA SUPERVISION TÉCNICA SOBRE
EL ACERO DE REFUERZO DURANTE LA EJECUCIÓN DE
CONSTRUCCIONES DE EDIFICACIONES**

**PRESENTADO POR:
NOMBRE: CRISTIAN CAMILO TORRES MEDINA
503906**

CÓDIGO:

**DOCENTE ASESOR:
NOMBRE: FRANCISCO JAVIER NOVEGIL GONZÁLEZ ANLEO**

BOGOTÁ, D.C., 05 DE NOVIEMBRE DE 2019



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Compartir bajo la Misma Licencia — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	13
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	29
2.1. SITUACIÓN DEL PROBLEMA	29
2.2. PREGUNTA DEL PROBLEMA	43
3. MARCO DE REFERENCIA	44
4. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	51
4.1. <i>ACEROS DE REFUERZO PARA EL CONCRETO</i>	52
4.1.1. <i>Coefficientes de expansión térmica</i>	52
4.1.2. <i>La resistencia a la corrosión del acero</i>	52
4.1.3. <i>La resistencia al fuego del acero</i>	53
4.1.4. <i>Barras de refuerzo</i>	53
4.2. GRADOS Y RESISTENCIAS.	55
4.3. CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA.....	55
4.5. MALLAS ELECTROSOLDADAS.....	57
4.6. FALENCIAS CONSTRUCTIVAS E INVESTIGACIONES RELACIONADAS.	57
4.6.1. <i>Causas por Diseño</i>	59
4.6.1.1. Irregularidad Estructural.....	59
4.6.1.2. Columna Corta.....	59
4.6.1.3. Piso Débil.....	60
4.6.1.4. Viga Fuerte – Columna Débil.....	60
4.6.1.5. Capacidad Estructural Insuficiente.....	61
4.6.2. <i>Causas por Construcción</i>	61
4.6.2.1. Escaso confinamiento del refuerzo estructural	61
4.6.2.2. Ineficiente conexión estructural entre elementos	62
4.6.2.3. Participación de elementos no sismo- resistentes	62
4.6.3. <i>Causas por Falta de Seguimiento y Control por parte de Autoridades Reguladoras</i>	62
4.6.4. <i>Investigaciones Realizadas</i>	63
5. MARCO CONCEPTUAL	69
5.1. ALARGAMIENTO.....	69
5.2. BARRAS CORRUGADAS.....	69
5.3. DEFORMACIÓN ELÁSTICA.....	69
5.4. DEFORMACIÓN PLÁSTICA	69
5.5. DUCTILIDAD	69
5.6. DUREZA	69
5.7. ESTRIBOS O FLEJES.....	70
5.8. TENACIDAD.....	70
5.9. TEMPERATURA.....	70
5.10. RECEPCIÓN EN OBRA.....	70

5.11. REFUERZO ELECTROSOLDADO (MALLAS)	71
5.12. RESISTENCIA A LA FLUENCIA.....	71
5.13. SISTEMA COMBINADO.....	71
5.14. SISTEMA DUAL	71
5.15. SISTEMA DE MUROS DE CARGA	71
5.16. SISTEMAS ESTRUCTURALES	72
5.17. SISTEMA DE PÓRTICOS	72
6. OBJETIVOS.....	73
6.1. OBJETIVO GENERAL	73
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	73
7. ALCANCE Y LIMITACIONES.....	74
7.1. ALCANCE.....	74
7.2. LIMITACIONES.	74
7.2.1. <i>Geográfica</i>	74
7.2.1.1. Proyecto SAN JOAQUÍN.....	75
7.2.1.2. Proyecto XOAKÁ- RUBÍ.....	76
7.2.1.3. Proyecto SALAMANCA.....	77
7.2.1.4. Proyecto TORRE 90.	78
7.2.2. <i>Cronología</i>	79
7.2.3. <i>Conceptual</i>	79
8. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	80
8.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	80
8.2. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	80
8.2.1. <i>Fuentes Primarias</i>	80
8.2.2. <i>Fuentes Secundarias</i>	81
8.3. DISEÑO METODOLÓGICO.....	81
8.3.1. <i>Primera Etapa Visita Técnica Internacional a Panamá</i>	81
8.3.2. <i>Segunda Etapa Supervisión Técnica</i>	83
8.3.3. <i>Tercera Etapa Revisión Literaria</i>	83
8.3.4. <i>Cuarta Etapa Análisis de resultados y conclusiones finales</i>	83
9. RESULTADOS	85
10. ANALISIS DE RESULTADOS.....	119
11. CONCLUSIONES	136
12. RECOMENDACIONES.....	139
13. REFERENCIAS	141
14. ANEXOS.....	145

TABLA DE IMÁGENES

IMAGEN 1. CANAL DE PANAMÁ	13
IMAGEN 2. NIVEL DEL LAGO GATÚN.	14
IMAGEN 3. NIVEL DEL CANAL DE PANAMÁ.	15
IMAGEN 4. CANAL DE PANAMÁ.	16
IMAGEN 5. ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA Y MOVIMIENTOS SÍSMICOS DE DISEÑO.....	18
IMAGEN 6. COLAPSO DEL SEGUNDO PISO Y AFECTACIÓN DEL PRIMER PISO DEBIDO A LA IRREGULARIDAD EN PLANTA DE LA EDIFICACIÓN-JAPÓN.....	21
IMAGEN 7. COLAPSO TOTAL DEL TRAMO CENTRAL DEL PUENTE LA DEMOCRACIA PRODUCTO DEL GIRO DE SUS BASTIONES Y DE LA CORTA MESETA DE APOYO- HONDURAS.....	21
IMAGEN 8. DAÑO EN MUROS DEBIDO A PROBLEMAS DE IRREGULARIDAD-HAITÍ.....	22
IMAGEN 9. IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN PLANTA Y ELEVACIÓN-CHILE.....	22
IMAGEN 10. FALLO POR COLUMNA CORTA-HONDURAS.	23
IMAGEN 11. CONFERENCIA AMPLIACIÓN DEL CANAL DE PANAMÁ.....	26
IMAGEN 12. HALLAZGO EN VISITA TÉCNICA.....	31
IMAGEN 13. HALLAZGO EN VISITA TÉCNICA.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
IMAGEN 14. HALLAZGO EN VISITA TÉCNICA.....	32
IMAGEN 15. HALLAZGO EN VISITA TÉCNICA.....	33
IMAGEN 16. HALLAZGO EN VISITA TÉCNICA.....	33
IMAGEN 17. HALLAZGO EN VISITA TÉCNICA.....	33
IMAGEN 18. HALLAZGO EN VISITA TÉCNICA.....	35
IMAGEN 19. FALLAS GEOLÓGICAS ACTIVAS CERCANAS A LA CIUDAD DE BOGOTÁ.	37
IMAGEN 20. ZONIFICACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.....	38
IMAGEN 21. EJEMPLOS DE PUENTES COLAPSADOS POR DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES.	40
IMAGEN 22. EJEMPLOS DE PUENTES COLAPSADOS POR DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES.	41
IMAGEN 23. EDIFICIO SPACE – MEDELLÍN.	41
IMAGEN 24. HALLAZGO EN VISITA TÉCNICA.....	47
IMAGEN 25. TIPOS DE BARRAS CORRUGADAS.....	53
IMAGEN 26. MARCAS DE IDENTIFICACIÓN.	55
IMAGEN 27. ESFUERZO - DEFORMACIÓN.	56
IMAGEN 28. ESTRIBOS O FLEJES	70
IMAGEN 29. RECEPCIÓN DEL ACERO EN OBRA.	71
IMAGEN 30. PROYECTO SAN JOAQUÍN.....	75
IMAGEN 31. PROYECTO XOAKÁ - RUBÍ.	76
IMAGEN 32. PROYECTO SALAMANCA.....	77
IMAGEN 33. PROYECTO TORRE 90.....	78
IMAGEN 34. VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL.	114
IMAGEN 35. VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL.	114
IMAGEN 36. VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL.	115
IMAGEN 37. VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL.	115
IMAGEN 38. VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL.	116
IMAGEN 39. VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL.	116

IMAGEN 40. VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL.	117
IMAGEN 41. VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL.	117
IMAGEN 42. VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL.	118
IMAGEN 43. VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL.	118
IMAGEN 44. PROBLEMA ESTRUCTURAL DE ESCLUSAS.	124

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. ALTERACIONES DEL ACERO.	46
TABLA 2. RESUMEN DE REQUISITOS MÍNIMOS DE RESISTENCIA DE LA ASTM.....	54
TABLA 3. DESCRIPCIÓN DE INVESTIGACIÓN 1.....	64
TABLA 4. DESCRIPCIÓN DE INVESTIGACIÓN 2.....	66
TABLA 5. DESCRIPCIÓN DE INVESTIGACIÓN 3.....	68
TABLA 6. PRESUPUESTO DEL TRABAJO Y RECURSOS FINANCIEROS. ... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
TABLA 7. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 1.....	85
TABLA 8. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 2.....	86
TABLA 9. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 3.....	87
TABLA 10. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 4.....	88
TABLA 11. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 5.....	89
TABLA 12. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 6.....	90
TABLA 13. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 7.....	91
TABLA 14. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 8.....	92
TABLA 15. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 9.....	93
TABLA 16. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 10. FUENTE: PROPIA	94
TABLA 17. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 11.....	95
TABLA 18. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 12.....	96
TABLA 19. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 13.....	97
TABLA 20. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 14.....	98
TABLA 21. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 15.....	99
TABLA 22. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 16.....	100
TABLA 23. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 17.....	101
TABLA 24. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 18.....	102
TABLA 25. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 19.....	103
TABLA 26. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 20.....	104
TABLA 27. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 21.....	105
TABLA 28. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 22.....	106
TABLA 29. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 23.....	107
TABLA 30. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 24.....	108
TABLA 31. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 25.....	109
TABLA 32. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 26.....	110
TABLA 33. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 27.....	110
TABLA 34. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 28.....	111
TABLA 35. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 29.....	112
TABLA 36. CONTROL DE HALLAZGOS ESTRUCTURALES 30.....	113
TABLA 37. ENSAYOS PARA BARRAS DE ACERO.	120
TABLA 38. ENSAYOS PARA MALLAS ELECTROSOLDADAS. FUENTE: PROPIA.	121
TABLA 39. ENSAYOS PARA ALAMBRE GRAFILADO.....	122
TABLA 40. MATRIZ VESTER.	132
TABLA 41. MATRIZ VESTER. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	

TABLA 42. RESULTADOS RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE BARRAS DE 3/8" Y 1/2" DE DIÁMETRO OBRA XOACA RUBI. FUENTE PROPIA.	145
TABLA 43. RESULTADOS RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE BARRAS DE 3/8" Y 1/2" DE DIÁMETRO OBRA TORRE 90. FUENTE PROPIA	146
TABLA 44. RESULTADOS RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE BARRAS DE 3/8" Y 1/2" DE DIÁMETRO OBRA TORRE 90. FUENTE PROPIA	147
TABLA 45. RESULTADOS RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE BARRAS DE 3/8" Y 1/2" DE DIÁMETRO OBRA SAN JOAQUIN. FUENTE PROPIA.	148

LISTA DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. RESISTENCIA A LA FLUENCIA FUENTE PROPIA.	149
GRÁFICA 2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. FUENTE PROPIA.....	150

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enfocará en la importancia de analizar la vulnerabilidad de los aceros utilizados como refuerzo en la ejecución de proyectos de ingeniería en Colombia; ya que se encuentran en constante amenaza por la exposición de agentes tanto físicos como químicos, causando afectaciones en las propiedades mecánicas de estos elementos estructurales. Se hará énfasis en la problemática de la corrosión y la fatiga del acero como patologías más frecuentes por el mal e inadecuado trato de este material durante la construcción de proyectos de ingeniería.

El acero es un material de gran importancia en las diferentes actividades de la construcción en Colombia y es cada vez más utilizado en este sector debido a sus propiedades y diferentes formas dadas a sus cualidades, sin embargo, la presencia de malas prácticas durante los procesos constructivos puede ocasionar alteraciones o daños en el acero que pueden tener resultados negativos en la estabilidad estructural de las obras. No obstante, debido al deterioro de este material se han presentado grandes fallas estructurales, de diseño o materiales, durante el desarrollo de la infraestructura lo cual ha generado una gran preocupación en el territorio colombiano, debido a las malas prácticas ejecutadas al momento de utilizar este material como elemento constructivo y al no contar con los estándares de calidad exigidos por los diseños técnicos estructurales.

Las barras de acero suministran resistencia a la tensión en las estructuras. Desde el año 2012, el Gobierno expidió el Reglamento Técnico para este material, donde se destacan los requisitos mínimos de calidad así como su composición química (OJO CON LA CALIDAD DEL ACERO, 2018).

En Colombia, para llevar a cabo un proyecto se deben tener en cuenta ciertas características que cumplan con diseños técnicos estructurales. No solo es de vital importancia su aspecto, sino que adicionalmente debe contar con las normas técnicas que asegurarán que los proyectos sean construidos teniendo en cuenta fenómenos naturales, es decir, que cumpla con las condiciones sismo resistente. A

nivel nacional, la ley que regula las construcciones es la NSR-10, la cual hace referencia al adecuado uso de los materiales, las licencias requeridas y los seguimientos estructurales que permitan garantizar seguridad a las poblaciones ante la presencia de un evento natural (LO QUE DEBE SABER SOBRE SISMORRESISTENCIA, 2019).

Este documento contiene la propuesta de trabajo de grado, donde se plantea realizar un análisis de la vulnerabilidad del acero empleado en sistemas constructivos debido al mal manejo de este material. Con este análisis se pretende obtener un mayor control en el proceso de armado de acero de refuerzo de elementos estructurales, evaluando la calidad del material por medio de las diferentes revisiones técnicas en los proyectos (Conjunto Residencial Xoaca-Rubí, Conjunto residencial San Joaquín, Conjunto Residencial Saloní, Conjunto residencial Salamanca y Edificio Torre 90), estas visitas técnicas arrojarán resultados que permitan obtener un panorama sobre esta problemática estructural; y así identificar los procesos constructivos inadecuados que afectan la calidad del acero haciendo deficiente las funciones de dicho material.

De igual manera, el proceso de este documento estará soportado por la revisión de varios artículos que brindaran información acerca del avance tecnológico para la mitigación de patologías del acero tales como la corrosión y la fatiga de este material.

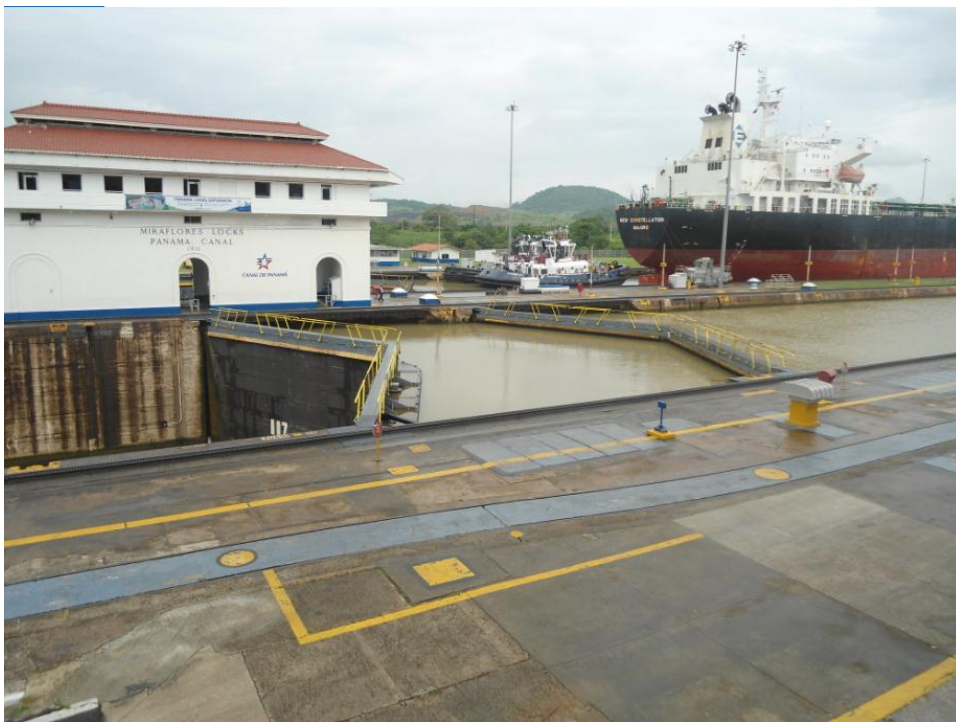
Se analiza y se logra establecer la incidencia de variables que alteran las propiedades mecánicas del acero en los procesos constructivos, en términos generales se podrá contrastar según las exigencias técnicas de las normas colombianas (NSR-10, NTC,) con los resultados arrojados en las revisiones técnicas a realizar en dichos proyectos. Cabe destacar que se presentaron limitaciones debido a que el enfoque de este trabajo será descriptivo más no experimental, lo cual significa un aporte en el tema de la importancia de realizar un control de calidad y uso adecuado del acero en cualquier tipo de sistema constructivo, lo que

contribuye a la calidad de las construcciones y a la identificación de posibles errores en el uso inadecuado de este material.

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El canal de Panamá, está siendo objeto de una ampliación a través de grandes obras de ingeniería que se están desarrollando y llevando a cabo durante los últimos tiempos; a raíz de este plan de modernización se ha podido observar la afectación sobre sus recursos hídricos. Es el caso de la intrusión marina presente en el lago Gatún, ocasionada por la ejecución del proyecto, presento inconvenientes tanto a nivel social como ambiental, ya que las poblaciones aledañas están siendo vulneradas por el aumento en los niveles de sales presentes en el lago, de donde estas comunidades solventan sus necesidades.

Imagen 1. Canal de Panamá

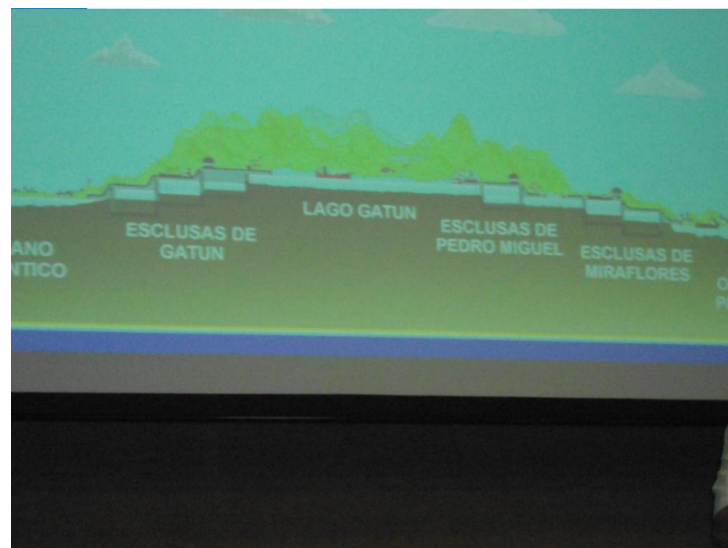


Fuente: Propia.

Una de las problemáticas ambiental y social a las que se enfrentó el istmo panameño durante la ejecución del proyecto, fue la Intrusión marina sobre el lago Gatún, lo cual producía una notable amenaza durante y después de la construcción

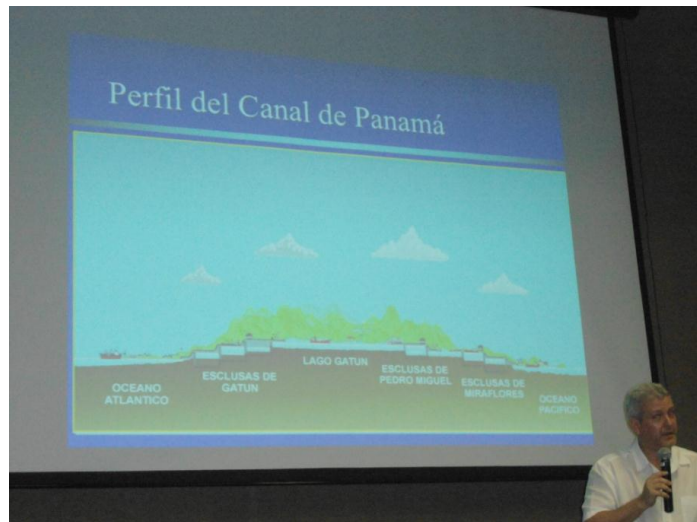
de la estructura de las esclusas. Este fenómeno ocasionaba la presencia de patologías en el acero estructural como la corrosión. Debido a su vulnerabilidad a la corrosión, el acero debe cumplir con unos recubrimientos mínimos de concreto u otros materiales que le permitan al acero un previo aislamiento de agentes que puedan alterar su comportamiento estructural (COMPARACION TECNICO-FINANCIERA DEL ACERO ESTRUCTURAL Y EL HORMIGON ARMADO, 2008).

Imagen 2. Nivel del lago Gatún.



Fuente: Propia.

Imagen 3. Nivel del Canal de Panamá.



Fuente: Propia.

La intrusión marina está presente en varias regiones del mundo, generando afectaciones sobre los cuerpos de agua dulce, alteraciones físico-químicas de este recurso indispensable para el desarrollo de proyectos de ingeniería que por su localización geográfica están ligados al comportamiento de estos cuerpos hídricos.

“La intrusión salina se caracteriza por la penetración de sales en cuerpos de agua dulce, cantidad de entrada de agua salada, de la dispersión y de la permeabilidad del acuífero. La forma y extensión dependerá de varios factores como la geometría del acuífero, propiedades hidráulicas, recarga hídrica del acuífero” (Botero Acosta, 2015).

Para entrar en contexto de la problemática “Hasta el año 2000 existía poca información disponible sobre este problema. Datos históricos de salinidad no están disponibles, probablemente porque no se había detectado este fenómeno de incremento de la salinidad” (Rodríguez Vargas, 2002).

No obstante, estudios indicaron niveles mínimos de salinidad en las aguas del canal de Panamá (Gunter, 1979).

“Investigaciones del U. S. Army Corps of Engineers comienzan a develar la magnitud del problema” (Rodriguez Vargas, 2002).

Para determinar el comportamiento de la intrusión, se emplean como estrategias de control y revisión modelos matemáticos SWINLOCKS, los cuales “hacen un análisis sobre el intercambio de sal entre las esclusas (océano pacífico y atlántico) y los lagos, tomando en cuenta todos los procesos empíricamente. Esto ha sido demostrado mediante una serie de simulaciones hidrodinámicas de la intrusión de agua salada” (DHI Water & Environment , 2005).

Actualmente la instrumentación y métodos indirectos se sustentan en criterios técnicos sobre la conductividad y temperatura del agua, los cuales han permitido determinar con exactitud los niveles de sales presentes en los lagos. Por eso actualmente se conoce que el Lago Gatún alcanza niveles de salinidad que van desde 0.04 hasta 0.07 ppm de salinidad, induciendo a determinar que existe una fuente salina, apuntando a que efectivamente se trata de la intrusión salina a través de las esclusas (Universidad de Panama, y otros, 2003).

Imagen 4. Canal de Panamá.



Fuente: Propia.

Es importante realizar una investigación sobre los impactos que se presentan debido a la intrusión salina en cuerpos de agua dulce, puesto que la modificación de su composición química puede presentar alteraciones en el acero de refuerzo empleado para los diferentes elementos estructurales, el cual, al estar expuesto al ataque de agentes externos puede llegar a desarrollar patologías como la corrosión y presentar alteraciones en sus propiedades mecánicas las cuales juegan un papel fundamental sobre la estabilidad de las estructuras.

Los factores ambientales juegan un importante papel sobre el acero, afectando directamente a ese tipo de material. El acero en contacto con diferentes elementos climáticos como la temperatura, sales, ciclos húmedos y secos, pH del medio, velocidad del viento y naturaleza de los productos de corrosión formados sobre la superficie metálica (Estudio sobre la influencia del Cromo en la velocidad de Corrosión de los Aceros, 2009).

La corrosión tiene importancia social debido al número de accidentes provocados por la corrosión presente en el acero de refuerzo, lo cual conlleva al deterioro del material e importancia tecnológica debido a la dificultad de obtener el hierro de la naturaleza para la elaboración de los diferentes aceros estructurales (Estudio sobre la influencia del Cromo en la velocidad de Corrosión de los Aceros, 2009).

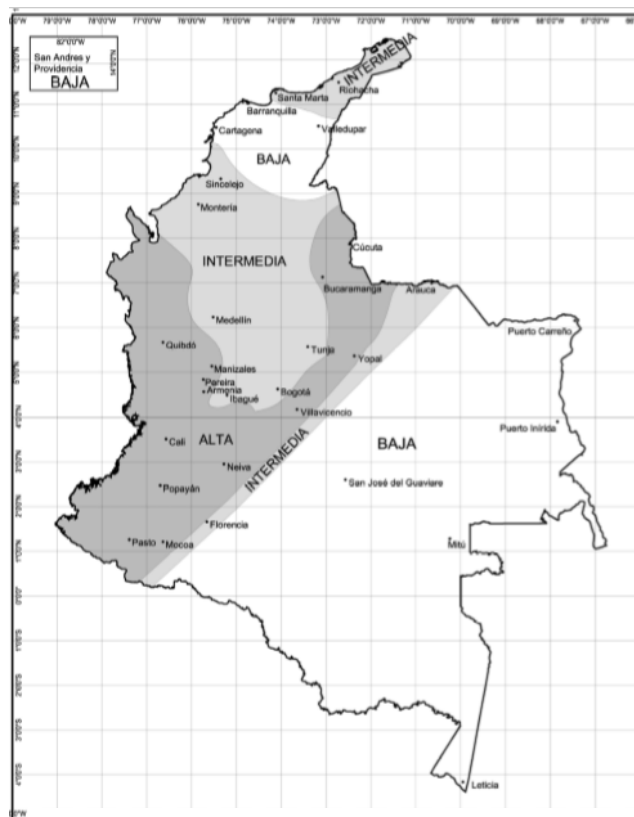
El acero de refuerzo con presencia de diferentes patologías es una causa inminente ante deterioro de la estructura, la capacidad de que el acero permanezca en óptimas condiciones es importante para garantizar la durabilidad y estabilidad estructural. (ESTUDIO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO EMBEBIDO EN CONCRETO AAS SOMETIDO A CLORUROS, 2009).

El acero de refuerzo para los elementos estructurales es un material de fabricación industrializada. Se caracteriza por una elevada resistencia en sus propiedades mecánicas como, rigidez y ductilidad, por lo cual su uso garantiza la estabilidad

para construcciones sismorresistentes. Es importante recordar que la ductilidad del material representa su capacidad de soportar deformaciones plásticas sin alterar su resistencia (Crisafulli, 2018).

Analizando el territorio el “85% de la población colombiana se concentra en zonas de amenaza sísmica alta y media” (LO QUE DEBEMOS SABER DEL ACERO DE REFUERZO EN EDIFICACIONES DE MEDIANA ALTURA, 2018). Ante un eventual sismo, las edificaciones que no cuentan con materiales certificados pueden presentar una amenaza estructural inminente, afectando la seguridad e integridad de las poblaciones. En construcciones sismo resistentes el acero es de vital importancia para garantizar la resistencia estructural de las edificaciones.

Imagen 5. Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño



Fuente. (NSR-10)

La calidad en la instalación del acero es un factor esencial al momento de definir la estabilidad del proyecto. Por tales motivos surge la necesidad de llevar a cabo revisiones técnicas pertinentes en cuestiones tales como, el armado de acero de refuerzo en muros estructurales, pantallas, vigas de cimentación, vigas aéreas, mampostería estructural, placas de entre piso, entre otros elementos que componen un sistema constructivo y así de esta manera poder controlar la calidad y el armado tal como se indica según las exigencias y especificaciones técnicas de diseño y el cumplimiento de la normatividad vigente.

Las fibras de acero se han utilizado para reforzar diversos materiales de construcción desde la antigüedad. El acero, es un material muy requerido en el sector de la construcción, debido a su importancia se han realizado nuevas investigaciones para mejorar sus propiedades mecánicas (Behavior of composite self-compacting concrete (SCC) reinforced with steel wires from waste tires, 2018). Es evidente que en cualquier sistema constructivo el uso inadecuado del acero se hace presente; es decir, malos procedimientos e inadecuadas prácticas al momento de ejecutar actividades programadas para el avance de la obra, como por ejemplo, se corta el refuerzo estructural de elementos por ubicación de pases eléctricos y sanitarios, se realizan dobleces del refuerzo por personas no capacitadas, no se cumple con las longitudes de traslapes de las barras, acero expuesto por hormigqueo del concreto, cuantía que no coincide con los diseños estructurales, almacenamiento con exposición a agentes físicos y químicos, teniendo como resultado final la alteración, afectación del acero y el deterioro de los elementos que componen la estructura.

“Durante la ejecución de la estructura hay que controlar que el comportamiento de los materiales que se están utilizando sea el que se determinó en los ensayos previos y que los procedimientos de construcción se ajusten a las especificaciones de diseño, haciendo los correctivos adecuados cuando los resultados se aparten de los requisitos” (Londoño Velasquez, 1997).

En general el control de calidad y los adecuados procedimientos constructivos con respecto al acero, es una actividad de suma importancia para evitar errores a corto y largo plazo sobre las estructuras para de esta manera garantizar que los

proyectos cumplan con las especificaciones técnicas.

Todo tipo de obra de infraestructura está ligada a presentar un colapso por un evento natural, debido a conceptos tales como de la Amenaza Sísmica, su vulnerabilidad sísmica y su capacidad sismo-resistente; El primer factor amenaza sísmica, por su naturaleza es imposible de controlar por el ser humano, el segundo factor en algunas ocasiones se puede tomar acciones para mitigar sus acciones sobre las estructuras y el tercer factor capacidad sismo-resistente, está en manos de todo el personal encargado del desarrollo de los proyectos (Carvajal Soto, 2012).

Los daños ocasionados por eventos naturales, permiten evidenciar posibles causas que ponen en manifiesto la importancia del papel que tiene una adecuada supervisión técnica sobre el control de calidad en el desarrollo de las obras, reduciendo el riesgo de que las estructuras colapsen.

Partiendo de los daños estudiados *in situ* después de los eventos naturales ocurridos en: Managua-1972, Costa Rica-2009, Honduras-2009, Haití-2010, Chile-2010, Japón-2011 y recientemente Costa Rica-2012, se ha podido identificar y analizar una serie de causas que ponen en manifiesto la importancia de la capacidad estructural dentro de la reducción del riesgo (Carvajal Soto, 2012).

Imagen 6. Colapso del segundo piso y afectación del primer piso debido a la irregularidad en planta de la edificación-Japón.



Fuente.https://www.academia.edu/17288749/An%C3%A1lisis_de_las_Principales_Causas_de_Da%C3%B1o_Estructural_durante_Terremotos

Imagen 7. Colapso total del tramo central del puente La Democracia producto del giro de sus bastiones y de la corta meseta de apoyo-Honduras.



Fuente.https://www.academia.edu/17288749/An%C3%A1lisis_de_las_Principales_Causas_de_Da%C3%B1o_Estructural_durante_Terremotos.

Imagen 8. Daño en muros debido a problemas de irregularidad-Haití.



Fuente.https://www.academia.edu/17288749/An%C3%A1lisis_de_las_Principales_Causas_de_Da%C3%B1o_Estructural_durante_Terremotos.

Imagen 9. Irregularidad estructural en planta y elevación-Chile.



Fuente.https://www.academia.edu/17288749/An%C3%A1lisis_de_las_Principales_Causas_de_Da%C3%B1o_Estructural_durante_Terremotos.

Imagen 10. Fallo por columna corta-Honduras.



Fuente: https://www.academia.edu/17288749/An%C3%A1lisis_de_las_Principales_Causas_de_Da%C3%B1o_Estructural_durante_Terremotos.

Luego del análisis se ha podido determinar las causas de daño clasificándolas de la siguiente manera:

- ✓ Por **Diseño**, relacionada con la estructuración empleada
- ✓ Por **Construcción**, relacionada con las prácticas constructivas y de supervisión.
- ✓ Por **Seguimiento y Control** por parte de la supervisión técnica en la actividad constructiva.

Investigaciones que se han realizado anteriormente en cuestionamiento a la presencia de falencia estructural sobre el acero de refuerzo en las edificaciones debido a la presencia de eventos naturales son las siguientes:

“Diseño y análisis estructural de edificio de hormigón armado para resistir colapso progresivo, debido a una carga anormal producida por un tsunami” (2015). Trabajo Especial de grado. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Presentado por el Ing. Diego Quezada, en el cual se estudió la capacidad que presenta un edificio de concreto armado, sísmicamente diseñado, para evitar el colapso, debido a la carga producida por un tsunami (Carvajal Soto, 2012).

Este trabajo consideró dos estructuras de concreto armado de distintas alturas, evaluando la relación demanda-capacidad, de acuerdo a los criterios de la administración de servicios generales de los Estados Unidos. Se llevó a cabo el análisis estático lineal de las estructuras a través de software estructural SAP 2000, de acuerdo con los códigos estándar de construcción de Chile, para estudiar el colapso de la estructura las columnas típicas se eliminaron una a la vez, y se continúa con el análisis y diseño, calculando las fuerzas de los elementos del acero de refuerzo de cada uno de los elementos estructurales.

“Búsqueda de patrones mecánicos en edificios de planta irregular al presentarse una falla local en una de sus columnas” (2015). Trabajo Especial de grado. UCAB. Presentado por los ingenieros Ainara Dolmen y Juan Tamargo, en el cual se investigó la influencia que tiene la configuración en planta en una estructura cuando ocurre una falla en una de sus columnas. Se trabajó con fallas en donde la columna pierda la capacidad de proporcionar soporte a la estructura, simulando este efecto al eliminar todas las restricciones en la base de la misma (Carvajal Soto, 2012).

Las configuraciones en planta seleccionadas para este estudio son tipo H, U y L, en cada una de ellas se analiza el efecto de del tipo de columna a fallar, según la ubicación dentro de la estructura, y se realiza el análisis de cada caso por separado, con el fin de evaluar la influencia de la altura, se modelan edificios de 5, 10 y 15 niveles para las tres plantas mencionadas.

Este trabajo está principalmente enfocado hacia el estudio de las redistribuciones

de esfuerzos al generarse la falla y la vulnerabilidad estructural.

“Aplicabilidad de las recomendaciones para colapso progresivo en estructuras prefabricadas en zonas sísmicas”. Universidad Nacional de Colombia – Universidad Karlsruhe. La investigación presentada por el Ing. Luis Gonzalo Mejía C, en la cual se presentó recomendaciones a estructuras que poseen elementos prefabricados y que se encuentran ante la presencia de un colapso, estudiando la aplicación de amarres o refuerzo propuestos para prevenir el colapso de las estructuras (Carvajal Soto, 2012).

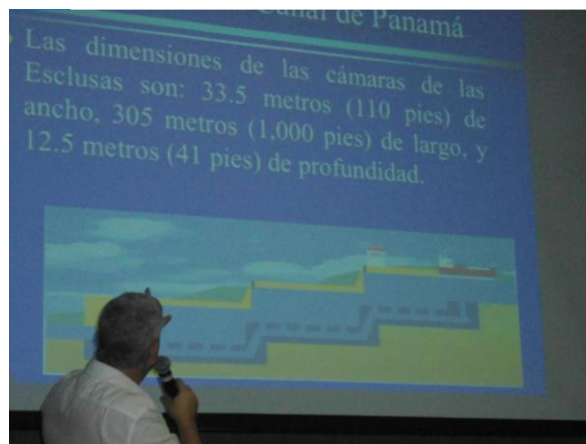
“Análisis de colapso progresivo en estructuras de concreto por ocurrencia de eventos extraordinarios” (2016). Universidad Católica Andrés Bello. Presentado por los ingenieros Carlos David Dolores y Michelangelo Minervini. El proceso que se presentó en este trabajo fue enfocado en la comparación de la respuesta estructural entre el caso en el cual, la estructura no presente ningún tipo de falla local en sus elementos principales y los casos en el cual esta se encuentra presente, de tal manera, se observó y se analizó como estas edificaciones redistribuían los esfuerzos actuantes sobre la estructura, analizando de forma gráfica la variación de patrones que se generan en las estructuras afectadas por la falla local (Carvajal Soto, 2012).

Este trabajo inicia en el año 2016-III con una visita técnica al canal de Panamá, dirigida por la facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Colombia. El motivo de esta visita estuvo orientada a la ampliación del canal “construcción del tercer juego de esclusas”. Durante esta visita se desarrollaron conferencias las cuales presentaron ejes temáticos como: análisis de vulnerabilidad constructiva, ambiental, desarrollo sostenible del proyecto, afectaciones sociales, materiales empleados durante la ejecución del proyecto, entre otras. Esto con el fin de obtener un intercambio de tecnología la cual conlleve a una identificación de problemáticas constructivas que quizás en Colombia se pueden presentar por el avance de nuevos proyectos de ingeniería.

Entre las innovaciones técnicas destacables en La Ampliación del Canal de Panamá, se destacan los enormes volúmenes de obra, magnitudes que hacen del nuevo Canal una mega obra de ingeniería. Estos volúmenes requirieron de una planificación detallada tanto de la supervisión técnica como de ejecución de la obra.

Las nuevas esclusas han sido sin duda un proyecto en donde la innovación ha jugado un papel primordial en el éxito del proyecto. Entre las innovaciones de los elementos estructurales más significativos se puede destacar los materiales empleados y los procedimientos constructivos desarrollados referentes a la ejecución. En la dosificación del hormigón y al tipo de acero de refuerzo utilizado para la construcción de los elementos que ameritan de su presencia, también ha sido necesario implementar medidas innovadoras que permitieran un óptimo comportamiento estructural para el Canal.

Imagen 11. Conferencia ampliación del Canal de Panamá.



Fuente: Propia.

Es allí, donde se genera la idea de realizar una investigación sobre la vulnerabilidad constructiva del acero de refuerzo por las malas prácticas realizadas durante la ejecución de los proyectos en Colombia y poderla comparar con problemáticas

similares que se evidenciaron durante la ampliación del canal de Panamá. La capacidad de innovación tecnológicamente capaz de lograr una mejora de los procesos de construcción o puesta en obra, cuya mejora exige una supervisión y control sobre cada uno de los elementos que componen estructuralmente el Canal.

El desarrollo de un país va ligado al comportamiento del sector de la construcción, es decir, de la operación y del mantenimiento de su infraestructura; en ésta se incluyen: viviendas, vías de comunicación, centros de salud, centros de educación, fabricas, etcétera.

No obstante, para lograr alcanzar un óptimo desarrollo en el sector de la construcción, resulta claro la elaboración de un plan de control en cada uno de los procesos de la ejecución de los proyectos. La calidad de las estructuras de concreto reforzado no solo depende de los mejores materiales ni de las prácticas de diseño, sino que además dependen de la mano de obra utilizada en la construcción. La supervisión técnica resulta de gran necesidad para confirmar que la construcción se ajuste a los planos de diseño y las especificaciones de diseño.

Para el caso de la evaluación y aceptación del acero de refuerzo debe ensayarse muestras representativas del acero a utilizar en cada uno de los elementos estructurales del proyecto, como de igual forma, llevar acabo la supervisión en cada una de las actividades estructurales para garantizar la calidad en los procesos constructivos.

Por tal motivo, esta investigación resulta muy beneficiosa ya que, al analizar la calidad del proceso de manejo del acero en la formación del refuerzo de elementos estructurales, se podrá generar conciencia al gremio de la construcción con respecto a la importancia de cumplir con las especificaciones técnicas que la norma colombiana establece y al compromiso del profesional responsable de los proyectos y del personal capacitado para el uso adecuado del material.

Para comprobar los errores constructivos con respecto al acero (acero expuesto,

acero maltratado, entre otros), se han realizado visitas a cuatro (4) proyectos de vivienda en ejecución de las cuales cuatro (3) de ellas se encuentran ubicadas en la ciudad de Bogotá y una (1) en Cundinamarca en el municipio de Nemocón. Estas visitas han tenido como objeto la supervisión técnica en el proceso de ejecución de las obras, durante el último trimestre del año 2018 y primer trimestre del año 2019 para un total de 180 días de seguimiento en el avance y control de calidad de los proyectos. La descripción de los proyectos se presenta en las limitaciones geográficas del presente documento.

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. Situación del problema

Durante las últimas décadas, el avance en la infraestructura del territorio colombiano ha sido evidente, ya que diferentes regiones del país apuestan a crecer a través de proyectos de vivienda, centros comerciales, hospitales, entre otras; por tal motivo el sector de la construcción en el país presentaría un auge durante los próximos años.

En Colombia, uno de los materiales más empleados para cumplir con las especificaciones sísmicas en la ejecución de proyectos de obras civiles o de construcción es el acero, el cual debe cumplir con unos criterios técnicos. Estos aceros deben cumplir con unas exigencias mínimas según la norma de sismo resistencia NRS-10 y la NTC 2289. La cuales hacen referencia a la calidad del material en su resistencia y durabilidad.

En todo el mundo, las estructuras de hormigón están reforzadas por barras de acero o barras de refuerzo. Los requisitos de diseño de estas estructuras se definen normalmente mediante códigos de construcción basados en prácticas estructurales y demandas ambientales. A su vez, estos códigos a menudo hacen referencia a algunos estándares de barras de refuerzo que definen características tales como, dimensiones, propiedades mecánicas y composición química (An Investigation of the Suitability of Using AISI 1117 Carbon Steel in a Quench and Self-Tempering Process to Satisfy ASTM A 706 Standard of Rebar, 2011).

Un claro ejemplo del desarrollo en la infraestructura se evidencia en el territorio panameño con La Ampliación del Canal de Panamá, en donde la tecnología constructiva conlleva a la necesidad de innovar en los procedimientos constructivos tanto en el control de calidad de los materiales empleados como en la forma de ser estos utilizados. Hay que tener en cuenta que el tercer juego de esclusas combina una obra civil de grandes volúmenes de gran magnitud y de elevada complejidad. Efectivamente, este proyecto es considerado como un proyecto de ingeniería de gran envergadura debido a

la particular naturaleza del proyecto. Sus dimensiones y las interferencias entre disciplinas y actores plantearon retos que motivaron la adopción de medidas innovadoras y creativas que permitieron el control no solo de retos técnicos, sino también reto humano y de gestión del proyecto.

Por lo tanto, la metodología a seguir para la puesta en marcha del proyecto debía seguir estándares y procedimientos internacionales como los utilizados en proyectos de construcción. Este proceso de puesta en marcha siguió por tanto una metodología de integración de sistemas donde se debían verificar y controlar todos los requisitos del proyecto, prestando especial atención en la adecuación de los materiales seleccionados en el diseño estructural del proyecto.

No obstante, estudios de vulnerabilidad en diferentes proyectos ejecutados y en proceso de ejecución se ha podido observar problemáticas relacionadas con la calidad en el manejo y disposición del acero, lo cual es un factor de suma importancia para la calidad y estabilidad de cualquier proyecto. Cabe indicar que todo proceso constructivo efectuado para un determinado proyecto debe cumplir con las exigencias requeridas por la norma. Con respecto a esta situación se evidencia una divergencia entre las especificaciones técnicas de calidad del acero exigidas por las normas y las condiciones en las que realmente se ejecutan durante el proceso de construcción del proyecto; esto es resultado de una inadecuada supervisión técnica en los procesos constructivos trayendo consigo errores que pueden terminar en el colapso de las estructuras.

No obstante, bajo un riguroso seguimiento a la revisión de los planos estructurales y despieces, así como la supervisión para la ejecución con base en los planos estructurales de diseño y a la inspección de la misma, con relación al control de calidad de materiales implementados en obra, se permitirá tener un mejor producto al momento de realizar obras de ingeniería.

Se entiende por "Supervisión Técnica a la verificación de la ejecución de la

construcción de la estructura de la edificación, a los planos, diseños y especificaciones realizadas por el diseñador estructural” **(NSR-10)**.

Bajo este contexto, por una inadecuada y mal planificada supervisión y revisión técnica en los procesos constructivos, se observan diferentes falencias constructivas como se observan en las siguientes imágenes:

Imagen 12. Hallazgo en visita técnica.



Acero de refuerzo de muro estructural maltratado lo cual fatiga el material y altera sus propiedades mecánicas iniciales.

Fuente: Propia.

Imagen 13. Hallazgo en visita técnica.



Se evidencia corte de malla de refuerzo estructural por punto eléctrico y la acción correctiva no cumple con las exigencias técnicas debido a que los grafiles de reposición no presentan la cuantía y la longitud de desarrollo.

Fuente: Propia.

Imagen 14. Hallazgo en visita técnica.



Acero mal almacenado expuesto a agentes químicos y físicos, conllevando a posibles manifestaciones de corrosión en el material, lo cual impide una adherencia óptima con el concreto.

Fuente: Propia.

Imagen 15. Hallazgo en visita técnica.



Viga de confinamiento sin refuerzo superior ni flejes.

Fuente: Propia.

Imagen 16. Hallazgo en visita técnica.



Refuerzo sin recubrimiento por lo cual está expuesto a agentes externos.

Fuente: Propia.

Imagen 17. Hallazgo en visita técnica.

Imagen 18. Hallazgo en visita técnica.



Acero de refuerzo de vigueta de cimentación cortó.

Fuente: Propia.

Imagen 19. Hallazgo en visita técnica.



Acero de refuerzo de muro de contención corto y sin escuadra para llegar a viga de cimentación.

Fuente: Propia.

Una vez efectuada la supervisión técnica, donde se evalúa el proceso constructivo de los Proyectos visitados, se indicaron recomendaciones y se dieron a conocer los hallazgos de no conformidad encontrados en las diferentes actividades constructivas las cuales fueron informadas a la dirección del proyecto por medio de un informe de obra consignado en los **ANEXOS** del presente documento, con el objeto de direccionar los procesos al cumplimiento de los diseños y especificaciones técnicas establecidas en los mismos. Las recomendaciones y / u observaciones se debieron poner en marcha en el menor tiempo posible, con el fin de corregir los aspectos más relevantes que fueron encontrados y así evitar que se presenten inconvenientes o afectaciones significativas en la estructura.

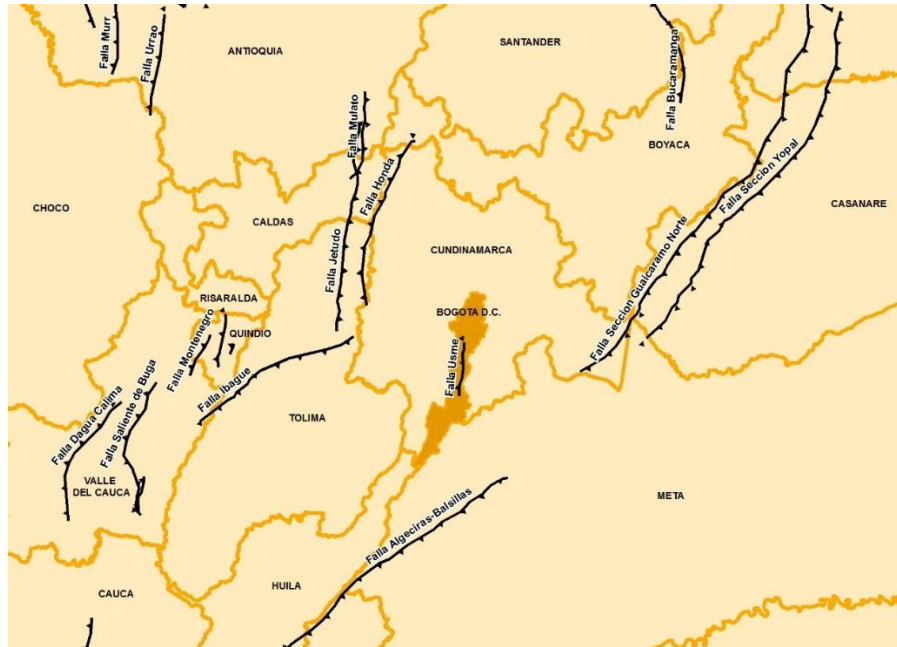
La normatividad del territorio colombiano, tiene razón primordial proteger la

integridad de las personas ante sucesos naturales como lo es un sismo el cual ha sido un gran generador de colapsos de estructuras existentes y en proceso de construcción. De esta manera, la importancia del cumplimiento riguroso de dicha normatividad es de gran interés al momento de diseñar y calcular una estructura, la cual tendrá la funcionalidad de suplir las necesidades básicas para lograr el objetivo principal de dicha reglamentación.

Con el cumplimiento de la norma, se busca minimizar la vulnerabilidad de las estructuras existentes del territorio colombiano ante un suceso sísmico y de esta manera amparar la mayor cantidad de vidas humanas que sean posibles. Es esencial resaltar que, Bogotá, ciudad donde están situadas (3) tres de las estructuras a estudiar, pertenece a una zona de amenaza sísmica intermedia. La ciudad de Bogotá presenta una notable actividad sísmica generada por los sistemas activos de fallas geológicas existentes en el territorio colombiano, su grado de exposición está en función de la distancia de la capital a éstos sistemas, tales como el sistema de Falla Frontal de la Cordillera Oriental (Falla Guaicáramo, Falla Algeciras), Falla Usme, Honda e Ibagué (Climático, 2019).

De estos, la Falla Frontal de la Cordillera Oriental, ubicada a 40 km de la capital de Colombia, representa la mayor amenaza sísmica de Bogotá. Dada su localización con respecto a los distintos sistemas, Bogotá se encuentra localizada en una zona de amenaza intermedia (Climático, 2019).

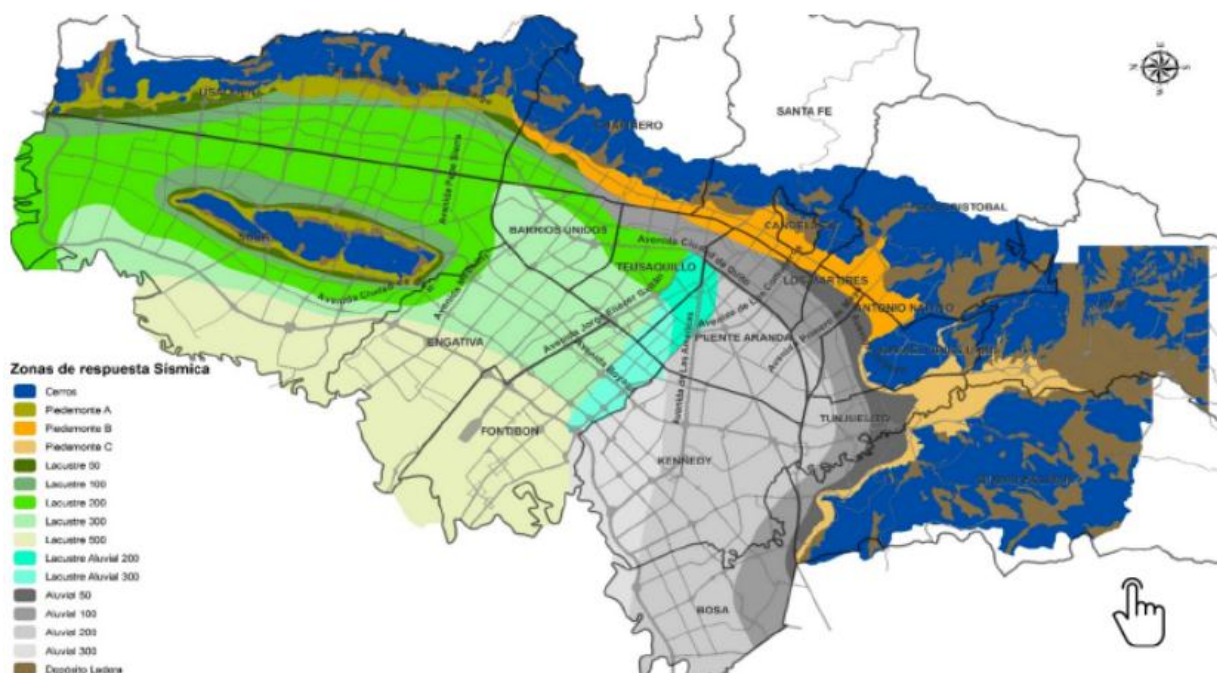
Imagen 20. Fallas geológicas activas cercanas a la ciudad de Bogotá.



Fuente: <https://www.idiger.gov.co/rsismico#evaluacion>.

En Bogotá se han realizado estudios de respuesta dinámica de los suelos por la presencia de actividad sísmica. A partir de las microzonificación sísmica, se han definido parámetros de sismo resistencia para el diseño y análisis de edificaciones (Climático, 2019).

Imagen 21. Zonificación de la respuesta sísmica de los suelos de la ciudad de Bogotá D.C.



Fuente: <https://www.idiger.gov.co/rsismico#evaluacion>

Bogotá ha experimentado eventos naturales que han generado pérdidas humanas y daños sobre la infraestructura de la ciudad. Es importante resaltar que los daños que puede causar un sismo dependen en parte primordial de la forma en la que se construyen las edificaciones. Es el caso de algunos de los siguientes ejemplos de estructuras que colapsaron por deficiencias estructurales y de diseño en el territorio colombiano.

Según estudios realizados por entidades como la Universidad Nacional de Colombia- sede Bogotá, contratados por el INVIAS y otras entidades para determinar las causas de las fallas de algunos puentes metálicos y de concreto, al analizar las causas de los colapsos en las estructuras se encuentra un porcentaje importante de fallas por deficiencias en el diseño estructural, sobre todo en puentes de estructura metálica (14% sin incluir los puentes colapsados por atentados terroristas). se pueden identificar las siguientes deficiencias estructurales típicas

(ESTUDIO DE LAS CAUSAS DEL COLAPSO DE ALGUNOS PUENTES EN COLOMBIA, 2017):

- En puentes de arco en acero, los elementos principales de arco no cumplen con relaciones ancho espesor presentando un pandeo local y presentan esfuerzos actuantes mayores a los permitidos según la NSR-10.
- Elementos de arco diseñados solamente a compresión y no revisados para efectos combinados de flexión biaxial más compresión.
- Modelos estructurales incompletos que no cumplen con los diseños técnicos. En el caso de puentes con arcos es importante un modelo tridimensional que tenga en cuenta la flexión fuera del plano que puede ser del mismo orden de la flexión en el plano.
- Selección errónea del factor de longitud efectiva para la evaluación del pandeo general de la parte inicial de los elementos de un arco.
- Puentes de armadura en acero sin una evaluación de estabilidad.
- Deficiencia de análisis y diseño de las uniones en puentes metálicos.
- Diseños que no tienen en cuenta consideraciones de fatiga para los elementos y las uniones.
- Falta de mantenimiento preventivo de puentes de acero.
- Soldaduras sin un adecuado diseño.

Imagen 22. Ejemplos de puentes colapsados por deficiencias estructurales.



(c) Puente Los Angeles



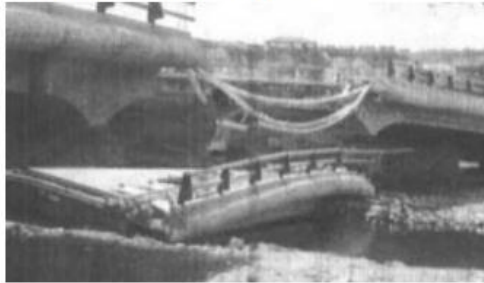
(a) Puente Pescadero – Vista de frente



(b) Puente Pescadero – Vista de perfil



(d) Puente Pedro Heredia (Cartagena)



Fuente:

https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/estudio_causas_colapso_algunos_puentes.pdf

Según un estudio realizado por la Universidad Politécnica de Cataluña (España). Los errores en el diseño y construcción es la principal línea investigativa de la Fiscalía por el colapso del Puente Recto de Chirajara, ocurrida el 15 de enero del año 2018, en el que murieron nueve personas.

La universidad, a través del Centro Internacional de Métodos Numéricos en la Ingeniería (CIMNE), aseguró que el puente presentaba “importantes errores de diseño y su construcción se llevó a cabo acumulando diversas deficiencias (ESPECTADOR, 2019).

Imagen 23. Ejemplos de puentes colapsados por deficiencias estructurales.



Fuente: <https://www.elespectador.com/noticias/judicial/errores-de-diseno-y-construccion-principal-hipotesis-en-colapso-de-puente-chirajara-articulo-834063>

Otro claro ejemplo de colapso de estructuras por deficiencias estructurales es el caso del edificio Space, el cual se encuentra ubicado en la ciudad de Medellín el colapso se produjo la noche del 12 de octubre del año 2013.

Imagen 24. Edificio Space – Medellín.



Fuente: <https://civil.uniandes.edu.co/Boletin/index.php/k2/item/33-conceptouniandes>

A juicio de los especialistas y expertos de la Universidad de los Andes, la estructura del edificio SPACE, no fue diseñado con los requisitos aplicables de la Ley 400 de 1997, por lo cual presento el colapso de la estructura (Andes, 2016).

Causas más probables del colapso

- Las columnas de la edificación presentaban condiciones críticas de capacidad estructural.
- Asentamientos diferenciales en las columnas sometidas a altas cargas axiales.
- Diseño de las columnas incumpliendo los requisitos mínimos de las NSR-98 correspondientes a la capacidad axial de carga.
- Incumplimiento en las resistencias mínimas especificadas para el concreto según los registros evidenciados en ensayos para determinar un control de calidad en obra, lo cual generó que las columnas del edificio presentaran condiciones críticas de resistencia.

De acuerdo con los análisis efectuados y teniendo en cuenta las conclusiones presentadas, se considera que el colapso de la edificación se produjo por la ocurrencia de las siguientes circunstancias detonantes:

- Asentamientos diferenciales registrados en la edificación generando la falla de columnas.
- Los altos niveles de esfuerzo en elementos estructurales.
- Eliminación de muros de mampostería adyacentes a las columnas falladas.
- Falla a cortante de las vigas principales del edificio.
- Falla a la compresión de los muros de mampostería ante la redistribución de cargas.

De acuerdo a estas situaciones, el interrogante principal del presente proyecto se define como:

2.2. Pregunta del problema

¿Cuál es la importancia de una adecuada supervisión técnica e innovación tecnológica en la vigilancia de los procesos de instalación del acero de refuerzo puestos en obra, en los diferentes sistemas constructivos practicados en Colombia?

3. MARCO DE REFERENCIA

La construcción del tercer juego de esclusas en el Canal de Panamá se caracteriza por la variedad y complejidad de actividades: movimientos de tierras, estructuras de hormigón, fabricación e instalación de equipos electromecánicos; y por los grandes volúmenes que conlleva el proyecto, todo condicionado por los procesos de investigación para desarrollar algunos de los elementos que no existían en el mercado; las adversidades climatológicas y el reducido tamaño de la industria de la construcción que hay en Panamá.

El proyecto del tercer juego de esclusas está marcado por la elevada innovación que conllevan sus componentes, especialmente, las mezclas de hormigón, las compuertas y el software de control para el comportamiento de los diferentes materiales, como el caso del acero de refuerzo utilizado en cada uno de los elementos estructurales que componen el Canal.

Es por este motivo que resulta de gran importancia para la ejecución de grandes proyectos, conocer las propiedades mecánicas del acero como; la resistencia a la tracción, la resistencia a la fluencia, el alargamiento y el doblamiento, esto con el fin tener un conocimiento previo sobre la calidad del material que se está utilizando en el desarrollo de las actividades de la obra y el comportamiento estructural que se espera de este material.

No obstante, es comúnmente ver prácticas inadecuadas en la ejecución de proyectos de construcción ligadas a consecuencias nocivas para el material; tales como:

- Acero expuesto al ataque de agentes físicos, químicos y ambientales lo cual facilita el proceso de corrosión en el material.
- maltratar el material, lo cual disminuye la resistencia y ostenta la presencia de fisuras.
- Reducir la cuantía de diseño estructural.
- Enderezar las barras a golpes lo que genera es una disminución en la adherencia con el concreto.

- Baja calidad del hormigón y los agregados utilizados en obra.

Un inadecuado control o vigilancia en las prácticas mencionadas permiten la ocurrencia de falencias constructivas como la corrosión, la cual “es una de las principales causas de deterioro en las estructuras de hormigón armado. Las barras de armado pueden sufrir corrosión a causa de recubrimientos u hormigones inadecuados para el ambiente al que se expone la estructura o diferentes procesos agresivos de tipo químico y abrasivos” (García Cano, 2016).

La corrosión se presenta con efectos adversos sobre los elementos de hormigón armado.

Tabla 1. Alteraciones del acero.

ALTERACIÓN	EFECTO
<p>Cambios en la sección de las barras de acero</p>	<p>“En las armaduras se produce un cambio geométrico en las barras debido a la pérdida de sección a causa de la corrosión. Según el tipo de corrosión, la pérdida de sección transversal es distinta” (García Cano, 2016).</p>
<p>Cambios en la adherencia</p>	<p>“La acción conjunta del hormigón y el acero se basa en la adherencia de ambos materiales. La adherencia es el mecanismo por el cual se transfieren las Tensiones de la armadura al hormigón, oponiéndose al movimiento relativo entre ambos materiales”. La corrosión en el acero produce un deterioro del concreto que rodea el refuerzo, debilitando la interfaz entre los materiales. Por otro lado, cuando una barra de acero está corroída, ocupa un mayor volumen, lo que hace que se produzcan tensiones de expansión contra el hormigón que pueden producir fisuras y deformaciones, disminuyendo la capacidad portante del elemento (García Cano, 2016).</p>
	<p>Los óxidos generados durante la</p>

<p><i>Continuación Tabla 2. Alteraciones del acero.</i></p> <p>Efectos sobre la fisuración</p>	<p>corrosión en las barras de acero producen un estado tensional en el concreto, que en la mayoría de las situaciones el elemento se conduce a la fisuración, afectando a la capacidad portante de la estructura y a su apariencia externa (García Cano, 2016).</p>
---	---

Fuente: Propia.

Imagen 25. Hallazgo en visita técnica



Fuente: Propia.

La forma más efectiva de evitar el inicio de la corrosión en el acero de refuerzo es mediante la adecuada calidad del concreto junto a los agregados. Para ello, hay que asegurar una eficiente supervisión técnica que garantice la calidad de los materiales en cada uno de los elementos estructurales construidos en el proyecto.

Adicionalmente, se ha podido evidenciar otro fenómeno en los procesos constructivos y es el maltrato o prácticas mal realizadas con las barras de acero, lo cual conlleva a que el material presente patologías como la fatiga y posibles fisuras lo que encamina a una disminución en la resistencia de diseño e inclusive en muchos casos a posibles eventualidades peligrosas como colapsos de las

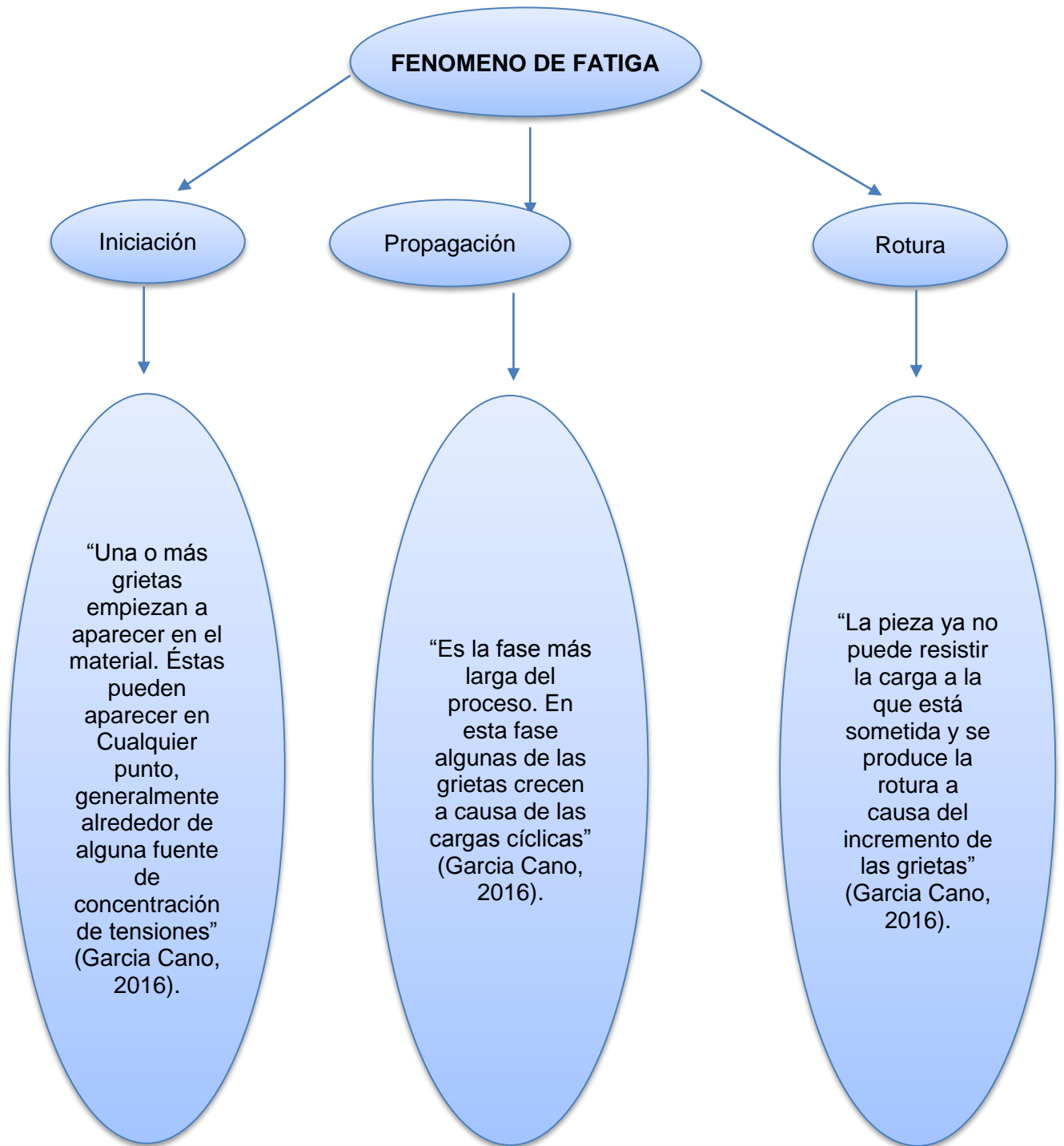
estructuras (Garcia Cano, 2016).

“La fatiga es un modo de rotura de una estructura o de un determinado material. Se produce como consecuencia de una repetición de cargas de tensión inferior a la resistencia última, provocando la aparición de fisuras sobre el elemento hasta llegar a la rotura del material” (Garcia Cano, 2016).

Es importante realizar investigaciones de ensayos a fatiga del acero para poder definir correctamente la vida útil de la estructura a causa de las degradaciones que pueda sufrir.

Esta falla del material se produce en tres fases tal como lo indica la siguiente figura.

Tabla 2. Fenómeno de fatiga.



Fuente: Propia.

La presencia de estas dos fallencias en una barra de acero es la patología conocida como “la fatiga por corrosión, la cual hace referencia a la disminución de la capacidad de un metal para resistir esfuerzos repetidos, los cuales producen la rotura de las capas de protección de óxidos para evitar la corrosión” (García Cano, 2016).

4. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

La producción y fabricación del acero es, esencialmente, una aleación de hierro con un contenido de carbono del 2%. El alma de este material reside en su composición química, puesto que de esta composición dependen su resistencia, ductilidad y soldabilidad, las cuales son factores que garantizan la sismo resistencia del material (LO QUE DEBEMOS SABER DEL ACERO DE REFUERZO EN EDIFICACIONES DE MEDIANA ALTURA, 2018).

Al fabricarlo las empresas estudian cada lote o colada, y agregan los elementos químicos necesarios para alcanzar las propiedades mecánicas según las exigencias del producto que se desea realizar.

La resistencia de una estructura depende de las resistencias de los materiales que la conforman; por esta razón las resistencias mínimas de los materiales deben ser de gran análisis antes de la ejecución de cualquier proyecto que se pretenda llevar a cabo. La resistencia de la estructura depende también de las prácticas que se tengan en la construcción, lo cual a su vez está sujeta a la calidad de la supervisión técnica y de la inspección tanto de la calidad de los materiales como de las prácticas constructivas (NILSON, 1999).

La calidad de materiales producidos en planta, debe ser garantizada por el productor quien practica controles sistemáticos de calidad especificados usualmente por las normas pertinentes.

Para que una estructura cumpla su funcionalidad en condiciones de servicio debe ser segura contra el colapso. La funcionalidad requiere que las deflexiones de los elementos en conjunto presenten valores que no pongan en riesgo la estructura, que las fisuras en los elementos se mantengan en límites tolerables, que las vibraciones se minimicen, etc. (NILSON, 1999).

4.1. Aceros de refuerzo para el concreto.

La resistencia a tensión como a compresión de los aceros es aproximadamente quince veces la resistencia a la compresión del concreto estructural y más de 100 veces su resistencia a la tensión. Por tal motivo resulta muy beneficiosa la combinación de estos dos materiales, si el concreto se utiliza para resistir los esfuerzos de compresión y el acero los esfuerzos de tensión. Es allí que en el armado de vigas de concreto reforzado, el concreto resiste las cargas de compresión, mientras que el acero de refuerzo longitudinal resiste las fuerzas de tensión causados por las fuerzas cortantes en las vigas (NILSON, 1999).

No obstante, el acero de refuerzo también se utiliza para resistir fuerzas de compresión, cuando se desea reducir la sección transversal de elementos a compresión, como es el caso de las columnas de los primeros pisos de edificios altos.

Para garantizar una acción efectiva del refuerzo, es esencial que el acero y el concreto se deformen en forma conjunta, es decir, es necesario que haya una adherencia suficientemente fuerte entre los dos materiales para asegurar que no ocurrirán movimientos relativos entre las barras de refuerzo y el concreto circundante (NILSON, 1999).

Las características adicionales que llevan a un comportamiento conjunto satisfactorio entre el concreto y el acero son las siguientes:

4.1.1. Coeficientes de expansión térmica

Entre los dos materiales, aproximadamente $6.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}$ ($12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) para el acero vs. un promedio de $5.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}$ ($10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) para el concreto, están suficientemente cerca para no producir agrietamiento y otros efectos no deseables debidos a las deformaciones térmicas diferenciales (NILSON, 1999).

4.1.2. La resistencia a la corrosión del acero

Descubierto es pobre, el concreto que recubre el acero de refuerzo provee una excelente protección minimizando los problemas de corrosión y los

correspondientes costos de mantenimiento (NILSON, 1999).

4.1.3. La resistencia al fuego del acero

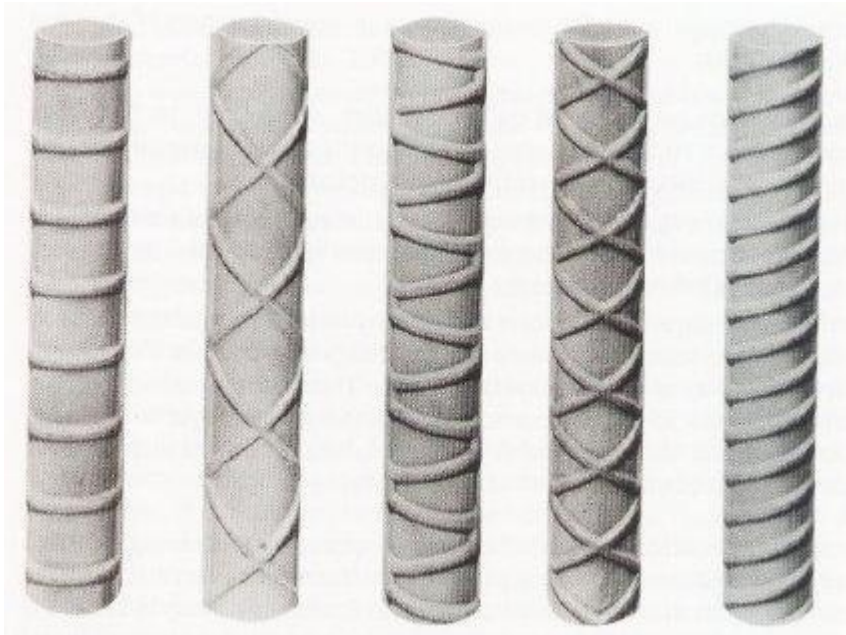
Al no cumplir con los recubrimientos mínimos se ve afectado por su alta conductividad térmica disminuyendo su resistencia a altas temperaturas. A diferencia, la conductividad térmica del concreto es relativamente baja. (NILSON, 1999).

El acero se utiliza de dos maneras en las estructuras de concreto: como acero de refuerzo y como acero de preesfuerzo. El acero de refuerzo es ubicado en las formaletas antes de vaciar el concreto. Los esfuerzos en el acero, al igual que en el concreto endurecido, están causados únicamente por las cargas sobre la estructura (NILSON, 1999).

4.1.4. Barras de refuerzo.

El tipo más común de acero de refuerzo viene en forma de barras circulares llamadas varillas y disponibles en un amplio intervalo de diámetros. Estas barras se fabrican corrugadas para aumentar la adherencia entre el acero y el concreto (NILSON, 1999).

Imagen 26. Tipos de barras corrugadas.



Fuente: https://www.u-cursos.cl/usuario/7c1c0bd54f14c0722cefc0fa25ea186d/mi_blog/r/32988036-

Tabla 3. Resumen de requisitos mínimos de resistencia de la ASTM

Producto	Especificación ASMT	Grado o tipo	Resistencia mínima a la fluencia		Resistencia máxima a la tensión	
			klb/pulg ²	MPa	klb/pulg ²	MPa
Barras de refuerzo	A615	Grado 40	40,000	(275)	70,000	(480)
		Grado 60	60,000	(415)	90,000	(620)
		Grado 75	75,000	(515)	100,000	(690)
	A616	Grado 50	50,000	(345)	80,000	(550)
		Grado 60	60,000	(415)	90,000	(620)
A617	Grado 40	40,000	(275)	70,000	(480)	
		Grado 60	60,000	(415)	90,000	(620)
A706	Grado 60	60,000 (414) [78,000 (535) máximo]		80,000	(550) ^c	
Parrilla de barras wrrugadas	A184		Igual que para barras de refuerzo			
Barras recubiertas con zinc	A767		Igual que para barras de refuerzo			
Barras recubiertas con epóxico	A775		Igual que para barras de refuerzo			
Alambre Liso	A82		70,000	(480)	80,000	(550)
Corrugado	A496		75,000	(515)	85,000	(585)
Malla electrosoldada de alambón Liso	A185	W1.2 y mayor	65,000	(450)	75,000	(515)
Menor que W1.2		56,000	(385)	70,000	(480)	
Corrugado	A497		70,000	(480)	80,000	(550)
Tendones de preesfuerzo Torón de siete alambres	A416	Grado 250 (libres de esfuerzos residuales)	212,500	(1465)	250,000	(1725)
		Grado 250 (baja relajación)	225,500	(1555)	250,000	(1725)
		Grado 270 (libres de esfuerzos residuales)	229,500	(1580)	270,000	(1860)
		Grado 270 (baja relajación)	243,500	(1675)	270,000	(1860)
Alambre	A421	Libres de esfuerzos residuales	199,750 (1375) ^a 212,500 (1465) ^b		235,000 (1620) ^a 250,000 (1725) ^b	
		Baja relajación	211,500 (1455) ^a 225,000 (1550) ^b		235,000 (1620) ^a 250,000 (1725) ^b	
Barras	A722	Tipo liso	127,500	(880)	150,000	(1035)
		Tipo corrugado	120,000	(825)	150,000	(1035)
Torón compacto ^c	A779	Tipo 245	241,900	(1480)	247,000	(1700)
		Tipo 260	228,800	(1575)	263,000	(1810)
		Tipo 270	234,900	(1620)	270,000	(1860)

a Peso no menos de 1.25 veces la resistencia a la frecuencia real.

b La resistencia mínima depende del tamaño del alambre.

c No incluido en el ACI 3/8.

Fuente: https://www.u-cursos.cl/usuario/7c1c0bd54f14c0722cefc0fa25ea186d/mi_blog/r/32988036-

4.2. Grados y Resistencias.

Para evitar posibles equivocaciones que puedan terminar en accidentes estructurales, es decir, empleo de barras de menor resistencia o menor tamaño que las requeridas en el diseño, todas las barras corrugadas deben estar marcadas con sus respectivas especificaciones técnicas (NILSON, 1999).

Imagen 18: Marcas de identificación.

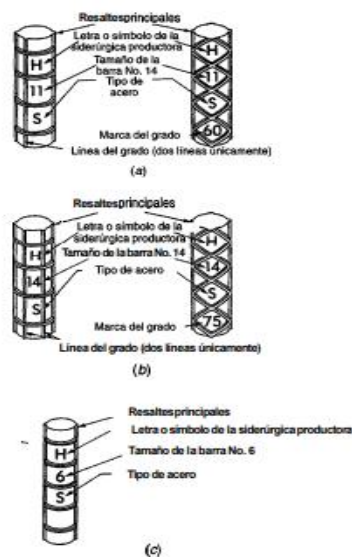


Imagen 27. Marcas de identificación.

Fuente: [https://www.u-cursos.cl/usuario/7c1c0bd54f14c0722cefc0fa25ea186d/mi_blog/r/32988036-Nilson-Diseno-De-Estructuras-De-Concreto_\(1\).pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/7c1c0bd54f14c0722cefc0fa25ea186d/mi_blog/r/32988036-Nilson-Diseno-De-Estructuras-De-Concreto_(1).pdf).

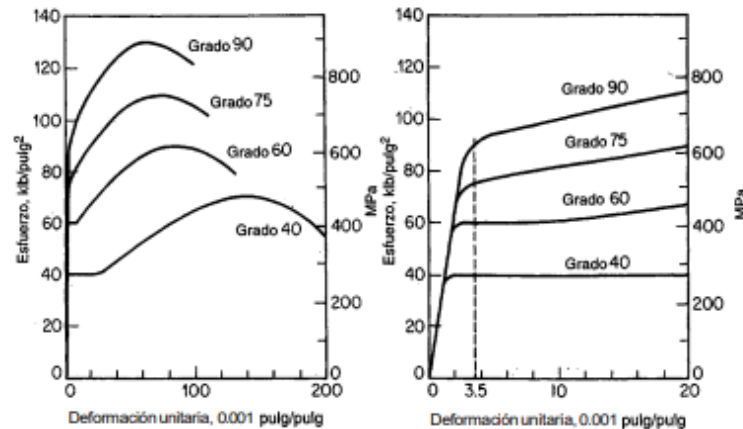
4.3. Curvas Esfuerzo-Deformación unitaria.

Las dos características numéricas principales del acero de refuerzo son su punto de fluencia y su módulo de elasticidad. Éste último es prácticamente el mismo para todos los aceros de refuerzo y se toma como $E_y = 29,000,000$ lb/pulg².

La forma de la curva esfuerzo-deformación unitaria tiene un impacto significativo en el comportamiento de elementos de concreto reforzado. Los

aceros que en su composición química presentan un nivel bajo de carbón, muestran una porción elástica seguida de una plataforma de fluencia, es decir, una porción horizontal de la curva donde la deformación unitaria aumenta continuamente bajo esfuerzo constante. (NILSON, 1999).

Imagen 28. Esfuerzo - Deformación.



Fuente: [https://www.u-cursos.cl/usuario/7c1c0bd54f14c0722cefc0fa25ea186d/mi_blog/r/32988036-Nilson-Diseno-De-Estructuras-De-Concreto_\(1\).pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/7c1c0bd54f14c0722cefc0fa25ea186d/mi_blog/r/32988036-Nilson-Diseno-De-Estructuras-De-Concreto_(1).pdf).

1.4. Resistencia a la Fatiga.

Tanto el acero como el concreto están sometidos a un gran número de ciclos de esfuerzos. Bajo estas condiciones los dos materiales, están sujetos al fenómeno de la fatiga estructural. En los metales, la fatiga se hace presente cuando se evidencian una o más fisuras microscópicas formadas después de que un ciclo de esfuerzos (NILSON, 1999).

Estas fisuras de fatiga ocurren en puntos de concentración de esfuerzos y aumentan gradualmente con el incremento en el número de ciclos de esfuerzos. Esto reduce el área no fisurada de la sección transversal de la barra hasta que ésta resulta demasiado pequeña para resistir la fuerza aplicada (NILSON, 1999).

Para barras de refuerzo se ha encontrado que la resistencia a la fatiga, es prácticamente independiente del grado del acero. También se ha encontrado que el rango de esfuerzos, depende del esfuerzo mínimo (NILSON, 1999).

1.5. Mallas Electrosoldadas.

Para aumentar la resistencia de los elementos que conforman una unidad estructural se utilizan las mallas electrosoldadas de alambón para reforzar losas y otras superficies, tales como cascarones, y para reforzar a cortante el alma de vigas delgadas, particularmente en vigas preesforzadas (NILSON, 1999).

El refuerzo con alambrones soldados consta de un conjunto de alambrones de acero, longitudinales y transversales a ángulos rectos el uno del otro, y soldados entre sí en todos los puntos de intersección. El tamaño y espaciado de los alambrones puede ser el mismo en las dos direcciones o puede ser diferente dependiendo de los requisitos del diseño estructural¹.

1.6. Falencias constructivas e investigaciones relacionadas.

En Colombia con el paso del tiempo y el avance continuo en su infraestructura, se ha optado por el estudio y reconocimiento sobre la importancia del acero de refuerzo. De esta manera lograr afianzar los conocimientos tanto prácticos como teóricos mediante un proceso investigativo se buscará la mejora en los criterios técnicos y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica, sobre cada uno de los elementos que componen las estructuras de concreto reforzado.

Gracias a investigaciones realizadas al acero de refuerzo, este material es tenido en cuenta en la construcción como un pilar fundamental. Según estudios técnicos, el acero mezclado con concreto, incrementan las propiedades físicas de este,

¹ NILSON, Arthur H. Diseño de Estructuras de Concreto. Duodécima edición. 1999.p.738.

maximizando el control de fisuras, aumentando su flexibilidad, durabilidad y otras propiedades mecánicas que mejoran la resistencia de los elementos estructurales y la calidad de las edificaciones.

El Organismo Nacional de Normalización de Colombia, es el ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación). El cual establece la normatividad para la certificación de materiales como el acero de refuerzo. trabaja para fomentar la normalización, la certificación, la metrología y la gestión de la calidad en Colombia.

Por ende, se insta el cumplimiento de las normas establecidas durante la etapa de diseño y la construcción de edificaciones, realizando sobre las obras existentes, diagnósticos estructurales y estudios de evaluación en la calidad de materiales, para detectar deficiencias que pueden poner en peligro la estabilidad estructural de los proyectos.

Para el caso de La construcción del Canal de Panamá, el istmo panameño se vio abocado a cambiar e innovar sus sistemas constructivos, la calidad y la forma de uso de sus materiales con el fin de lograr un óptimo desempeño del canal (La ampliación del Canal de Panamá Impulsor de cambios en el comercio internacional, 2017).

El desarrollo de las mezclas de hormigón que cumplieran con la impermeabilidad ante el ión cloruro ha sido un proceso de investigación preciso y largo, en el que ha intervenido el personal de Sacyr y del Instituto de Ciencias diseño y construcción del tercer juego de esclusas del Canal de Panamá, concluyendo con mezclas de hormigón que cumplieran con las exigencias técnicas de impermeabilidad y resistencia (Diseño y construcción del tercer juego de esclusas del canal de Panamá, 2016).

Sin embargo, el Canal se vio sometido a problemáticas estructurales como la

corrosión, debido las causas de daño identificadas durante el proceso constructivo y por un inadecuado seguimiento y control por parte de las autoridades reguladoras de la actividad constructiva, se presentó por recubrimientos mínimos sobre el acero quedando este expuesto a agentes químicos que por su naturaleza conllevan a la corrosión del material. Otra problemática estructural presente es la resistencia a la fatiga de los elementos expuestos a esfuerzos cíclicos como las fuertes vibraciones generadas por las grandes embarcaciones.

Claro está, que pueden existir otras causas y además cada una de ellas se podrían identificar según sus distintos orígenes descritas a continuación (Carvajal Soto, 2012).

1.6.1. Causas por Diseño

Las Causas de daño por diseño tienen origen desde que el proyecto fue concebido tanto arquitectónicamente como estructuralmente, tales causas producen durante un terremoto el aumento o concentración de esfuerzos en elementos con capacidad estructural limitada, que después de varios ciclos de carga generan la falla en éstos, desencadenando nuevas concentraciones de esfuerzos en otros elementos, provocando así una serie de daños locales que llegan a poner en peligro la estabilidad global de la obra (Carvajal Soto, 2012).

1.6.1.1. Irregularidad Estructural

La correcta estructuración en planta y en elevación de una obra son factores que inciden en el comportamiento dinámico de la misma, así, obras muy regulares tienen un mejor desempeño en comparación con obras irregulares, en estas últimas se generan fuerzas torsionales mayores que incrementan los esfuerzos tangenciales en las secciones sismo-resistentes (Carvajal Soto, 2012).

1.6.1.2. Columna Corta

Ampliamente se ha escrito y platicado sobre este tipo de falla y es una de las más

comunes durante la ocurrencia de terremotos. En este tipo de elementos, a lo largo de su altura, se producen concentraciones de esfuerzos debido a las fuerzas inerciales generadas por el evento sísmico, estas concentraciones de esfuerzos se presentan principalmente por el cambio drástico de rigidez en la transición muro-columna, donde los primeros son elementos con gran rigidez longitudinal y por tanto con gran capacidad de tomar fuerzas inerciales, sin embargo, a las segundas se les transfiere la misma fuerza inercial pero sobre una sección más pequeña y con capacidad estructural inferior en comparación con las secciones inmediatamente superiores e inferiores a ellas; por tal razón la falla se presenta a la altura de la columna corta (Carvajal Soto, 2012).

1.6.1.3. Piso Débil

En edificaciones, este tipo de causa está muy relacionada con problemas de irregularidad estructural, especialmente en altura. Esta falla se presenta por un cambio drástico de rigidez (por tanto, de capacidad lateral) entre dos niveles consecutivos. Suele presentarse en el primer nivel ya que este nivel en muchos casos es destinado a comercio o parqueos, en donde se requiere aberturas para aprovechamiento máximo. Sin embargo, niveles superiores, en donde existe también irregularidad estructural están de igual manera propensos a sufrir el colapso parcial o total (Carvajal Soto, 2012).

1.6.1.4. Viga Fuerte – Columna Débil

Esta causa de daño se presenta cuando columnas con capacidad estructural reducida en comparación a la capacidad de las vigas que llegan a ella, sufren ante la ocurrencia de varios ciclos de carga (sobre una sección con ductilidad reducida), la ocurrencia de rótulas plásticas en las cercanías a la unión de uno de sus extremos o en ambos. La ocurrencia de estas rótulas plásticas en varias columnas puede generar la inestabilidad de toda la edificación, dejándola propensa al colapso parcial o total (Carvajal Soto, 2012).

1.6.1.5. Capacidad Estructural Insuficiente

Esta causa está vinculada con todas las causas anteriormente mencionadas, ya que es precisamente por la cual se presenta el daño excesivo en los elementos estructurales. Si una estructura presenta problemas de irregularidad estructural, columna corta, piso débil, columna débil, pero cuenta con la suficiente capacidad estructural para soportar el sobre efecto de las fuerzas inerciales durante un evento sísmico (sobre efecto a raíz de tales prácticas), es de esperar, un adecuado desempeño de la misma, sin embargo, muchas veces no se considera este sobre efecto en el diseño estructural, por lo que conviene mejor evitar tales prácticas que han sido causantes de los principales daños estructurales. Específicamente, en estructuras de concreto reforzado y mampostería reforzada, esta capacidad insuficiente se presentan a raíz de la cantidad inadecuada del acero de refuerzo suministrado, así como el mal confinamiento del mismo (Carvajal Soto, 2012).

1.6.2. Causas por Construcción

Existen también causas producto de malas prácticas de ejecución durante la construcción, éstas en parte se deben a técnicas constructivas no adecuadas, acompañadas de una ineficiente supervisión técnica.

Partiendo de un buen diseño sismo-resistente, ha de esperarse un buen desempeño estructural durante un evento sísmico, sin embargo, si no se contó durante la ejecución de la obra con una mano de obra calificada y una supervisión rigurosa, pudiera darse como resultado una capacidad sismo-resistente limitada, incrementando de tal manera el riesgo de la estructura a colapsar o a sufrir serios daños. Las prácticas inadecuadas más comunes podrían ser:

1.6.2.1. Escaso confinamiento del refuerzo estructural

han sido una de las causas de daño más notable, este escaso confinamiento, sea por separación excesiva de los estribos o por incorrecta conformación del doblado

(no cerrados adecuadamente), hace que el refuerzo principal pierda capacidad debido a la inestabilidad generada por la falta de confinamiento, por tal razón, este refuerzo principal se pandea y en algunos casos sufren la ruptura completa (Carvajal Soto, 2012).

1.6.2.2. Ineficiente conexión estructural entre elementos

Causa la ocurrencia de daño local, pudiendo afectar también todo el conjunto de la obra, reduciendo su capacidad y provocando la inestabilidad de la misma. Del estudio realizado posterior a los terremotos de Chinchona-Costa Rica y Haití, se ha evidenciado la implementación de malas conexiones entre vigas coronas, vigas de amarre y entrepiso y de igual manera entre columnas y paredes, esto debido principalmente a una mano de obra no calificada y ausencia de supervisión (se supone que existió un diseño previo adecuado conforme a las normativas de diseño) (Carvajal Soto, 2012).

1.6.2.3. Participación de elementos no sismo- resistentes

Incide en la respuesta dinámica de la estructura, ya que estos elementos (no contemplados en el diseño) aportan rigidez a la estructura, modificando sus características dinámicas y en muchos casos aumentando las fuerzas inerciales sobre la misma. También, la participación de tales elementos (especialmente muros) modifica la ubicación del centro de rigidez de la estructura, pudiendo generar problemas torsionales, desencadenado así el daño de la estructura. Se ha evidenciado también que esta causa ha dado como consecuencia la aparición de daños de columna corta (Carvajal Soto, 2012).

1.6.3. Causas por Falta de Seguimiento y Control por parte de Autoridades Reguladoras

El Seguimiento y Control por parte de las autoridades reguladoras de la actividad constructiva (alcaldías, ministerios de la construcción, colegios profesionales de arquitectura e ingeniería, etc.) es de suma importancia para la reducción del riesgo; estas instituciones como reguladores, son responsables de aprobar y llevar

seguimiento de los proyectos de infraestructura. Por medio de su actuación, en pro de la reducción del riesgo, ellos pueden demandar a los usuarios mayor atención a la realización de estudios preliminares, tales como: estudios de efecto de sitio, susceptibilidad de arenas a licuefacción, fallamiento local, entre otros, con el objetivo de determinar el nivel de vulnerabilidad del sitio previsto para la obra. Adicionalmente, previo a la aprobación pueden demandar a los usuarios el cumplimiento de las ordenanzas de diseño, indicar los requerimientos mínimos de calificación de los constructores y exigir el establecimiento de una supervisión continua durante la ejecución del proyecto, todo esto paralelo a un monitoreo de control de lo ya aprobado (Carvajal Soto, 2012).

1.6.4. Investigaciones Realizadas.

Se puede observar que por malas prácticas en los diseños, procesos constructivos y falta de control y supervisión durante la ejecución de los proyectos se presentan numerosas fallas constructivas que no permiten un óptimo desempeño de las estructuras. Sin embargo, las mencionadas anteriormente (la corrosión y la fatiga del acero) en este trabajo han sido consideradas como las de mayor impacto en los daños identificados durante la supervisión técnica realizada a los cuatro proyectos.

Investigaciones como las que se presentaran a continuación, permiten obtener una imagen sobre los avances experimentales para mitigar las problemáticas constructivas a la que se enfrentan los sistemas constructivos en Colombia como la corrosión y la fatiga en el acero, el cual es utilizado para el desarrollo de las actividades estructurales de un proyecto.

El siguiente trabajo se aplicó un modelo numérico desarrollado por el Departamento de Ingeniería de la Construcción de la Universidad Politécnica de Cataluña, en la que simulaban ensayos a fatiga en barras de acero las cuales se someten a diferentes grados de corrosión. Se compararon los resultados que se obtuvieron mediante el modelo numérico y un ensayo real. Una vez que se comprobó el

funcionamiento del modelo, se realizó la simulación de ensayos a fatiga en losas de puentes de hormigón armado. De esta manera se logró observar la influencia de la corrosión y la fatiga sobre la resistencia del acero.

Tabla 4. Descripción de Investigación 1.

IDENTIFICACIÓN	García Cano, J. (2016). ESTUDIO SOBRE EL ESTADO LÍMITE A FATIGA EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN CON DETERIORO DE LAS ARMADURAS . INUVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Barcelona.
OBJETIVO GENERAL	El objetivo de esta tesis de especialidad es comprobar el estado límite a fatiga de las estructuras de hormigón. Se pretendió evaluar el comportamiento de las armaduras deterioradas a causa de la corrosión y poder deducir la vida útil de la estructura. .
CATEGORIAS/ VARIABLES	Propiedades Mecánicas del acero Corrosión de los elementos de hormigón armado Vida útil del acero Corrosión Fatiga
INSTRUMENTOS RECOLECCIÓN DE LA INFORMACION	Este procedimiento se basó en un modelo de simulación de ensayos de fatiga de barras de acero de refuerzo.
RESULTADOS	Se logró analizar la manera en que la corrosión influye en la resistencia a fatiga en las barras de acero; es decir, ostenta una relación directamente proporcional, a medida que aumenta el grado de corrosión sobre las armaduras la resistencia de este material presenta una disminución en la resistencia. Por consiguiente se produce una variación desfavorable en la capacidad portante del elemento estructural.

Fuente: Propia.

Esta investigación hace un aporte importante al desarrollo de este trabajo, ya que examina de forma experimental el comportamiento del acero cuando es sometido a patologías que amenazan sus propiedades mecánicas, lo cual incide claramente en la estabilidad y confiabilidad de los proyectos de construcción.

El siguiente artículo fue desarrollado por Bernardo Fonseca Tutikian, de la Universidad de la Costa. Allí se presenta una investigación que tiene como objetivo la evaluación y comparación de la corrosión del hormigón armado con acero sin protección y del acero galvanizado en inmersión en caliente.

En este se plantean algunos aspectos más relevantes del tema, como el aumento

de la vida útil de las estructuras ya que es un tema de gran interés para la construcción civil, sea por razones económicas o de seguridad de los usuarios. La corrosión del refuerzo “barras de acero o armadura” es una de las problemáticas constructivas más recurrentes, especialmente en entornos con un alto grado de exposición de iones cloruro. Es allí, donde nace el interés de esta investigación, dando una alternativa eficaz para proteger el refuerzo contra la corrosión “la galvanización en caliente de barras de acero”, con la adición de recubrimiento de zinc que se ingiere antes del acero entrar en reacción.

En este trabajo, se realizó la comparación entre las barras de acero sin protección y las galvanizadas en caliente, inmersas en cuatro tipos de hormigón con diferentes relaciones agua/cemento, y se sometió al procedimiento de ensayo de corrosión acelerada ejecutado por el método CAIM el cual consiste en la inmersión de elementos de hormigón en una solución con cloruro de sodio e imprime una corriente alterna formando un circuito cerrado. Se utilizaron cuatro mezclas de hormigón para acero desprotegido y acero galvanizado, lo que permitió la formación de curvas de dosificación para ambas situaciones, además de la determinación de ecuaciones de comportamiento y coeficientes de correlación, para verificar la eficacia del procedimiento experimental.

Finalmente, se logró observar una disminución de la corrosión para todos los tipos de hormigón, alcanzando el 70,5% de la reducción de la muestra, mostrando que el galvanizado por inmersión en caliente puede ser una alternativa importante para las estructuras de hormigón, especialmente cuando se utiliza en combinación con mezclas de mayor durabilidad.

Tabla 5. Descripción de Investigación 2.

IDENTIFICACIÓN	Tutikian , B. F. (2017). EVALUACION COMPARATIVA DE LA CORROSION DEL HORMIGON ARMADO CON ACERO SIN PROTECCION Y DEL ACERO GALVANIZADO EN INMERSION EN CALIENTE. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental Universidad de la Costa, Barranquilla Colombia 11.
OBJETIVO GENERAL	El objetivo de este artículo es comparar la corrosión en elementos de hormigón armado con barras de acero galvanizadas en caliente y sin galvanizar.
CATEGORIAS/ VARIABLES	Cloruro de Sodio Galvanización Hormigón armado corrosión Vida útil del refuerzo
INSTRUMENTOS RECOLECCIÓN DE LA INFORMACION	Trabajo experimental soportado por el metodo CAIM "Ensayo acelerado de corrosión" y un análisis bibliográfico sobre la corrosión en armaduras de acero.
RESULTADOS	Se pudo concluir que el galvanizado en caliente por inmersión puede ser una excelente opción para aplicaciones con alta agresión ambiental. Se observó que, para los materiales estudiados "Barras de acero", la combinación de un espesor de cubierta de hormigón protector directo con una baja relación agua/cemento, junto con una protección indirecta de galvanizado por inmersión en caliente es la más favorable para aumentar la durabilidad de las estructuras de hormigón armado y lograr mitigar la corrosión sobre las barras de acero.

Fuente: Propia.

Este artículo resulto de gran aporte para esta investigación ya que se refleja mecanismos para mitigar la corrosión de las barraras de refuerzo de las estructuras, además demuestra resultados experimentales sobre el avance para mitigar esta problemática.

A continuación, se podrá observar por medio de una investigación realizada por miembros del grupo de investigación Paidi TEP954 de la Escuela de Arquitectura de Sevilla y la empresa LABRUM S.L, la cual trata de implementar un plan de control de calidad para garantizar la optimización del refuerzo, una correcta puesta en obra con garantías del adecuado comportamiento del refuerzo y criterios de mantenimiento para este.

En este artículo se ha desarrollado un plan experimental para el control de calidad de la puesta en obra del refuerzo, basado en el estudio de la unión entre concreto y las barras de refuerzo, teniendo en cuenta diferentes tipos de concreto y sistemas

de preparación superficial. Un plan de control de calidad in situ con ensayos semi destructivos tipo Pull-Off (ensayos de tracción directa) y no destructivos tipo ultrasonidos, los cuales permitieron verificar la efectividad del refuerzo de las estructuras.

El objetivo de la investigación es evaluar la adherencia del refuerzo de FRP (Polímero reforzado con fibra) en estructuras de concreto armado mediante técnicas no destructivas y semi destructivas, como parte de un control de calidad del refuerzo que permita evaluar su eficacia dentro de la estructura, estableciendo un método de control fiable y no destructivo.

Para el desarrollo de esta investigación se tuvieron en cuenta aspectos como las exigencias de calidad para la estructura de concreto armado durante su vida útil y los requerimientos técnicos para los que fue diseñada. Es por tal motivo la sustentación del refuerzo estructural mediante materiales compuestos².

Sin embargo, debido a las malas prácticas realizadas en la ejecución de ciertas actividades que involucran el empleo del acero como refuerzo estructural, la estructura puede precisar operaciones de acondicionamiento y refuerzo que le permitan hacer frente a la nueva situación de deterioro y mal desempeño de los elementos estructurales. Esta investigación indica que el refuerzo mediante materiales compuestos resulta ser un sistema eficaz y estratégico para controlar la estabilidad estructural de los proyectos.

El plan de ensayos proyecto de investigación se realizó teniendo en cuenta la comparabilidad de los resultados, en probetas con y sin reforzar con fibra de carbono con el objeto de obtener un valor de referencia, ensayándose un total de

² Todo material combinado a partir de una unión (no química) de dos o más componentes, que dan lugar a propiedades características específicas (APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS PULL-OFF Y ULTRASONIDOS EN EL CONTROL DE CALIDAD DEL REFUERZO CON MATERIALES COMPUESTOS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO, 2017) .

24 probetas.

Tabla 6. Descripción de Investigación 3.

IDENTIFICACIÓN	González Fernández, V., Barrios Padura, A., & Molina Huelva, M. (20 de junio de 2017). APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS PULL-OFF Y ULTRASONIDOS EN EL CONTROL DE CALIDAD DEL REFUERZO CON MATERIALES COMPUESTOS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO. Escuela de Arquitectura de Sevilla .
OBJETIVO GENERAL	El objetivo de la investigación es evaluar la adherencia del refuerzo de FRP (Polímero reforzado con fibra) en estructuras de concreto armado mediante técnicas no destructivas y semidestructivas, como parte de un control de calidad del refuerzo que permita evaluar su eficacia dentro de la estructura, estableciendo un método de control fiable y no destructivo.
CATEGORIAS/ VARIABLES	Refuerzo con fibras de carbón. Técnicas de control de calidad del refuerzo: No destructivas PULL-OFF y ultrasonido. Propiedades mecánicas del acero. Resistencia a la tracción. Tipos de concreto según varíe sus especificaciones de producción.
INSTRUMENTOS RECOLECCIÓN DE LA INFORMACION	Trabajo experimental soportado por ensayos tipo no destructivos PULL-OFF y Ultrasonido y un análisis bibliográfico sobre controles de calidad del acero en obra.
RESULTADOS	De los ensayos utilizados, el ensayo de ultrasonidos es el método más adecuado ya que al tratarse de un ensayo no destructivo puede ser empleado en mayor extensión. Con este ensayo se puede establecer parámetros de calidad de la adhesión del refuerzo y por ende del aumento de la capacidad mecánica del refuerzo. De esta manera se logra definir un método de control de calidad rápido, no destructivo y válido para evaluar la calidad del refuerzo ejecutado en obra.

Fuente: Propia.

Este artículo resulta de gran aporte para esta investigación ya que demuestra experimentalmente que, si se pueden incluir ensayos como sistema de control de calidad en los protocolos de inspección, ya que en muchas circunstancias resulta dificultoso incorporar métodos de supervisión técnica sobre los elementos estructurales por la ejecución de las obras.

Por tanto, y como conclusión de la investigación, se determina es viable efectuar un control de calidad del refuerzo de estructuras de concreto armado mediante FRP con ensayos no destructivos como ultrasonidos y Pull-Off, recomendándose su inclusión en los protocolos de inspección para el manejo de la calidad del acero como refuerzo de las estructuras.

2. MARCO CONCEPTUAL

5.1. Alargamiento

Es la alteración en la longitud por unidad de longitud original, expresada en porcentaje.³

5.2. Barras corrugadas

Son barras de acero que presentan resaltes o estrías las cuales impiden el movimiento longitudinal de la barra respecto al concreto que la rodea, están ubicadas a lo largo de su eje longitudinal, lo cual se adquiere mayor beneficio como refuerzo del concreto.⁴

5.3. Deformación elástica

Es la deformación luego de la aplicación de una carga a tracción a una probeta de acero.⁵

2.4. Deformación plástica

Es la carga máxima soportada por una probeta sometida a tracción antes de vencer la resistencia y presentar rotura del material.⁶

2.5. Ductilidad

Capacidad para deformarse sin romperse. La deformación del acero a partir de la fluencia es denominada ductilidad.⁷

2.6. Dureza

Es la resistencia del acero a ser penetrado. Está ligada a la composición química del material.⁸

³ Garcia Cano, J. (2016). *ESTUDIO SOBRE EL ESTADO LÍMITE A FATIGA EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN CON DETERIORO DE LAS ARMADURAS*. INUVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Barcelona.

⁴ García et al.

⁵ García et al.

⁶ García et al.

⁷ García et al.

⁸ Garcia Cano, J. (2016). *ESTUDIO SOBRE EL ESTADO LÍMITE A FATIGA EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN CON*

2.7. Estribos o flejes

Refuerzo longitudinal capaces de soportar esfuerzos cortantes y de torsión, además funcionan como confinamiento de los elementos estructurales.⁹



Imagen 29. Estribos o Flejes

Fuente (DIACO, 2012).

2.8. Tenacidad

Absorción de energía del acero.¹⁰

2.9. Temperatura

Las propiedades mecánicas del acero se afectan de forma dramática por causa del fuego, afectando el coeficiente de dilatación de este material.¹¹

2.10. Recepción en obra

Al momento de descargar, las varillas no deben arrastrarse sobre el pavimento. Se debe preparar con anticipación el lugar de acopio donde se ubicarán las varillas antes de su utilización.¹²

DETERIORO DE LAS ARMADURAS. INUVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Barcelona.

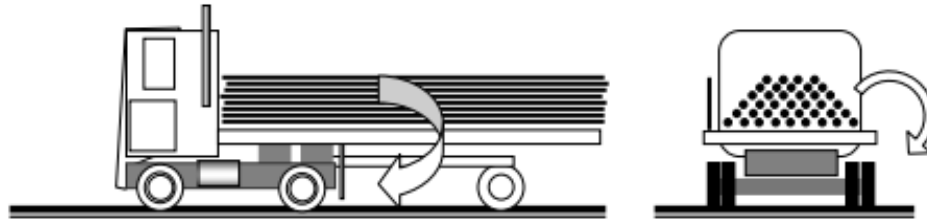
⁹ García et al.

¹⁰ García et al.

¹¹ García et al.

¹² García et al.

Imagen 30. Recepción del acero en obra.



Fuente (DIACO, 2012).

2.11. Refuerzo electrosoldado (MALLAS)

Elemento estructural conformada por gráfes de acero, dispuestos en forma ortogonal y soldados en todos los puntos de intersección, la cual aporta estabilidad estructural y una mayor resistencia a los elementos.¹³

2.12. Resistencia a la fluencia

Capacidad del acero de soportar la deformación plástica.¹⁴

2.13. Sistema combinado

Sistema estructural en el cual las cargas verticales son resistidas por un pórtico.¹⁵

2.14. Sistema dual

Sistema estructural compuesto por un pórtico, resistente a momentos, no arriostrado, que soporta cargas verticales y las fuerzas horizontales.¹⁶

2.15. Sistema de muros de carga

Sistema estructural que no dispone de un pórtico en el cual las cargas verticales son llevadas hasta la cimentación por los muros de carga.¹⁷

¹³ García Cano, J. (2016). *ESTUDIO SOBRE EL ESTADO LÍMITE A FATIGA EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN CON DETERIORO DE LAS ARMADURAS*. INUVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA, Escola Tecnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Barcelona.

¹⁴ García et al.

¹⁵ García et al.

¹⁶ García et al.

¹⁷ García Cano, J. (2016). *ESTUDIO SOBRE EL ESTADO LÍMITE A FATIGA EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN CON DETERIORO DE LAS ARMADURAS*. INUVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA, Escola Tecnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Barcelona.

2.16. Sistemas estructurales

Conjunto de elementos tales como muros, columnas, pantallas, vigas y entrepisos que en conjunto cumplen la función de soportar las cargas verticales y horizontales de una estructura.¹⁸

2.17. Sistema de pórticos

Es un sistema estructural compuesto por un pórtico resistente a momentos, no arriostrado.¹⁹

¹⁸ *García et al.*

¹⁹ *García et al.*

3. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

Generar un documento tipo monografía relacionado a la importancia de la supervisión técnica del acero de refuerzo en la construcción de edificaciones, a través del estudio de los diferentes conceptos, procedimientos y criterios que faciliten evidenciar posibles afectaciones sobre las estructuras.

6.2. Objetivos Específicos

Identificar y definir los conceptos generales referentes a la supervisión técnica en la construcción de edificaciones.

Identificar las prácticas constructivas inadecuadas que puedan presentar un deterioro del acero en (4) cuatro proyectos desarrollados en el municipio de Nemocón y la ciudad de Bogotá.

Realizar la supervisión técnica en los proyectos, donde se evaluará el manejo del acero de refuerzo, indicando recomendaciones y dando a conocer los hallazgos de no conformidad encontrados, para direccionar los procesos al cumplimiento de los diseños y especificaciones técnicas establecidas en los mismos.

Generar una guía práctica que oriente y fortalezca la formación de la supervisión técnica ante la ejecución de proyectos de ingeniería.

Verificar el cumplimiento del acero de refuerzo en los elementos estructurales de acuerdo a las cuantías mínimas exigidas por diseños estructurales.

4. ALCANCE Y LIMITACIONES

7.1. Alcance.

Una vez analizada la experiencia sobre la visita técnica realizada al Canal de Panamá, se desea transmitir un aporte en la indagación de las prácticas adecuadas en el uso del acero como material de gran importancia para construcciones sismo resistentes desarrolladas en el territorio colombiano. Conociendo las especificaciones técnicas que garantizan la estabilidad de las estructuras se analizará la inminente amenaza a las que se enfrentan los proyectos por la presencia de falencias estructurales durante la ejecución de las edificaciones.

7.2. Limitaciones.

Las limitaciones de este proyecto son varias y entre las cuales se pueden mencionar que las técnicas de supervisión se pueden aplicar a todo tipo de edificación que se encuentre en ejecución. Los resultados obtenidos demuestran que obras mal construidas y que por una falta de información en la mayoría de los casos serían fuente de falencias constructivas y en casos podrían terminar en el colapso de las estructuras. No obstante, con prácticas aplicadas correctamente se pueden lograr estándares de calidad que garanticen la estabilidad estructural de los elementos. De esta manera el objetivo de este proyecto es generar algunas herramientas que eviten las problemáticas estructurales las cuales impactan de manera negativa en el costo de los proyectos, cronograma de actividades, mala imagen tanto del profesional como de la constructora.

7.2.1. Geográfica

El trabajo se desarrollará en cuatro (4) obras desarrolladas dentro del territorio colombiano, las cuales se encuentran dentro del departamento de Cundinamarca y una visita técnica realizada al istmo panameño.

A continuación, se describen los proyectos a los cuales se les realizó la supervisión técnica en la ejecución del proceso constructivo.

7.2.1.1. Proyecto SAN JOAQUÍN.

Imagen 31. Proyecto San Joaquín.



Fuente: Propia.

Sistema constructivo: Sistema Industrializado.

Tipo de estructura: Combinada.

Clasificación uso: Residencial.

Dirección del proyecto: Carrera 17 F# 74 – 58 sur – Bogotá DC.

Empresa Constructora: ICI SAS.

Apartamentos de 46 m² a 38 m² área privada. San Joaquín cuenta con 564 apartamentos distribuidos en 6 torres de 16 pisos con 12 apartamentos por piso. Cuenta con 144 parqueaderos en total, contempla un salón comunal de tres (3) pisos.

7.2.1.2. Proyecto XOAKÁ- RUBÍ

Imagen 32. Proyecto Xoaká - Rubí.



Fuente: Propia.

Sistema constructivo: Sistema Industrializado.

Tipo de estructura: Muros Estructurales.

Clasificación uso: Residencial.

Dirección del proyecto: Manzana 2, predio San Rafael Arcángel Nemocón-Cundinamarca.

Empresa Constructora: AKILA

12 torres o edificaciones a nivel de seis (6) pisos de altura, con un parqueadero a nivel ubicado en la zona central donde se alojarán vehículos, bicicletas y motocicletas. Salón comunal entre las torres con 1 piso de altura y una portería con un local también a un piso de altura con un tanque subterráneo de almacenamiento de agua.

7.2.1.3. Proyecto SALAMANCA.

Imagen 33. Proyecto Salamanca



Fuente: Propia.

Sistema constructivo: Aporticado con muros de concreto.

Tipo de estructura: Combinada.

Clasificación uso: Residencial.

Dirección del proyecto: Calle 63 D # 28A – 38 Bogotá DC.

Empresa Constructora: AMARILO

Apartamentos de 71m² a 88m² área total construida. Salamanca cuenta con 340 apartamentos distribuidos en 2 torres de 22 y 23 pisos con 8 apartamentos por piso. Cuenta con 389 parqueaderos en total, 22 para visitantes y 50 para comercio.

7.2.1.4. Proyecto TORRE 90.

Imagen 34. Proyecto Torre 90.



Fuente: Propia.

Sistema constructivo: Aporticado con muros de concreto.

Tipo de estructura: Aporticada.

Clasificación uso: Mixto.

Dirección del proyecto: Calle 90 # 16 – 30 Bogotá DC.

Empresa Constructora: HITOS URBANOS.

Torre con 19 pisos y 4 sótanos, de los cuales del 1 al 2 es para uso comercial, del quinto piso al noveno será de uso hotelero, el piso 10 al piso 18 serán oficinas y el piso 19 corresponde a una terraza.

Durante este periodo se logró observar que las deficiencias constructivas más evidentes son la corrosión y fatiga del acero, las cuales infieren en la estabilidad final de los proyectos, es de allí donde nace la idea central de este documento.

7.2.2. Cronología

La investigación en campo tuvo una duración de 6 meses y una visita técnica al Canal de Panamá durante 8 días.

7.2.3. Conceptual

El desarrollo de esta investigación se determinará por las siguientes categorías conceptuales:

- Influencia de la corrosión y la fatiga sobre la resistencia a la tracción del acero: Este tema incluye las subcategorías desde la definición de la resistencia a la tracción, resistencia a la fluencia, dureza y vulnerabilidad sísmica.
- Practicas inadecuadas en el acero: Incluye las siguientes subcategorías: Proceso de transporte, almacenamiento y aspectos previos al proceso de formar armaduras en las construcciones.
- Calidad del acero: Este tema incluye las siguientes subcategorías: Resistencia a la tracción y resistencia a la fluencia.

5. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

8.1. Tipo de investigación.

Se desarrollará una investigación descriptiva, enfocada a la descripción del control de calidad del acero de refuerzo de cada uno de los elementos estructurales, debido a los procesos constructivos inadecuados por los cuales se generan situaciones en las construcciones que repercuten en la calidad y resistencia de un elemento.

Es importante hacer la aclaración que el objeto de esta investigación es recoger información conjunta sobre variables que influyen en la estabilidad estructural de las edificaciones mas no comprobar experimentalmente el factor de influencia de estas variables sobre las propiedades mecánicas del acero.

8.2. Fuentes de Información.

Se incluyen las siguientes fuentes de información.

8.2.1. Fuentes Primarias.

Norma NTC 3353 (Definiciones y métodos para los ensayos mecánicos de productos de aceros).

Norma NTC 2289 (Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación para, refuerzo de concreto).

NTC 5806 (Alambre de acero liso y grafilado y mallas electrosoldadas para refuerzo de concreto).

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NRS-10 Título C – Concreto Estructural.

Especificaciones técnicas de diseño estructural de los proyectos.

8.2.2. Fuentes Secundarias.

Se utilizarán documentos como manuales, artículos, guías, libros y trabajos de grado relacionados con el tema.

8.3. DISEÑO METODOLÓGICO

La investigación se desarrollará en 4 etapas principales:

8.3.1. Primera Etapa Visita Técnica Internacional a Panamá.

Inició en el año 2016-III con una visita técnica al canal de Panamá, dirigida por la facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Colombia. El motivo de esta visita estuvo orientada a la ampliación del canal “construcción del tercer juego de esclusas”. Durante esta visita se desarrollaron conferencias las cuales presentaron ejes temáticos como: análisis de vulnerabilidad constructiva, ambiental, desarrollo sostenible del proyecto, afectaciones sociales, materiales empleados durante la ejecución del proyecto, entre otras. Esto con el fin de obtener un intercambio de tecnología la cual conlleve a una identificación de problemáticas constructivas que quizás en Colombia se pueden presentar por el avance de nuevos proyectos de ingeniería.

El desarrollo de los ejes temáticos de las conferencias trató sobre la construcción de un juego de esclusas en los dos extremos, Atlántico y Pacífico, del Canal de Panamá para el paso de buques de mayor tamaño.

El sistema de esclusas original se basó en el concepto de crear un lago artificial elevado (actual lago Gatún) con una profundidad que permitiera a los buques atravesar Panamá de Océano a Océano y la construcción de unas esclusas en cada extremo de la vía para permitir el descenso de los buques del lago al Océano o viceversa, ascender del Océano al lago.

No obstante, problemáticas constructivas que se explicaron y que además tuvieron

gran impacto sobre este proyecto fueron:

- Problemáticas Ambientales, ya que el suelo presentó un cambio en su dinámica al ser sometido a cambios en su geometría, esfuerzos, excavaciones, sistemas de dragado, erosión debido al cauce del recurso hídrico, entre otros.
- Problemas durante los procesos constructivos, ya que se tuvieron que implementar nuevas técnicas constructivas y de supervisión técnica para garantizar el vaciado de concreto de los elementos estructurales, el cual debía garantizar las mínimas condiciones técnicas de diseño. Es de esta manera, donde la rigurosa supervisión en los momentos al emplear el acero de refuerzo resultó una tarea de gran interés para el desarrollo del proyecto. Temas como: garantizar el recubrimiento del acero de refuerzo con un concreto el cual protegiera al refuerzo de ataques químicos para disminuir problemas de corrosión, las grandes vibraciones ocasionadas por las enormes embarcaciones deberían ser controladas para evitar procesos cíclicos sobre los elementos estructurales conllevando a la fatiga del acero teniendo como resultado la disminución de la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.

Por tal motivo, estos objetivos específicos a los que le apuntaron las autoridades encargadas de este proyecto de gran envergadura fueron fuente de inspiración para el desarrollo de este trabajo.

Durante esta visita, se logró comparar los procesos o prácticas de vigilancia sobre el acero de refuerzo durante los procesos constructivos presentes en Panamá y Colombia. Se pudo evidenciar falencias constructivas durante la ejecución de los proyectos desarrollados en Colombia debido a la ausencia de tecnologías que garanticen el cumplimiento de los diseños técnicos y normatividades, las cuales velan por la estabilidad de las construcciones. Falencias constructivas que en muchos casos se ha llegado al colapso de las

estructuras generando grandes pérdidas económicas, sociales y hasta en muchos casos pérdidas humanas.

8.3.2. Segunda Etapa Supervisión Técnica.

Se realizarán visitas a cuatro (4) proyectos de vivienda en ejecución de las cuales cuatro (3) de ellas se encuentran ubicadas en la ciudad de Bogotá y una (1) en Cundinamarca en el municipio de Nemocón. Estas visitas tendrán como objeto la supervisión técnica en el proceso de ejecución de las obras, durante el último trimestre del año 2018 y primer trimestre del año 2019 para un total de 180 días de seguimiento en el avance y control de calidad de los proyectos.

8.3.3. Tercera Etapa Revisión Literaria.

Para el desarrollo de esta investigación se tendrán en cuenta artículos científicos encontrados en la base de datos suministrada por la Universidad Católica de Colombia y debidamente referenciados en la bibliografía de este documento. Adicionalmente, se tomará como referencia las Normas técnicas colombianas que hacen referencia a la calidad del acero estructural como el NSR-10 título C, título I y la NTC 2289.

8.3.4. Cuarta Etapa Análisis de resultados y conclusiones finales.

En esta etapa se realizarán las siguientes actividades:

Se hará un análisis comparativo entre las exigencias según la normatividad colombiana y las falencias constructivas presentes en el acero de refuerzo hallado en los proyectos. Posteriormente, se determinará qué tan importante es hacer una vigilancia técnica en cada una de las actividades constructivas con respecto al acero de refuerzo para garantizar la estabilidad estructural de los proyectos.

Elaboración de un MANUAL DIDÁCTICO DE RECOMENDACIONES PARA LA EJECUCION DEL ACERO EN OBRA, para consignar algunas actividades que se

deben tener en cuenta al momento de utilizar este material como elemento estructural.

Elaboración de una MATRIZ DOFA, la cual permitirá definir los aspectos tanto internos como externos que favorecen o inhiban el buen funcionamiento del acero como material estructural de cualquier proyecto de ingeniería.

Elaboración de una MATRIZ VESTER, la cual facilitará la identificación de la problemática con mayor impacto en las prácticas constructivas del acero de refuerzo.

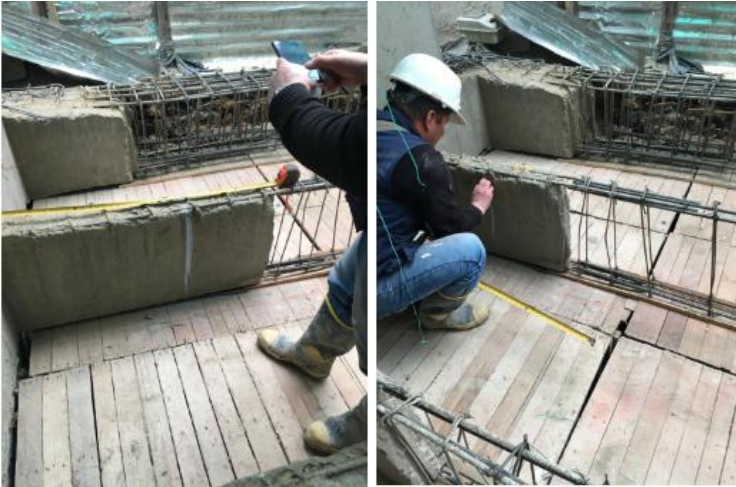

Se realizará un cuadro donde indique algunos de los ensayos que se deben realizar al acero de refuerzo para calificar su calidad como material estructural.

Realización del informe final con sus respectivas conclusiones y recomendac

6. RESULTADOS



A continuación, se presentarán los hallazgos evidenciados durante la supervisión técnica estructural de las cuatro obras visitadas.

Tabla 7. Control de hallazgos estructurales 1.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
1	Registro fotográfico	<p>El refuerzo superior de las vigas de cimentación debe tener mínimo 3 cm sin recubrimiento para su posterior adherencia con la placa y el traslape del refuerzo no cumple con las especificaciones técnicas estructurales. El traslape del refuerzo no cumple con las exigencias técnicas estructurales.</p> 
	Solicitud	<p>Se solicita la reparación de este elemento estructural, picar hasta garantizar la longitud sin recubrimiento y picar una sección de la viga para lograr la longitud de traslape del refuerzo.</p> 


Fuente: Propia.

Tabla 8. Control de hallazgos estructurales 2.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
2	Registro fotográfico	<p data-bbox="609 352 1469 436">Dentro de los elementos de borde de los muros estructurales en concreto no pueden quedar embebidos ningún tipo de elementos no estructurales, de igual manera el cruce de tuberías en vigas de cimentación deberá ser</p> 
	Solicitud	<p data-bbox="609 1108 1469 1218">Se solicita la reparación de este elemento estructural, ubicar refuerzo adicional que garantice el refuerzo de la sección de la viga por donde se presenta el corte de esta por tubería. Para el caso de la tubería embebida en los elementos de borde de los muros solicitar la aprobación del Ingeniero calculista.</p> 

Registro fotográfico de acción correctiva.

Tabla 9. Control de hallazgos estructurales 3.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
3	Registro fotográfico	<p data-bbox="609 317 1461 373">Se evidencia refuerzo de placa de cimentación maltratado lo cual fatiga el material reduciendo la transferencia de esfuerzos del elemento estructural.</p> 
	Solicitud Registro fotográfico de acción correctiva	<p data-bbox="609 1360 1461 1417">Se solicita la reparación de este elemento estructural realizando los anclajes necesarios o regatas sobre la placa para la reposición del refuerzo como acción correctiva.</p>

Fuente: Propia.

Tabla 10. Control de hallazgos estructurales 4.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
4	Registro fotográfico	<p data-bbox="609 315 1461 367">Se evidencia refuerzo de placa de cimentación maltratado lo cual fatiga el material reduciendo la transferencia de esfuerzos del elemento estructural.</p> <div data-bbox="755 430 1323 1270"> </div>
	Solicitud	<p data-bbox="609 1360 1461 1417">Se solicita la reparación de este elemento estructural realizando los anclajes necesarios o regatas sobre la placa para la reposición del refuerzo como acción correctiva.</p> <p data-bbox="446 1423 584 1528">Registro fotográfico de acción correctiva</p>



Fuente: Propia.

Tabla 11. Control de hallazgos estructurales 5.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
5	Registro fotográfico	<p data-bbox="592 310 1438 373">Se evidencia refuerzo superior e inferior de placa de entre piso cortado por reparación de tubería de red de suministro de agua potable.</p>  <p data-bbox="690 430 1347 1050">A photograph showing a circular hole cut into a concrete floor slab. The hole reveals a network of white PVC pipes. Several steel reinforcement bars (rebar) are visible protruding from the concrete around the hole, indicating that the slab's structural integrity was compromised during the pipe installation. The surrounding concrete surface is rough and shows signs of recent work.</p>
	Solicitud	<p data-bbox="592 1134 1438 1228">Se solicita la reparación de este elemento estructural picando una sección de la placa y reponer el refuerzo que fue maltratado garantizando la longitud de traslape del elemento estructural según especificaciones de diámetros.</p>
	Registro fotográfico de acción correctiva	



Fuente: Propia.

Tabla 12. Control de hallazgos estructurales 6.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
	Registro fotográfico	<p data-bbox="609 315 1464 399">Se evidencia refuerzo inferior de placa de entre piso sin el recubrimiento mínimo exigido por el diseño estructural, lo cual no garantiza las exigencias técnicas y de calidad del elemento estructural.</p> 
6	Solicitud	<p data-bbox="609 1008 1464 1092">Se solicita la reparación de este elemento estructural con mortero de baja retracción "mortero estructural", se requiere la utilización de panelas para garantizar en recubrimiento del refuerzo.</p> 



Fuente: Propia.

Tabla 13. Control de hallazgos estructurales 7.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
7	Registro fotográfico	<p data-bbox="609 315 1461 367">Se evidencia refuerzo expuesto de placa de entre piso de punto fijo por mal proceso de vibrado en el vaciado del elemento estructural.</p> 
	Solicitud	<p data-bbox="609 1102 1461 1155">Se solicita la reparación de este elemento estructural picando una sección del elemento para volverla a fundir.</p> <p data-bbox="446 1375 584 1480">Registro fotográfico de acción correctiva</p> 



Fuente: Propia.

Tabla 14. Control de hallazgos estructurales 8.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
	Registro fotográfico	<p data-bbox="609 315 1429 346">Se evidencia refuerzo de placa y vigas de transición maltratado "fatiga" del material.</p> 
8	Solicitud	<p data-bbox="609 1043 1461 1123">Se solicita la reparación de este elemento estructural cortando el refuerzo y reponerlo garantizando la longitud de traslapo, esta acción correctiva se deberá contar con la aprobación del calculista por temas de momentos generados por el elemento.</p> 
	Registro fotográfico de acción correctiva	

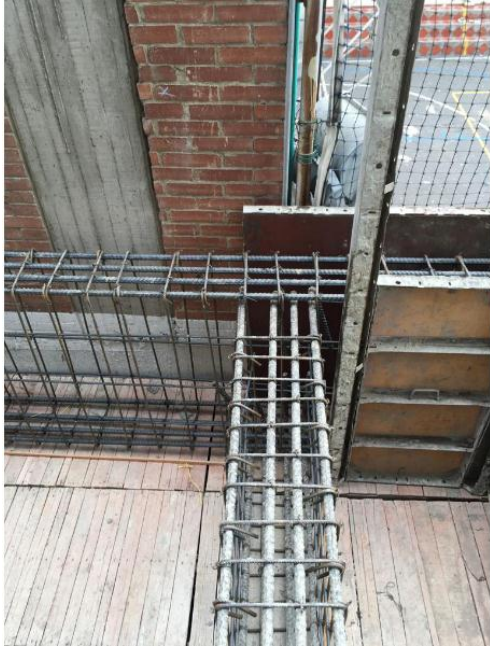

Fuente: Propia.

Tabla 15. Control de hallazgos estructurales 9.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
9	Registro fotográfico	<p data-bbox="609 317 1464 401">Se evidencia refuerzo de muro de contención doblado “fatiga” del material, lo cual no hay conexión entre los muros estructurales para la transferencia de esfuerzos transmitidos por las cargas.</p>  <p data-bbox="459 762 571 816">Registro fotográfico</p>
	Registro fotográfico de acción correctiva	<p data-bbox="440 1184 1464 1234">Se solicita enderezar el refuerzo y en donde se evidencie que el refuerzo está muy maltratado hacer anclajes al muro.</p>  <p data-bbox="444 1430 586 1539">Registro fotográfico de acción correctiva</p>


Fuente: Propia.

Tabla 16. Control de hallazgos estructurales 10.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
10	Registro fotográfico	<p data-bbox="594 352 1094 380">Se evidencia refuerzo de viga de cimentación corto.</p> 
	Registro fotográfico de acción correctiva	<p data-bbox="431 1182 1409 1228">Se solicita ubicar bastones de refuerzo con la misma cuantía para garantizar la longitud de diseño del elemento estructural.</p> 

Fuente: Propia

Tabla 17. Control de hallazgos estructurales 11.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS	
Se evidencia corte de refuerzo de muros estructurales en concreto.			
11	Registro fotográfico		
	Solicitud	Se solicita reponer el refuerzo cortado con barras del mismo diámetro o con una sección de la misma malla de refuerzo.	
11	Registro fotográfico de acción correctiva		


Fuente: Propia.

Tabla 18. Control de hallazgos estructurales 12.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS	
12	Registro fotográfico	Se evidencia hormigueo en el concreto lo cual deja al descubierto el acero de refuerzo.	
			
	Solicitud	Se solicita picar el elemento estructural para fundirlo nuevamente.	
	Registro fotográfico de acción correctiva	NO REGISTRA	



Fuente: Propia.

Tabla 19. Control de hallazgos estructurales 13.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS	
13	Registro fotográfico	Se evidencia viga de confinamiento sin refuerzo superior.	
	Registro fotográfico de acción correctiva		
			Solicitud
NO REGISTRA			

Fuente: Propia.

Tabla 20. Control de hallazgos estructurales 14.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
Registro fotográfico	Se evidencia refuerzo de columnas corto.	
		
14	Solicitud	Se solicita realizar anclajes para garantizar la longitud del elemento estructural.
Registro fotográfico de acción correctiva		

Fuente: Propia.

Tabla 21. Control de hallazgos estructurales 15.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS	
15		Se evidencia que el acero de refuerzo de los elementos estructurales del proyecto no cumple con las especificaciones técnicas de almacenamiento.	
	Registro fotográfico		
	Solicitud	Se solicita mejorar las condiciones de almacenamiento del acero.	
Registro fotográfico de acción correctiva	NO REGISTRA		



Fuente: Propia.

Tabla 22. Control de hallazgos estructurales 16.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS	
16		Se evidencia que el acero de refuerzo de vigas de cimentación ni tienen el recubrimiento ni la sección indicada en los planos estructurales.	
	Registro fotográfico		
	Solicitud	Se solicita mejorar las condiciones de almacenamiento del acero.	
	Registro fotográfico de acción correctiva	NO REGISTRA	



Fuente: Propia.

Tabla 23. Control de hallazgos estructurales 17.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
17	Registro fotográfico	<p data-bbox="607 352 1419 380">Se evidencia refuerzo de placa de entre piso expuesto por hormigueo del concreto.</p> 
	Registro fotográfico de acción correctiva	<p data-bbox="607 758 1463 810">Se solicita picar el material suelto y reparar con mortero estructural "mortero de baja retracción".</p> 



Fuente: Propia.

Tabla 24. Control de hallazgos estructurales 18.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
18	Registro fotográfico	<p data-bbox="607 352 1468 411">Se evidencia refuerzo de muros las cortados para la ubicación de refuerzo de placa de entre piso.</p> 
	Solicitud	<p data-bbox="607 1035 1468 1121">Se solicita antes de fundir la placa reponer el refuerzo del muro estructural de igual manera se solicita no degrafilar el refuerzo dejando una sección horizontal de este para evitar la reducción de la sección de las barras".</p> <p data-bbox="444 1310 591 1423">Registro fotográfico de acción correctiva</p> 


Fuente: Propia.

Tabla 25. Control de hallazgos estructurales 19.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
19	Registro fotográfico	<p data-bbox="607 352 1328 380">Se evidencia refuerzo de placa de entre piso cortado por pases de tubería.</p> 
	Registro fotográfico de acción correctiva	<p data-bbox="440 1199 1468 1245">Se solicita reponer el refuerzo cortado con barras o malla del mismo diámetro de diseño estructural.</p> 


Fuente: Propia.

Tabla 26. Control de hallazgos estructurales 20.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS	
20		Se evidencia dovela sin fundir.	
	Registro fotográfico		
	Solicitud Registro fotográfico de acción correctiva	Se solicita vaciar la dovela con grouting.	
		NO REGISTRA	

Fuente: Propia.

Tabla 27. Control de hallazgos estructurales 21.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS	
21	Se evidencia refuerzo maltratado de viga levantada de placa.		
	Registro fotográfico		
	Solicitud	Se solicita cambiar el acero de refuerzo.	NO REGISTRA
	Registro fotográfico de acción correctiva		

Fuente: Propia.

Tabla 28. Control de hallazgos estructurales 22.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS	
22	Registro fotográfico	Se evidencia refuerzo de muro estructural en concreto expuesto y mal armado.	
			
	Solicitud	Se solicita picar sección de muro para que el refuerzo finalice en escuadra según las indicaciones estructurales.	
Registro fotográfico de acción correctiva	NO REGISTRA		



Fuente: Propia.

Tabla 29. Control de hallazgos estructurales 23.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS	
23	Registro fotográfico	Se evidencia elemento de borde de refuerzo de muro estructural en concreto sin fundir.	
			
	Solicitud	Se solicita picar sección de muro para mejor adherencia del concreto y fundir nuevamente garantizando que el refuerzo quede dentro de la sección a fundir	
	Registro fotográfico de acción correctiva	NO REGISTRA	

Fuente: Propia.

Tabla 30. Control de hallazgos estructurales 24.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
	Registro fotográfico	<p data-bbox="607 317 1469 373">Se evidencia que refuerzo de muro estructural en mampostería no está embebido en la pega de mortero.</p> 
24	Registro fotográfico de acción correctiva	<p data-bbox="607 848 1469 905">Se solicita primeramente ubicar la pega de mortero y luego si ubicar el refuerzo para garantizar que quede embebido en la pega de mortero.</p> 

Fuente: Propia.

Tabla 31. Control de hallazgos estructurales 25.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS	
25	Registro fotográfico	Se evidencia elemento de borde de refuerzo de muro estructural en concreto sin fundir.	
			
	Solicitud	Se solicita picar sección de muro para mejor adherencia del concreto y fundir nuevamente garantizando que el refuerzo quede dentro de la sección a fundir	
	Registro fotográfico de acción correctiva	NO REGISTRA	


Fuente: Propia.

Tabla 32. Control de hallazgos estructurales 26.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
26		Se evidencia que el elemento de borde de refuerzo de muro estructural en concreto no tiene la longitud del traslape según los criterios técnicos de diseño.
	Registro fotográfico	
	Solicitud	Se solicita ubicar el refuerzo de tal manera que el refuerzo cumpla con las exigencias técnicas de diseño estructural.
	Registro fotográfico de acción correctiva	NO REGISTRA


Fuente: Propia.

Tabla 33. Control de hallazgos estructurales 27.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
27		Se evidencia que el refuerzo del muro estructural en concreto no está centrado en la sección del muro.
	Registro fotográfico	
	Solicitud	Se solicita anclar refuerzo o en su defecto realizar regata sobre el muro para ubicar el refuerzo.
	Registro fotográfico de acción correctiva	NO REGISTRA

Fuente: Propia.

Tabla 34. Control de hallazgos estructurales 28.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS	
28	Registro fotográfico	Se evidencia que el refuerzo de la viga no cumple con la longitud de traslapo.	
	Solicitud	Se solicita garantizar la longitud de traslapo tal como se indica en las exigencias técnicas de diseño.	
	Registro fotográfico de acción correctiva		NO REGISTRA

Fuente: Propia.

Tabla 35. Control de hallazgos estructurales 29.

Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
Registro fotográfico	Se evidencia que el refuerzo inferior y el superior no cuentan con la distancia de separación mínima requerida según los planos estructurales.	
		
Solicitud	Se solicita picar sección de placa de entre piso para ubicar panelas para garantizar la separación entre los refuerzos.	
29	Registro fotográfico de acción correctiva	

Fuente: Propia.

Tabla 36. Control de hallazgos estructurales 30.



Hallazgo	09/03/2019	REGISTRO DE HALLAZGOS
30	Registro fotográfico	<p data-bbox="607 384 1463 441">Se evidencia que el refuerzo del muro estructural en concreto no está centrado en la sección del muro.</p> 
	Registro fotográfico de acción correctiva	<p data-bbox="607 888 1463 945">Se solicita picar sección de placa hasta llegar a la parte superior de la viga de cimentación y realizar los anclajes del muro estructural.</p> 

Imagen 35. Visita técnica Internacional.



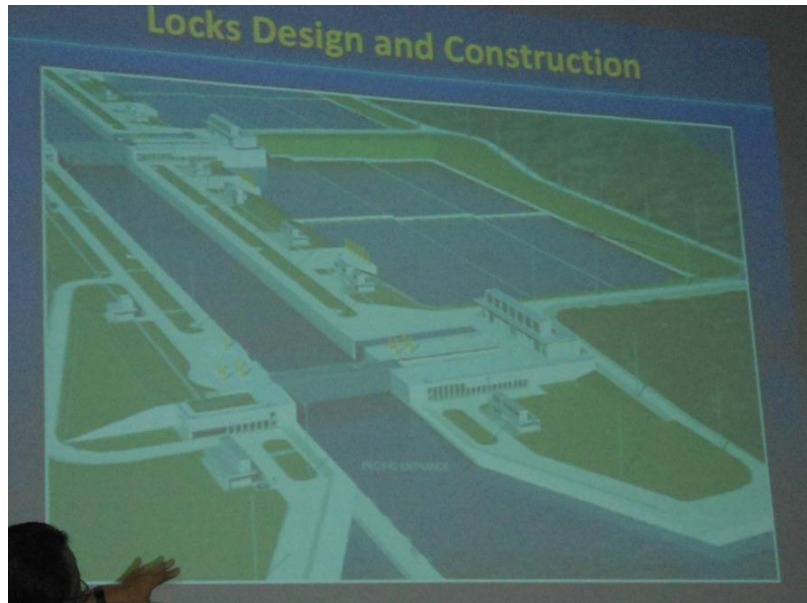
Fuente: Propia.

Imagen 36. Visita técnica Internacional.



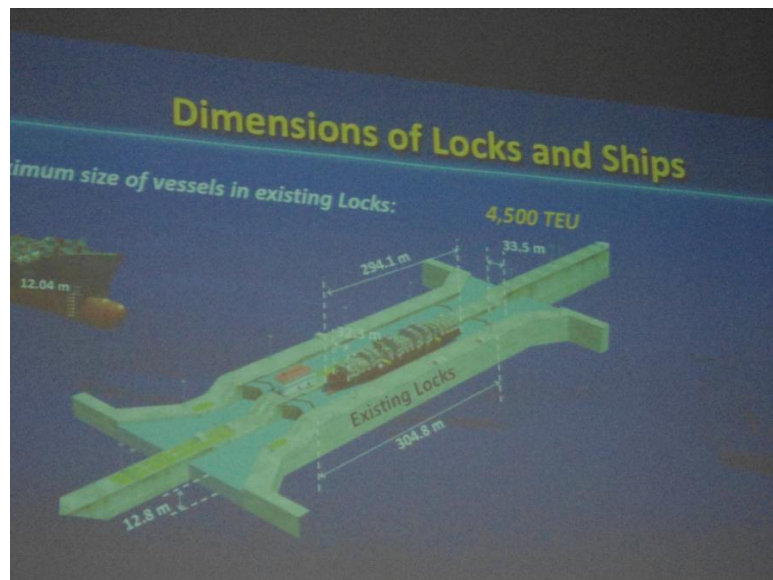
Fuente: Propia.

Imagen 37. Visita técnica Internacional.



Fuente: Propia.

Imagen 38. Visita técnica Internacional.



Fuente: Propia.

Imagen 39. Visita técnica Internacional.



Fuente: Propia.

Imagen 40. Visita técnica Internacional.



Fuente: Propia.

Imagen 41. Visita técnica Internacional.



Fuente: Propia.

Imagen 42. Visita técnica Internacional.



Fuente: Propia.

Imagen 43. Visita técnica Internacional.



Fuente: Propia.

Imagen 44. Visita técnica Internacional.



Fuente: Propia.

7. ANALISIS DE RESULTADOS

Los hallazgos observados durante la ejecución de las actividades estructurales realizadas en las cuatro (4) obras visitadas y la investigación sobre las falencias constructivas presentes en la ampliación del canal de Panamá, se logró identificar prácticas inadecuadas con respecto al uso del acero, lo cual conlleva a la presencia de problemáticas estructurales que pueden poner en riesgo la estabilidad estructural de los proyectos.

Para entender un poco sobre las falencias constructivas en cuanto a la calidad del acero y a la forma como se ejecutan ciertas actividades que se están presentando en obra, se dará a conocer algunas especificaciones técnicas experimentales a las cuales se deberá someter el acero para identificar la calidad del material.

Tabla 37. Ensayos para barras de acero.

ENSAYOS PARA ACEROS	
BARRAS CORRUGADAS	
Tamaño de cada muestra	✓ Cuatro (4) Probetas (2 parejas) por cada diámetro.
Frecuencia del ensayo	✓ Cada 100 toneladas de acero consumido.
Forma de ensayo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dos (2) probetas (de cada diámetro.) ✓ Dos (2) probetas (de cada diámetro.) se dejan como muestra.
Detalle del espécimen	✓ Barras #3, #4, #5, #6, #7, #8 de 1.20m de longitud.
Tipo de Ensayo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Propiedades mecánicas (Fu, Fy, Fu/Fy, % de alargamiento). ✓ Propiedades de resalte. ✓ Área y peso. ✓ Doblamiento.
Norma Técnica Colombiana (NTC)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ NTC 3353 (Definiciones y métodos para los ensayos mecánicos de productos de aceros) ✓ NTC 2289 (Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación para, refuerzo de concreto). (Resaltes. Altos relieves transversales presentes en la superficie de la barra corrugada). Área y peso. Doblamiento.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nombre y Dirección de la obra. ✓ Identificación del constructor. ✓ Fabricante y Norma de Fabricación. ✓ Fecha de recepción de las muestras y fecha de realización de los ensayos. ✓ Señalar inequívocamente si se cumple o no los parámetros. ✓ Nombre y firma del director de laboratorio.

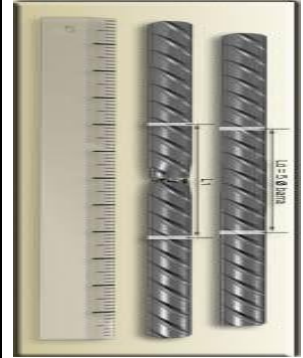


Figura 1 Probetas Acero



Figura 2 Ensayo Doblamiento



Figura 3 Ensayo Tracción

Fuente: Propia.

Tabla 38. Ensayos para mallas electrosoldadas.

MALLA ELECTROSOLDADA DE ACERO	
Tamaño de cada muestra	✓ Un (1) metro cuadrado (m ²) de malla, (ver figura 1).
Frecuencia del ensayo	✓ Cada 100 toneladas de acero consumido.
Forma de ensayo	✓ Seis (6) probetas, extraídas del metro cuadrado (m ²) de malla.
Detalle del espécimen	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Probeta uno (1): se corta a lo largo del grafil longitudinal, para ensayo a la tracción, (ver figura 2). ✓ Probeta dos (2) a la cinco (5): se corta a lo largo del grafil longitudinal, para ensayo al corte, (ver figura 2). ✓ Probeta seis (6): se corta a lo largo del grafil longitudinal o transversal siempre y cuando ambos sean del mismo diámetro para ensayo al doblado, (ver figura 2).
Tipo de Ensayo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tracción ✓ Corte ✓ Doblado
Norma Técnica Colombiana (NTC)	✓ NTC 5806 (Alambre de acero liso y grafilado y mallas electrosoldadas para refuerzo de concreto)
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nombre y Dirección de la obra. ✓ Identificación del constructor. ✓ Fabricante y Norma de Fabricación. ✓ Fecha de recepción de las muestras y fecha de realización de los ensayos. ✓ Señalar inequívocamente si se cumple o no los parámetros. ✓ Nombre y firma del director de laboratorio.

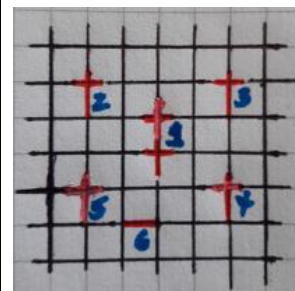


Figura 1 Muestra - Malla

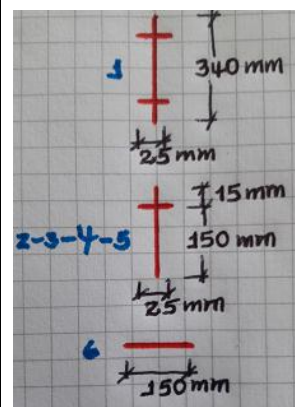


Figura 2 Probetas - Malla

Fuente: Propia.

Tabla 39. Ensayos para alambre grafilado.

ALAMBRE GRAFILADO DE ACERO	
Tamaño de cada muestra	✓ Un (1) metro de longitud
Frecuencia del ensayo	✓ Cada 100 toneladas de acero consumido.
Forma de ensayo	✓ Seis (6) probetas, extraídas del metro cuadrado (m ²) de malla.
Detalle del espécimen	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Probeta uno (1): se corta de 380 milímetros para cualquier diámetro de grafil, se ensaya a tracción. ✓ Probeta dos (2): se corta de 200 milímetros para cualquier diámetro de grafil, se ensaya a doblamiento.
Tipo de Ensayo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tracción ✓ Doblado
Norma Técnica Colombiana (NTC)	✓ NTC 5806 (Alambre de acero liso y grafilado y mallas electrosoldadas para refuerzo de concreto)
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nombre y Dirección de la obra. ✓ Identificación del constructor. ✓ Fabricante y Norma de Fabricación. ✓ Fecha de recepción de las muestras y fecha de realización de los ensayos. ✓ Señalar inequívocamente si se cumple o no los parámetros. ✓ Nombre y firma del director de laboratorio.



Figura 1 Ensayo Tracción



Figura 2 Ensayo Doblamiento

Fuente: Propia.

Luego de realizar una inspección detallada en la ejecución de los proyectos se determina que la integridad de una estructura no solo depende de la calidad de los componentes del acero, sino que, además, del modo en que se emplea este material “la forma y el trato a la hora de ser manipulado el acero”. Durante el proceso de supervisión técnica realizada en los proyectos, se evidenció que las patologías más frecuentes son la fatiga y la corrosión del acero. El uso inadecuado del acero en obra puede afectar gravemente sus propiedades mecánicas y, por lo tanto,

afectar la resistencia de los proyectos. Por ello se evidenciaron las siguientes prácticas inadecuadas.

- El refuerzo parcialmente embebido en concreto se doblaba, lo cual generaba fatiga en el acero y debilitaba la sección de concreto del elemento estructural.
- El doblado del acero no se realizaba con herramientas adecuadas lo cual generaba una reducción de la sección de las barras de refuerzo.
- No se respetaba los diámetros o cuantías exigidas según los planos estructurales.
- Cortes de refuerzo en elementos estructurales.
- Longitudes de traslapes de refuerzo menores a las exigencias técnicas de diseño.
- Elementos no estructurales embebidos en elementos de borde de muros estructurales en concreto.
- Distribución y localización de refuerzo en desacuerdo con las exigencias estructurales.
- Hormigqueo de elementos en concreto, lo cual expone el refuerzo al ataque de agentes químicos y físicos provocando patologías como la corrosión del material.
- Refuerzo sin el recubrimiento mínimo exigido por la normatividad constructiva colombiana.
- Condiciones de almacenamiento inadecuados.
- Ubicación de refuerzo maltratado en elementos estructurales.
- Reparaciones estructurales inadecuadas.
- Cortes de mallas en puntos de soldadura, lo cual reduce la sección del refuerzo.

Partiendo de los daños estructurales estudiados in situ luego de los hallazgos evidenciados durante las visitas técnicas, se ha logrado identificar una serie de causas que ponen en manifiesto la importancia de la capacidad estructural de los elementos constructivos diseñados.

La correcta construcción de una obra son factores que inciden en el comportamiento dinámico de la misma. Así, de esta manera, una obra la cual garantiza la calidad en su proceso de ejecución logrará un mejor desempeño estructural y minimizará posibles deterioros sobre la estructura.

Según el Grupo Unidos por el Canal (Canal, 2015), identificó una falla constructiva que provocó filtraciones de agua en uno de los puntos de las nuevas esclusas del Canal, en el sector Pacífico lo cual generó la presencia de grietas sobre la superficie de los elementos estructurales.

Las filtraciones se originaron por un problema en el diseño de la esclusa, se debió al insuficiente acero de refuerzo en el área donde se produjeron las grietas.

Imagen 45. Problema estructural de esclusas.



Fuente: <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/insuficiencia-de-acero-pudo-causar-filtraciones-en-esclusas-de-la-ampliacion-del-canal-de-panama>.

Para reparar y reforzar los escalones de la estructura de las nuevas esclusas, se contempla colocar barras de acero de calibre 18 y un sellante.

GUIA DE RECOMENDACIONES PARA ACEROS DE REFUERZO

La especificación del acero de refuerzo debe cumplir las especificaciones descritas en planos estructurales para cada uno de los elementos estructurales del proyecto. El control de la calidad del acero utilizado en la obra debe realizarse conforme a lo especificado en la NSR-10, en su título C.3.5.

- C.3.5.3 — Refuerzo corrugado
- **C.3.5.3.1** — Las barras de refuerzo corrugado deben ser de acero de baja aleación que cumplan con la norma NTC 2289 (ASTM A706M).
- Se tomaron muestras de acero cada 100 Ton. del acero llegado a la obra a las que se les realizaron ensayos para controlar las propiedades mecánicas (F_u , F_y , F_u/F_y y % de alargamiento), propiedades de resalto, área y peso, y Doblamiento, estos ensayos se llevaron a cabo de acuerdo a lo establecido en las siguientes normas técnicas NTC 3353 (Definiciones y métodos para los ensayos mecánicos de productos de aceros), NTC 2289 (Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación para, refuerzo de concreto). (Resaltes. Altos relieves transversales presentes en la superficie de la barra corrugada). Área y peso. Doblamiento.

Transporte

Las barras de acero son transportadas a la obra mediante en vehículos con plataforma con una longitud suficiente para que albergar varillas hasta de 12.00 m de largo, deben transportarse amarradas por paquetes o estibas.

Recepción en obra

Al momento de descargar, las varillas no deben arrastrarse sobre ninguna superficie que pueda alterar u afectar su superficie. Se debe preparar con anticipación el lugar donde será almacenado antes de ser sometido a actividades constructivas.

Almacenamiento

Una vez el acero de refuerzo este en obra, se debe almacenar de manera que resulte fácil encontrar la barra deseada.

Revisión de los planos estructurales y detalles del acero de refuerzo

Se deben estudiar detalladamente los planos y las especificaciones técnicas del proyecto, analizando las metodologías y tipos de acero a utilizar. Así mismo, se debe contar con el despiece de todos los tipos de barras requeridas, donde se indique sus características como el diámetro de la barra, longitud y la cantidad de barras de cada tipo para la construcción de los elementos.

Corte y figuración en obra del acero de refuerzo

El banco de figuración debe estar conformado por mesas firmemente ancladas al suelo, sobre cuya superficie de trabajo se fija una platina de figuración con pines verticales que sirven de guías para doblar las barras con la ayuda de una palanca o tubo metálico de longitud apropiada al diámetro a doblar

Colocación del refuerzo

Todo el acero de refuerzo se debe colocar en la posición exacta mostrada en los planos, y debe asegurarse firmemente para impedir su desplazamiento durante la colocación y vibrado del concreto.

El acero de refuerzo al ser colocado en su disposición final, debe estar libre de polvo, escamas de óxido, rebabas de concreto, pintura, grasa o cualquier otro tipo de material que pueda afectar la adherencia del acero al concreto.

Los recubrimientos del acero de refuerzo, los diámetros mínimos de doblaje de las barras, las longitudes de anclaje, longitudes de traslape y todos los detalles de figuración se deben hacer de acuerdo a las exigencias técnicas indicadas en los planos estructurales.

Las barras de acero se deben amarrar con alambre adecuadamente para evitar que se muevan al vaciar o vibrar el concreto. Además, este se debe asegurar en las intersecciones con alambre dúctil utilizando un amarrador o la herramienta adecuada.

La distancia del acero a las formaletas se debe mantener por medio de bloques de mortero prefabricados con las mismas características del elemento a vaciar.

Por ningún motivo se acepta el uso de otro elemento, como trozos de madera, material de suelo, rocas etc.

Los elementos metálicos de soporte que van a quedar en contacto con la superficie exterior del concreto deben ser protegidos contra la corrosión.

Cuando se requiera soldar las varillas de acero de refuerzo, se deben seguir los procedimientos y disposiciones de las normas establecidas.

Durante el vaciado del concreto, se debe vigilar en todo momento que se conserven inalteradas las distancias entre las barras y el recubrimiento libre entre el acero de refuerzo y las caras internas de la formaleta.

Tabla 40. Folleto Tabla



Fuente: Propia

Tabla 41. Folleto Tabla

PRELIMINARES

Transporte



Las barras de acero se llevan a la obra mediante camiones cuya plataforma o planchón debe ser de longitud suficiente para que albergar varillas hasta de 12.00 m de largo. Se debe impedir que las varillas sobresalgan del camión. Preferiblemente deben ir amarradas por paquetes o estibas.

Recepción en obra

El recibo de obra debe hacerse siguiendo la guía que establece las características de las barras: Longitud, diámetro, figuración. Al momento de descargar, las varillas no deben arrastrarse sobre el pavimento.

Almacenamiento

Las barras de acero, una vez lleguen a la obra, se deben almacenar de manera que resulte fácil encontrar la barra deseada. Para tal fin se debe utilizar un sistema de almacenamiento que facilite la clasificación y garantice el cuidado de las barras antes de su utilización.



EJECUCIÓN

Revisión de los planos estructurales y detalles del acero de refuerzo

Se deben estudiar detalladamente los planos y las especificaciones propias del proyecto observando los tipos de acero a utilizar. Así mismo, se debe contar con el despiece de todos los tipos de barras requeridas, donde se indique su diámetro, longitud y la cantidad de barras de cada tipo.

Corte y figuración en obra del acero de refuerzo

El banco de figuración debe estar conformado por mesas firmemente ancladas al suelo, sobre cuya superficie de trabajo se fija una platina de figuración con pines verticales que sirven de guías para doblar las barras con la ayuda de una palanca o tubo metálico de longitud apropiada al diámetro a doblar



Colocación del refuerzo

Todo el acero de refuerzo se debe colocar en la posición exacta mostrada en los planos, y debe asegurarse firmemente para impedir su desplazamiento durante la colocación y vibrado del concreto.

Recomendaciones de uso

- Se revisa su estado que no presente oxidación ni deterioro excesivo.
- Se revisa que su almacenamiento sea el adecuado como por ejemplo (que su acopio se haga sobre burros o listones para evitar el contacto directo con el suelo).
- A la hora de su utilización si se encuentra contaminado por algún material se recomienda hacer la respectiva limpieza.
- Se verifica que las características del acero sean las adecuadas para cada actividad (diámetro, cantidad, longitud, resistencia), como por ejemplo armado de vigas, columnas, losas, muros entre otras.
- Se revisa su resistencia mediante los resultados obtenidos, después de haberle realizado a las muestras los ensayos de tracción, fluencia y fuerza cortante.
- Los pedidos que se reciban en la obra se ubicaran de tal manera que se aislé de la humedad excesiva para evitar deformaciones o alteraciones.
- Del material se tomarán las muestras necesarias para la realización de pruebas de control de calidad, y en el caso que los resultados no sean satisfactorios el material tendrá que ser rechazado.
- Debe evitarse el contacto de sustancias grasientas con la superficie de las barras de acero de refuerzo. Si esto sucede se limpiará con solventes que no dejen residuos de grasas.
- Si por alguna circunstancia el acero de refuerzo ha permanecido almacenado un tiempo considerable y se encuentra oxidado o deteriorado, se deben realizar una vez más las pruebas de laboratorio necesarias para determinar si el acero es apto para utilizarse o no.
- No se deben de enderezar y desdoblar varillas, ya sea por corrección de armado o por su reutilización.

Tabla 43. Matriz DOFA.

		MATRIZ DOFA	
IMPORTANCIA DE UNA ADECUADA SUPERVISIÓN TÉCNICA SOBRE EL ACERO DE REFUERZO DURANTE LA EJECUCIÓN DE CONSTRUCCIONES DE EDIFICACIONES		ANÁLISIS INTERNO	
		FORTALEZAS	DEBILIDADES
		Supervisión y ejecución del Proyecto por personal y Entidades especializadas.	Rotación de personal de apoyo y acompañamiento
		Cumplimiento estándares de calidad establecidos para el estudio, aprobación y ejecución del Proyecto.	Débiles procesos de comunicación interna y externa
		Personal calificado, actualizaciones, capacitaciones para fortalecer el mismo. Compromiso y sentido de pertenencia.	Personal con poca experiencia para realizar actividades constructivas.
		Procesos misionales fortalecidos, plan estratégico estructurado donde se involucran todas la áreas y procesos para dar cumplimiento a la misión, visión, metas y objetivos del proyecto.	Personal con poca formación profesional para realizar la supervisión técnica durante el proceso de ejecución de la obra.
		La Empresa tiene implementada la normatividad colombiana vigente para el cuidado estructural de los proyectos.	Tiempos limitados para capacitar y retroalimentar procesos a todo el personal.
Materiales certificados			
OPORTUNIDADES	ESTRATEGIAS OFENSIVAS	ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN	
Fortalecimiento de las estructuras	Ampliación de estructuras	Gestionar la calibración de medidores y laboratorios con proveedores externo.	
Adquisición de tecnología para optimización de procesos.	Implementación de Sistemas de Calidad	Estudios estructurales previos, para determinar niveles de afectación	
Se tiene la posibilidad de exigir y controlar calidad, gracias a las interventorias contratadas.	Responsabilidad social a través de los programas de gestión estructural con el personal.	Implementación de medidas de prevención a daños estructurales.	
Supervisión y certificación por entes especializados, garantizando el comportamiento estructural del proyecto.	Uso racional de los Recursos	Certificación por entes especializados sobre la estabilidad del proyecto	
Evidenciar falencias constructivas durante la ejecución del proyecto.		Supervisión constante durante la ejecución del proyecto, garantizando calidad de materiales y mano de obra.	
AMENAZAS	ESTRATEGIAS DEFENSIVAS	ESTRATEGIAS DE SUPERVIVENCIA	
Inadecuadas formas de uso del acero de refuerzo y acciones correctivas mal realizadas.	Seguimiento y control permanente al proceso constructivo de los proyectos.	Buscar alternativas frecuentes para evitar falencias constructivas.	
Daños estructurales irreversibles	Mantener actualizado el talento humano en diferentes aspectos (comunicación)	Respuesta rápida ante daños y requerimientos del proyecto	
Pérdida de estabilidad estructural en los proyectos.	Solicitar a la interventoría el informe del estudio estructural de manera constante para garantizar la calidad de los materiales utilizados para garantizar la estabilidad estructural.	Equipos que permitan la ejecución del proyecto y que se encuentren a la vanguardia de nuevas tecnologías.	
Obsolescencia en equipos de construcción, distribución de materiales, y tecnologías aplicadas para la construcción del proyecto, de acuerdo a exigencias legales.	Proyectar e invertir en reparación de daños alternos a la ejecución del proyecto	Supervisión alterna para evaluar daños estructurales y cumplimiento de tiempos establecidos para acciones correctivas.	
Aumento de patologías en el acero	Contar con procedimientos dinámicos que permita ajustarse a cambios estructurales autorizados.		
Aumento de accidentalidad estructural.	Solicitar informe de avance de obra durante todas las etapas del proyecto.		
Aumento de los costos del proyecto.			

Fuente: Propia.

Tabla 44. Matriz Vester.

MATRIZ DE VESTER															
	DESCRIPCION	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	TOTAL INFLUENCIA
A	IMPORTANCIA DE LAS PRÁCTICAS DE VIGILANCIA TÉCNICA DEL ACERO ESTRUCTURAL DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA														
		2	2	2	2	3	3	2	3	3	2	2	3	3	30
B	Se revisa su estado que no presente oxidación ni deterioro excesivo.	2		2	3	2	2	3	2	3	2	2	2	3	28
C	Se revisa que su almacenamiento sea el adecuado	2	2		2	3	2	2	3	2	2	3	3	2	28
D	A la hora de su utilización si se encuentra contaminado por algún material se recomienda hacer la respectiva limpieza.	2	3	2		3	2	2	3	2	2	3	2	3	29
E	Se verifica que las características del acero sean las adecuadas para cada actividad (diámetro, cantidad, longitud, resistencia), como por ejemplo armado de vigas, columnas, losas, muros entre otras.	3	2	3	3		3	2	3	2	2	3	3	2	31
F	Se revisa su resistencia mediante los resultados obtenidos, después de haberle realizado a las muestras los ensayos de tracción, fluencia y fuerza cortante.	3	2	2	2	3		2	3	2	3	3	3	2	30
G	Los pedidos que se reciban en la obra se estibaran de tal manera que se aislé de la humedad excesiva para evitar deformaciones.	2	3	2	2	2	2		2	2	3	2	3	3	28
H	Del material se tomarán las muestras necesarias para la realización de pruebas de calidad, y en el caso que los resultados no sean satisfactorios el material del lote serán totalmente rechazados.	3	2	3	3	3	3	2		2	3	3	3	3	33
I	Debe evitarse el contacto de sustancias grasientas con la superficie de las barras de acero de refuerzo. Si esto sucede se limpiará con solventes que no dejen residuos de grasas.	3	3	2	2	2	2	2	2		2	2	3	3	28
J	Si por alguna circunstancia el acero de refuerzo ha permanecido almacenado un tiempo considerable y se encuentra oxidado o deteriorado, se deben realizar una vez más las pruebas de laboratorio necesarias para determinar si el acero es apto para utilizarse o no.	2	2	2	2	2	3	3	3	2		2	3	3	29
K	No se deben de enderezar y desdoblar varillas, ya sea por corrección de armado o por su reutilización.	2	2	3	3	3	3	2	3	2	2		3	3	31
L	la manipulación del acero esta realizado por mano de obra calificada.	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3		3	33
M	Se realizan capacitaciones al personal	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3		33
	TOTAL DEPENDENCIA	30	28	27	29	31	30	28	33	28	29	31	34	33	

Fuente: Propia.

Tabla 45. Matriz Vester.

		DEPENDENCIA	INFLUENCIA
DESCRIPCION		X	Y
IMPORTANCIA DE LAS PRÁCTICAS DE VIGILA	A	30	30
Se revisa su estado que no presente oxidación ni deterioro excesivo.	B	28	28
Se revisa que su almacenamiento sea el adecuado	C	27	28
A la hora de su utilización si se encuentra contaminado por algún material se recomienda hacer la respectiva limpieza.	D	29	29
las adecuadas para cada actividad (diámetro,	E	31	31
Se revisa su resistencia mediante los resultados obtenidos, después de haberle realizado a las muestras los ensayos de tracción, fluencia y fuerza cortante.	F	30	30
Los pedidos que se reciban en la obra se estibaran de tal manera que se aislé de la humedad excesiva para evitar deformaciones.	G	28	28
Del material se tomarán las muestras necesarias para la realización de pruebas de calidad, y en el caso que los resultados no sean satisfactorios el material del lote serán totalmente rechazados.	H	33	33
Debe evitarse el contacto de sustancias grasientas con la superficie de las barras de acero de refuerzo. Si esto sucede se limpiará con solventes que no dejen residuos de grasas.	I	28	28
Si por alguna circunstancia el acero de refuerzo ha permanecido almacenado un tiempo	J	29	29
No se deben de enderezar y desdoblar varillas, ya sea por corrección de armado o por su reutilización.	K	31	31
la manipulación del acero esta realizado por mano de obra calificada.	L	34	33
Se realizan capacitaciones al personal	M	33	33

Fuente: Propia.

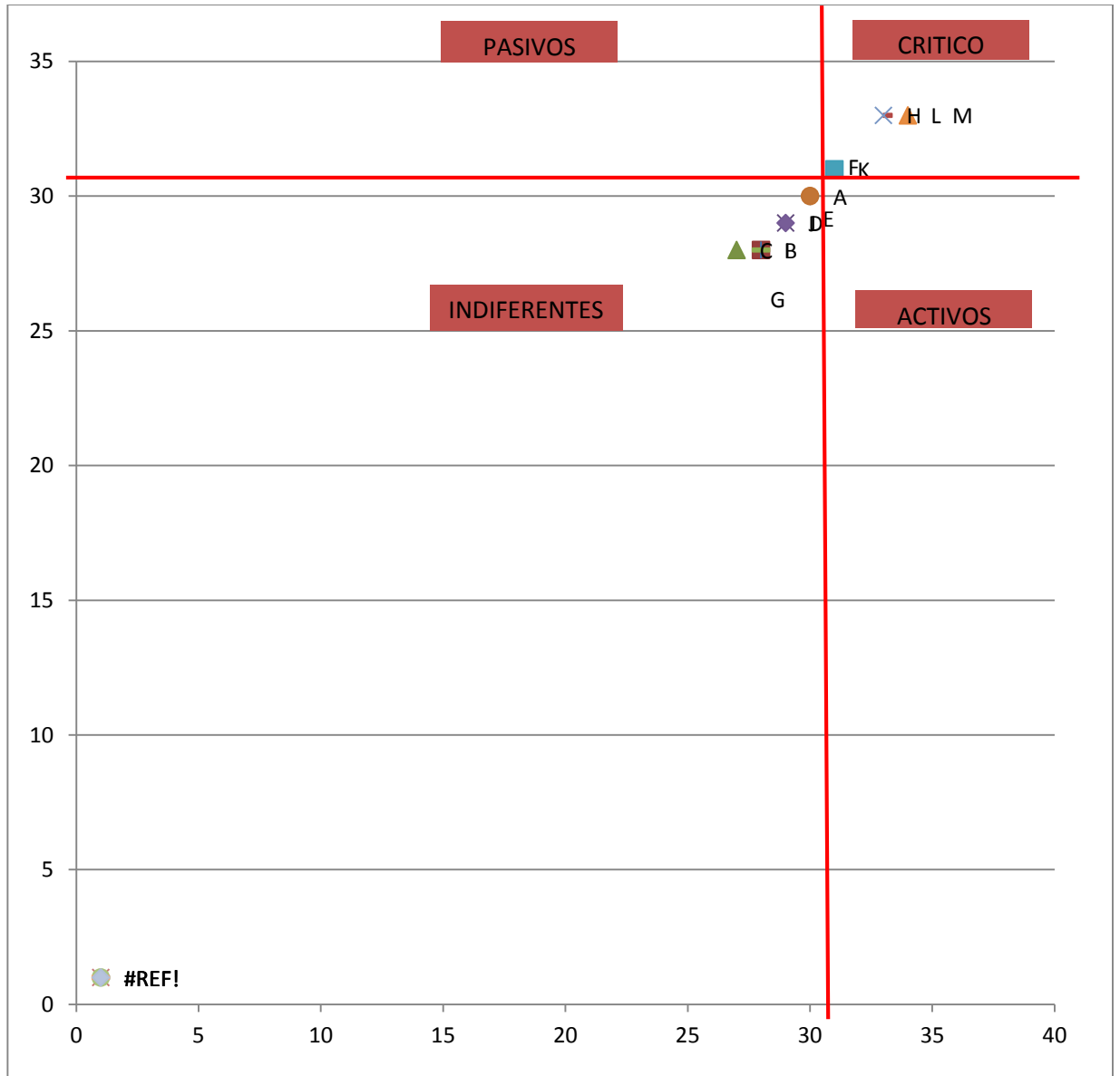
COORDENADAS EJES PARA DEFINIR CUADRANTES

X 30,5

Y 30,5

Tabla 46. Plano Cartesiano.

GRÁFICO CARTESIANO



Fuente: Propia.

Se puede observar por medio del gráfico que las variables críticas con respecto a la adecuada supervisión o vigilancia técnica en los procesos constructivos obedecen a los siguientes aspectos:

- Se enderezan y se hacen dobleces inadecuados con las varillas, ya sea por corrección de armado o por su reutilización.
- La manipulación del acero está realizada por mano de obra NO calificada.
- NO se realizan capacitaciones al personal.

8. CONCLUSIONES

El control de calidad de los materiales utilizados para la ejecución de las obras, se realizó teniendo en cuenta los siguientes parámetros: Especificaciones técnicas establecidas en los diseños del proyecto; Ensayos de control de calidad; Requerimientos de la NSR-10; Procesos establecidos en las NTC; y Fichas técnicas de los materiales “Acero”. El laboratorio utilizado por el constructor para la realización de los ensayos pertinentes a cada uno de los materiales utilizados fue Contecon Urbar, laboratorio que cuenta con todos sus registros, documentos y calibraciones exigidos por el reglamento.

El deterioro por prácticas inadecuadas en las estructuras de acero es de gran magnitud debido a su impacto constructivo, por lo cual es importante conocer las causas de su origen y desarrollo para controlarlo a fin de prolongar la estabilidad estructural de las obras civiles.

Las diferentes técnicas de vigilancia en la ejecución de los proyectos aportan información valiosa para estimar el grado de avance de las diferentes patologías presentes en el acero estructural, con lo que es posible realizar diagnósticos confiables que permitan tomar acciones correctivas para la protección y mantenimiento de las estructuras.

La influencia del medio ambiente en el deterioro del acero es fundamental, es por esta razón que el acero estructural debe ser diseñado con los requerimientos técnicos específicos para cada estructura teniendo en cuenta el lugar donde se desarrollará el proyecto.

La supervisión técnica durante el proceso de construcción es necesario para todo tipo de edificación estructural con el fin de cumplir los requisitos de la norma Colombia de diseño y construcción sismo resistente NSR-2010 – LEY 400 de 1997,

que establecen que la construcción de estructuras de edificaciones, o unidades constructivas, que tenga más de 2000 m² de área construida, independientemente de su uso, debe someterse a una supervisión técnica.

Es conveniente introducir técnicas de vigilancia estructural, haciendo una detallada inspección y seguimiento en el proceso de corrosión de las barras de acero embebidas en concreto con técnicas que garanticen resultados confiables y promover su normatividad.

Durante la inspección de los procesos constructivos se evidencio que las malas prácticas con respecto al acero, se hacen presente por la falta de capacitación del personal responsable de llevar a cabo las prácticas constructivas, por esta razón resulta de suma importancia la implementación de sistemas de gestión de calidad, en donde se involucren todas las personas encargadas de estas actividades para aplicar un sistema de control de calidad en los materiales utilizados.

Es de gran importancia realizar un seguimiento a la revisión de los planos estructurales y despieces, así como la supervisión para la ejecución con base en los planos estructurales de diseño y a la inspección de la misma, con relación al control de calidad de materiales implementados en obra.

Las malas prácticas realizadas en la ejecución de la obra con respecto al acero de refuerzo de diferentes elementos estructurales conlleva al incumplimiento en los requisitos del material frente a una exigencia por parte del diseñador estructural quien entrega las características de los materiales, se analiza cómo se comportaría realmente la estructura con los materiales empleados, concluyendo así que la estructura no va a cumplir las solicitudes ni va a trabajar a satisfacción, es decir, no va a responder a los esfuerzos de tracción debido a que necesitaría más acero para cumplir con todas las solicitudes y esfuerzos de tracción.

Se concluye que es necesario generar un modelo de educación estructural dinámico, continuo y participativo, que busque despertar en la población conciencia, adquiriendo conocimientos y experiencias que le permita a los trabajadores de las obras identificarse con la problemática Estructural que existe en la actualidad en la ejecución de nuevas obras de ingeniería.

La educación en temas estructurales en la dirección y ejecución de las obras de ingeniería es hoy una de las respuestas más generalizadas a la emergente crisis en la forma inadecuada de manipular el acero estructural, crisis que se manifiesta en una gran diversidad de problemáticas estructurales, que van desde la escala local a la nacional y global. Esta formación es de vital importancia porque tiene la finalidad de minimizar los errores constructivos para garantizar el cumplimiento de los diseños técnicos estructurales y los niveles de calidad del acero.

9. RECOMENDACIONES

Para la realización de investigaciones futuras sobre el tema se recomienda hacer una preparación experimental en obra, donde se realicen ensayos del acero maltratado para identificar posibles alteraciones en cuanto a la variación de sus propiedades mecánicas, con el fin de establecer una mayor conclusión en la influencia de malas prácticas constructivas sobre la resistencia final del material.

Dentro de los requisitos de las propiedades mecánicas que debe tener el acero de refuerzo según lo establece la NTC-2289, se recomienda evaluar las propiedades para diferentes fabricantes de acero corrugado de refuerzo en el mercado para de esta manera garantizar las exigencias técnicas del material.

Cumplir a cabalidad la normatividad y recomendaciones de diseño en cuanto al acero de refuerzo y especificaciones, de no ser así, es motivo de rechazo del material constructivo.

Realizar compras de este tipo de material directamente con los fabricantes o afiliados directos.

Exigir los certificados de calidad del material y verificar los sellos de calidad del producto.

Realizar ensayos de laboratorio, para evaluar las propiedades químicas y mecánicas del material antes de ser instalado, previendo lotes de baja calidad.

Acopiar de forma adecuada el material teniendo en cuenta, la exposición ante cualquier agente natural que pueda causar algún deterioro en las propiedades mecánicas y químicas de este, ya que, en ocasiones en las construcciones debido al tratamiento térmico en las barras de acero, la resistencia de la superficie de dicho material se altera dando inicio y propagación de grietas (Damage Characteristics of Cracked TMT Reinforcement Bars, 2013).

Evitar la manipulación en obra respecto a la figuración, ya que en el momento de someter a doblamiento el acero, este puede generar puntos de falla. “La industria ha desarrollado con éxito una variedad de acero corrugado resistente a la corrosión para el sector de la construcción” pero es pertinente hacer un previo análisis del material (Failure analysis of re-bars during bending operations, 2014).

Capacitar al personal técnico y ejecutor de la obra, respecto al uso, disposición, acopio y manejo del acero.

Verificar y controlar el buen manejo y acopio del acero.

Controlar el buen uso y disposición en el proceso constructivo del acero.

Exigir de forma rigurosa el cumplimiento de los parámetros y exigencias técnicas establecidas por el diseñador estructural.

10. REFERENCIAS

NILSON, ARTHUR H. 1999. *DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN CONCRETO.* duodécima edición. Berkeley : McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A, 1999. pág. 738.

An Investigation of the Suitability of Using AISI 1117 Carbon Steel in a Quench and Self-Tempering Process to Satisfy ASTM A 706 Standard of Rebar. **Matthew , Matthew . 2011.** 2011, Graduate Department of Materials Science and Engineering University of Toronto.

Anales del Sistema Sanitario de Navarra. **Madrid, Universidad Rey Juan Carlos. 2007.** Pamplona : s.n., 2007, Vol. 30.

Andes, Universidad de los. 2016. *El concepto de Uniandes sobre el caso Space.* Departamento de Ingenieria Civil y Ambiental, Universidad de los Andes. Bogotá : s.n., 2016.

APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS PULL-OFF Y ULTRASONIDOS EN EL CONTROL DE CALIDAD DEL REFUERZO CON MATERIALES COMPUESTOS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO. **González Fernández, Victoriano , Barrios Padura, Ángela y Molina Huelva, Marta . 2017.** 20 de junio de 2017, Escuela de Arquitectura de Sevilla .

Behavior of composite self-compacting concrete (SCC) reinforced with steel wires from waste tires. **Köroğlu, Mehmet Alpaslan . 2018.** 2018, Faculty of Engineering and Architecture, Necmettin Erbakan University, pág. 15.

Botero Acosta, Alejandra. 2015. *Simulacion a escala de laboratorio de Barreras Hidraulicas contra la Intrusion Salina en acuíferos costeros confinados considerando los efectos de la estratificacion del medio.* Universidad Nacional de Colombia. Bogota : s.n., 2015.

Canal, Grupo Unidos por el. 2015. Mundo Maritimo . *Información Maritima de Latinoamérica .* [En línea] 2 de octubre de 2015. [Citado el: 17 de mayo de 2019.] [https://www.mundomaritimo.cl/noticias/insuficiencia-de-acero-pudo-causar-filtraciones-en-esclusas-de-la-ampliacion-del-canal-de-panama.](https://www.mundomaritimo.cl/noticias/insuficiencia-de-acero-pudo-causar-filtraciones-en-esclusas-de-la-ampliacion-del-canal-de-panama)

Carvajal Soto, Luis Alejandro . 2012. *ANÁLISIS DE LAS PRINCIPALES CAUSAS*

DE DAÑO ESTRUCTURAL DURANTE TERREMOTOS. 1er. CONGRESO REGIONAL DE PATOLOGÍA Y RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS. Managua : s.n., 2012.

Climático, Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio. 2019. *Caracterización General del Escenario de Riesgo Sísmico.* Alcandía Mayor de Bogota D.C. Bogotá : s.n., 2019.

COMPARACION TECNICO-FINANCIERA DEL ACERO ESTRUCTURAL Y EL HORMIGON ARMADO. **Rojas López, Miguel David y Arenas Giraldo, Jhon Jairo. 2008.** Medellin : s.n., 14 de enero de 2008, Universidad Nacional de Colombia, pág. 10.

Crisafulli, Francisco Javier. 2018. *Diseño sismorresistente de construcciones de acero.* [ed.] Universidad Nacional de Cuyo. 5°. Mendoza : Asociación Latinoamericana del Acero, 2018. pág. 214.

Damage Characteristics of Cracked TMT Reinforcement Bars. **Pandya, B N , Thakkar, B K y Rathod, J D . 2013.** [ed.] Nirma University. Ahmedabad. : s.n., 2013, ELSEVIER.

DHI Water & Environment . 2005. *Review of Saltwater Intrusion and Mitigation Studies and Models for Proposet post Panamax Locks.* 2005.

DIACO, GERDAU. 2012. *MANUAL DE ACERO GERDAU DIACO PARA CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES.* 2012.

Diseño y construcción del tercer juego de esclusas del canal de Panamá. **Peláez, José . 2016.** 2016, Complejos e innovadores procesos de construcción en grandes obras de ingeniería, págs. 70-83.

ESPECTADOR, EL. 2019. Errores de diseño y construcción, principal hipótesis en colapso de Puente Chirajara. 10 de Septiembre de 2019.

ESTUDIO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO EMBEBIDO EN CONCRETO AAS SOMETIDO A CLORUROS. **Torres Gomez, Robinson, y otros. 2009.** 22 de Junio de 2009, Universidad Nacional de Colombia, pág. 8.

ESTUDIO DE LAS CAUSAS DEL COLAPSO DE ALGUNOS PUENTES EN COLOMBIA. **Muñoz Diaz, Edgar E. 2017.** Bogotá : s.n., 2017, Facultad de

Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, pág. 20.

Estudio sobre la influencia del Cromo en la velocidad de Corrosión de los Aceros.

Castañeda Ospina, Ekaterina. 2009. 2009, Universidad Nacional de Colombia.

EVALUACION COMPARATIVA DE LA CORROSION DEL HORMIGON ARMADO CON ACERO SIN PROTECCION Y DEL ACERO GALVANIZADO EN INMERSION EN CALIENTE. **Tutikian , Bernardo Fonseca . 2017.** Barranquilla : s.n., 2017, Departamento de Ingenieria Civil y Ambiental Universidad de la Costa, pág. 11.

Failure analysis of re-bars during bending operations. **Mathur, Jitendra, Bhattacharyya, Tanmay y Bhattacharyya, Sandip. 2014.** 2, octubre de 2014, Case Studies in Engineering Failure Analysis, Vol. 2, págs. 151-153.

Garcia Cano, Jennifer. 2016. *ESTUDIO SOBRE EL ESTADO LÍMITE A FATIGA EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN CON DETERIORO DE LAS ARMADURAS.* Escola Tecnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, INUVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA. Barcelona : s.n., 2016. pág. 171.

Gunter, Gordon. 1979. *Marine Fishes of Panama as Related to the Canal.* s.l. : Informes de Investigacion del Golfo, 1979. págs. 267 - 273. Vol. 6.

ICONTEC. 2019. [En línea] 11 de Septiembre de 2019. <https://www.icontec.org/quienes-somos/>.

—. **2019.** NTC 2289. [En línea] 23 de abril de 2019. <http://zonanet.zonafrancabogota.com/www/resources/norma%20NTC%2022%2089%20de%202007.pdf>.

—. **1997.** NTC 3353. [En línea] 26 de 11 de 1997. <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3353.pdf>.

La ampliación del Canal de Panamá Impulsor de cambios en el comercio internacional. **Sabonge, Rodolfo . 2017.** 2017, CEPAL, pág. 28.

LO QUE DEBE SABER SOBRE SISMORRESISTENCIA. **Construccion, La Comunidad de Gestion y Negocios para la. 2019.** 27 de febrero de 2019, EN OBRA.

LO QUE DEBEMOS SABER DEL ACERO DE REFUERZO EN EDIFICACIONES DE MEDIANA ALTURA. **Toro Dangond, Camila. 2018.** 142, Bogota : s.n., mayo-

junio de 2018, NOTICRETO.

Londoño Velasquez, Luis German. 1997. *MANUAL PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO.* 1997. TERCERA REVISION.

NSR-10, REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE. TITULO A - REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE. Bogotá : s.n.

— *TITULO I - SUPERVISION TECNICA.*

NTC. 2007. *BARRAS CORRUGADAS Y LISAS DE ACERO DE BAJA ALEACIÓN, PARA REFUERZO DE CONCRETO.* 2007.

OJO CON LA CALIDAD DEL ACERO. **Construcción, La Comunidad de Gestión y Negocios para la.** 2018. 23 de abril de 2018, EN OBRA.

Rodriguez Vargas, Ariel R. 2002. *Impacto de la ampliación del canal de Panama tercer juego de esclusas en la calidad y cantidad de agua de los lagos Gatun y Miraflores.* Universidad de Panama. Panama : s.n., 2002. pág. 13.

Universidad de Panama y Autoridad del Canal de Panama. 2003. *Proyecto de profundización del Cauce de Navegación del Canal de Panama.* 2003. pág. 403.

11. ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 47. Resultados resistencia a la tracción de barras de 3/8" y 1/2" de diámetro Obra XOACA RUBI.

INFORME DE ENSAYO 356-19			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE ACERO DE BARRAS			
NTC 3353 - 1997 NUMERALES 5, 6, 9, 10, 11, 12 Y 13 NTC 2289 - 2007 NUMERALES 9.1.1.1 - 9.1.1.2 - 9.3.1 / NTC 2289 - 2015 NUMERALES 9.2.2 - 9.3			
Orden de Trabajo No.	3150	Nombre del cliente	COMPAÑÍA DE CONSTRUCTORES ASOCIADOS S.A
Procedencia	SIDENAL	Código de Obra	B - 16552
Colada	NO SUMINISTRA	Nombre de la Obra	XOACA RUBI
Localización	TORRE 4	Fecha de Recibido	12/03/2019
		Fecha de Ensayo	5/04/2019

RESULTADOS OBTENIDOS							
Descripción de la Probeta		Datos de Ensayo NTC - 3353 - 1997 Numeral 5 al 13		Resultados		Requisitos de acuerdo con la norma NTC - 2289 - 2007/2015	
Muestra No.	1.1	Fuerza Máxima a Tensión	49139.0 N	Resistencia a la Fluencia	494 Mpa	Mín. 420 Mpa Máx. 540 Máx. Mín. 540 Mpa	
Localización	Torre 4	Esfuerzo Máximo a Tensión	692.1 Mpa	Resistencia a la Tracción	692 Mpa		
Diámetro Nominal	3/8"	Fuerza de Rotura	45629.0 N	Relación de resistencia a la Tracción y esfuerzo de Fluencia 1.40			
Área Nominal	71,0 mm ²	Esfuerzo de Rotura	642.7 Mpa	Alargamiento mínimo en 200 mm			
Longitud Inicial	395 mm	F. en el límite de Fluencia	34409.0 N	Número de designacion de las barras			%
Longitud entre Mordazas	201 mm	% de Alargamiento en 200mm	14.0	2, 3, 4, 5, 6.			14
Longitud Calibrada	200 mm	Longitud final	228.0 mm	7, 8, 9, 10, 11.			12
Masa	372.1 g			14, 18.			10

RESULTADOS OBTENIDOS							
Descripción de la Probeta		Datos de Ensayo NTC - 3353 - 1997 Numeral 5 al 13		Resultados		Requisitos de acuerdo con la norma NTC - 2289 - 2007/2015	
Muestra No.	2.2	Fuerza Máxima a Tensión	83641.0 N	Resistencia a la Fluencia	435 Mpa	Mín. 420 Mpa Máx. 540 Máx. Mín. 540 Mpa	
Localización	Torre 4	Esfuerzo Máximo a Tensión	648.4 Mpa	Resistencia a la Tracción	648 Mpa		
Diámetro Nominal	1/2"	Fuerza de Rotura	68821.0 N	Relación de resistencia a la Tracción y esfuerzo de Fluencia 1.49			
Área Nominal	129.0 mm ²	Esfuerzo de Rotura	533.5 Mpa	Alargamiento mínimo en 200 mm			
Longitud Inicial	394 mm	F. en el límite de Fluencia	56178.0 N	Número de designacion de las barras			%
Longitud entre Mordazas	201 mm	% de Alargamiento en 200mm	15.5	2, 3, 4, 5, 6.			14
Longitud Calibrada	200 mm	Longitud final	230.9 mm	7, 8, 9, 10, 11.			12
Masa	220,4 g			14, 18.			10

Fuente propia.

ANEXO 2

Tabla 48. Resultados resistencia a la tracción de barras de 3/8" y 1/2" de diámetro Obra TORRE 90

INFORME DE ENSAYO 126-18			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE ACERO DE BARRAS			
NTC 3353 - 1997 NUMERALES 5, 6, 9, 10, 11, 12 Y 13 NTC 2289 - 2007 NUMERALES 9.1.1.1 - 9.1.1.2 - 9.3.1 / NTC 2289 - 2015 NUMERALES 9.2.2 - 9.3			
Orden de Trabajo No.	13184	Nombre del cliente	COMPAÑÍA DE CONSTRUCTORES ASOCIADOS S.A
Procedencia	ACERIAS PAZ DEL RIO	Código de Obra	B-16749
Colada	NO SUMINISTRA	Nombre de la Obra	TORRE 90
Localización	MUROS NIVEL 12	Fecha de Recibido	16/11/2018
		Fecha de Ensayo	23/11/2018

RESULTADOS OBTENIDOS							
Descripción de la Probeta		Datos de Ensayo NTC - 3353 - 1997 Numeral 5 al 13		Resultados		Requisitos de acuerdo con la norma NTC - 2289 - 2007/2015	
Muestra No.	1.1	Fuerza Máxima a Tensión	44238.0 N	Resistencia a la Fluencia	450 Mpa	Mín. 420 Mpa	Máx. 540 Máx.
Localización	TORRE	Esfuerzo Máximo a Tensión	623.1 Mpa	Resistencia a la Tracción	623 Mpa	Mín. 540 Mpa	
Diámetro Nominal	3/8"	Fuerza de Rotura	40198,0 N	Relación de resistencia a la Tracción y esfuerzo de Fluencia 1.38			
Área Nominal	71,0 mm ²	Esfuerzo de Rotura	566.2 Mpa	Alargamiento mínimo en 200 mm			
Longitud Inicial	396 mm	F. en el límite de Fluencia	31969,0 N	Número de designación de las barras		%	
Longitud entre Mordazas	200 mm	% de Alargamiento en 200mm	15,8	2, 3, 4, 5, 6.		14	
Longitud Calibrada	200 mm	Longitud final	231,5 mm	7, 8, 9, 10, 11.		12	
Masa	215,4 g			14, 18.		10	
RESULTADOS OBTENIDOS							
Descripción de la Probeta		Datos de Ensayo NTC - 3353 - 1997 Numeral 5 al 13		Resultados		Requisitos de acuerdo con la norma NTC - 2289 - 2007/2015	
Muestra No.	2.1	Fuerza Máxima a Tensión	86799,0 N	Resistencia a la Fluencia	499 Mpa	Mín. 420 Mpa	Máx. 540 Máx.
Localización	TORRE	Esfuerzo Máximo a Tensión	672,9 Mpa	Resistencia a la Tracción	673 Mpa	Mín. 540 Mpa	
Diámetro Nominal	1/2"	Fuerza de Rotura	75520,0 N	Relación de resistencia a la Tracción y esfuerzo de Fluencia 1.35			
Área Nominal	129.0 mm ²	Esfuerzo de Rotura	585,4 Mpa	Alargamiento mínimo en 200 mm			
Longitud Inicial	396 mm	F. en el límite de Fluencia	64406,0 N	Número de designación de las barras		%	
Longitud entre Mordazas	201 mm	% de Alargamiento en 200mm	16,2	2, 3, 4, 5, 6.		14	
Longitud Calibrada	200 mm	Longitud final	232,3 mm	7, 8, 9, 10, 11.		12	
Masa	390,1 g			14, 18.		10	

. Fuente propia

ANEXO 3

Tabla 49. Resultados resistencia a la tracción de barras de 3/8" y 1/2" de diámetro Obra TORRE 90

INFORME DE ENSAYO 126-18			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE ACERO DE BARRAS			
NTC 3353 - 1997 NUMERALES 5, 6, 9, 10, 11, 12 Y 13 NTC 2289 - 2007 NUMERALES 9.1.1.1 - 9.1.1.2 - 9.3.1 / NTC 2289 - 2015 NUMERALES 9.2.2 - 9.3			
Orden de Trabajo No.	3126	Nombre del cliente	AMARILO S.A.S
Procedencia	SIDENAL	Código de Obra	B- 16174
Colada	No suministra	Nombre de la Obra	SALAMANCA
Localización	PLACA Y MUROS SÓTANOS	Fecha de Recibido	11/03/2019
		Fecha de Ensayo	21/03/2019

RESULTADOS OBTENIDOS							
Descripción de la Probeta		Datos de Ensayo NTC - 3353 - 1997 Numeral 5 al 13		Resultados		Requisitos de acuerdo con la norma NTC - 2289 - 2007/2015	
Muestra No.	6	Fuerza Máxima a Tensión	48808,0 N	Resistencia a la Fluencia	475 Mpa	Mín. 420 Mpa	Máx. 540 Máx.
Localización	P Y M	Esfuerzo Máximo a Tensión	657,4 Mpa	Resistencia a la Tracción	587 Mpa	Mín. 540 Mpa	
Diámetro Nominal	3/8"	Fuerza de Rotura	47219,0 N	Relación de resistencia a la Tracción y esfuerzo de Fluencia 1.44			
Área Nominal	71,0 mm ²	Esfuerzo de Rotura	665,1 Mpa	Alargamiento mínimo en 200 mm			
Longitud Inicial	410 mm	F. en el límite de Fluencia	33820,0 N	Número de designacion de las barras		%	
Longitud entre Mordazas	212 mm	% de Alargamiento en 200mm	16,3	2, 3, 4, 5, 6.		14	
Longitud Calibrada	200 mm	Longitud final	232,6 mm	7, 8, 9, 10, 11.		12	
Masa	227,1 g			14, 18.		10	

RESULTADOS OBTENIDOS							
Descripción de la Probeta		Datos de Ensayo NTC - 3353 - 1997 Numeral 5 al 13		Resultados		Requisitos de acuerdo con la norma NTC - 2289 - 2007/2015	
Muestra No.	7	Fuerza Máxima a Tensión	91723,0 N	Resistencia a la Fluencia	471 Mpa	Mín. 420 Mpa	Máx. 540 Máx.
Localización	P Y M	Esfuerzo Máximo a Tensión	711,0 Mpa	Resistencia a la Tracción	711 Mpa	Mín. 540 Mpa	
Diámetro Nominal	1/2"	Fuerza de Rotura	78313,0 N	Relación de resistencia a la Tracción y esfuerzo de Fluencia 1.31			
Área Nominal	129,0 mm ²	Esfuerzo de Rotura	591,6 Mpa	Alargamiento mínimo en 200 mm			
Longitud Inicial	404,0 mm	F. en el límite de Fluencia	60780,0 N	Número de designacion de las barras		%	
Longitud entre Mordazas	209 mm	% de Alargamiento en 200mm	17,1	2, 3, 4, 5, 6.		14	
Longitud Calibrada	200 mm	Longitud final	234,2 mm	7, 8, 9, 10, 11.		12	
Masa	402,1 g			14, 18.		10	

. Fuente propia

ANEXO 4

Tabla 50. Resultados resistencia a la tracción de barras de 3/8" y 1/2" de diámetro Obra SAN JOAQUIN.

INFORME DE ENSAYO 1172-18			
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE ACERO DE BARRAS			
NTC 3353 - 1997 NUMERALES 5, 6, 9, 10, 11, 12 Y 13 NTC 2289 - 2007 NUMERALES 9.1.1.1 - 9.1.1.2 - 9.3.1 / NTC 2289 - 2015 NUMERALES 9.2.2 - 9.3			
Orden de Trabajo No.	13106	Nombre del cliente	I.C.I S.A.S
Procedencia	SIDENAL	Código de Obra	B- 16549
Colada	NO SUMINISTRA	Nombre de la Obra	SAN JAQUIN
Localización	MUROS Y PLACA	Fecha de Recibido	14/11/2018
		Fecha de Ensayo	17/11/2018

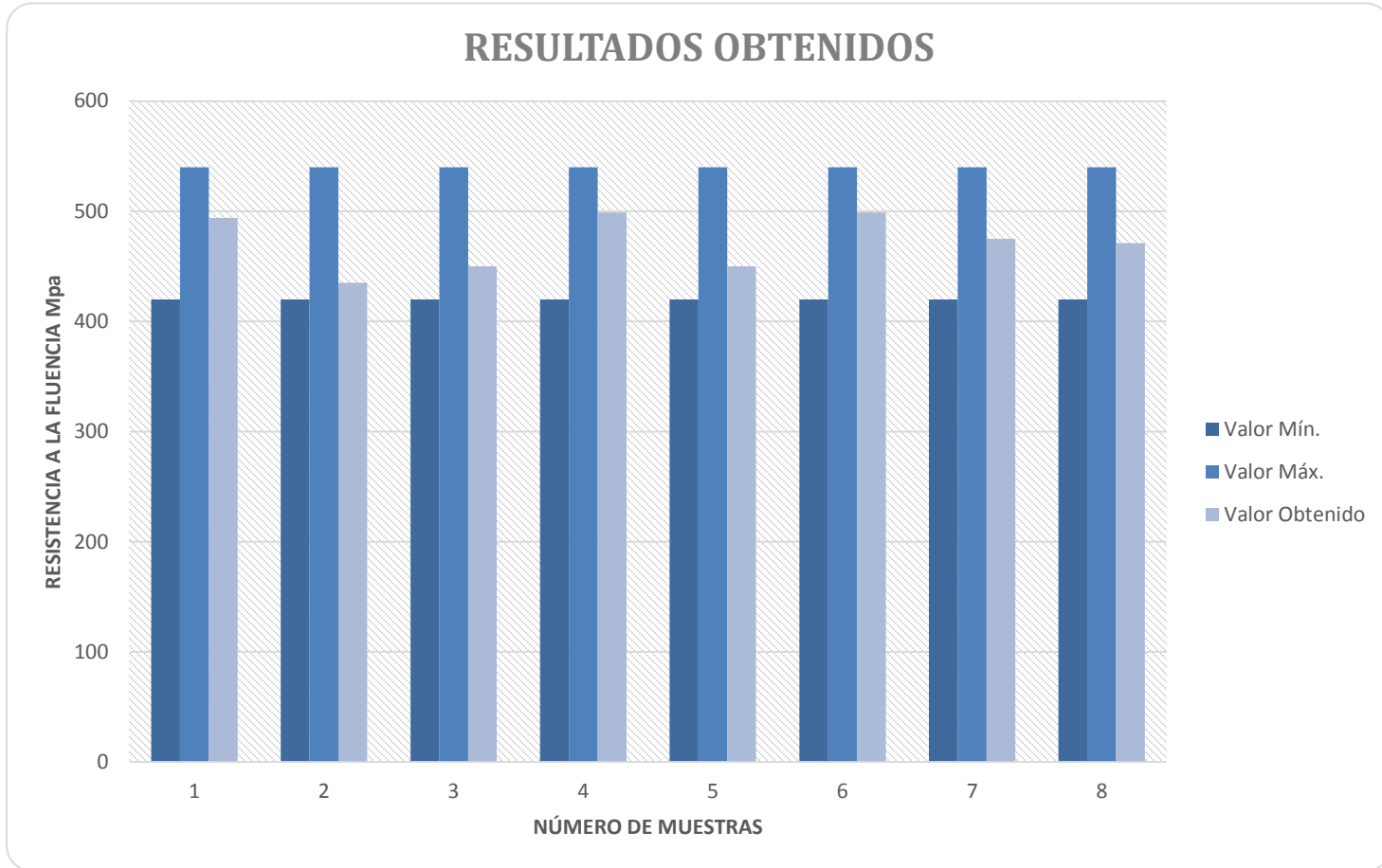
RESULTADOS OBTENIDOS							
Descripción de la Probeta		Datos de Ensayo NTC - 3353 - 1997 Numeral 5 al 13		Resultados		Requisitos de acuerdo con la norma NTC - 2289 - 2007/2015	
Muestra No.	2	Fuerza Máxima a Tensión	45695,0 N	Resistencia a la Fluencia	498 Mpa	Mín. 420 Mpa	Máx. 540 Máx.
Localización	TORRES	Esfuerzo Máximo a Tensión	643,6 Mpa	Resistencia a la Tracción	644 Mpa	Mín. 540 Mpa	
Diámetro Nominal	3/8"	Fuerza de Rotura	40265,0 N	Relación de resistencia a la Tracción y esfuerzo de Fluencia 1.29			
Área Nominal	71,0 mm ²	Esfuerzo de Rotura	567,1 Mpa	Alargamiento mínimo en 200 mm			
Longitud Inicial	398 mm	F. en el límite de Fluencia	35385,0 N	Número de designacion de las barras		%	
Longitud entre Mordazas	203 mm	% de Alargamiento en 200mm	16,6	2, 3, 4, 5, 6.		14	
Longitud Calibrada	200 mm	Longitud final	233,3 mm	7, 8, 9, 10, 11.		12	
Masa	217,5 g			14, 18.		10	

RESULTADOS OBTENIDOS							
Descripción de la Probeta		Datos de Ensayo NTC - 3353 - 1997 Numeral 5 al 13		Resultados		Requisitos de acuerdo con la norma NTC - 2289 - 2007/2015	
Muestra No.	2.1	Fuerza Máxima a Tensión	86799,0 N	Resistencia a la Fluencia	499 Mpa	Mín. 420 Mpa	Máx. 540 Máx.
Localización	TORRE	Esfuerzo Máximo a Tensión	672,9 Mpa	Resistencia a la Tracción	673 Mpa	Mín. 540 Mpa	
Diámetro Nominal	1/2"	Fuerza de Rotura	75520,0 N	Relación de resistencia a la Tracción y esfuerzo de Fluencia 1.35			
Área Nominal	129,0 mm ²	Esfuerzo de Rotura	585,4 Mpa	Alargamiento mínimo en 200 mm			
Longitud Inicial	396 mm	F. en el límite de Fluencia	64406,0 N	Número de designacion de las barras		%	
Longitud entre Mordazas	201 mm	% de Alargamiento en 200mm	16,2	2, 3, 4, 5, 6.		14	
Longitud Calibrada	200 mm	Longitud final	232,3 mm	7, 8, 9, 10, 11.		12	
Masa	390,1 g			14, 18.		10	

Fuente propia.

ANEXO 5

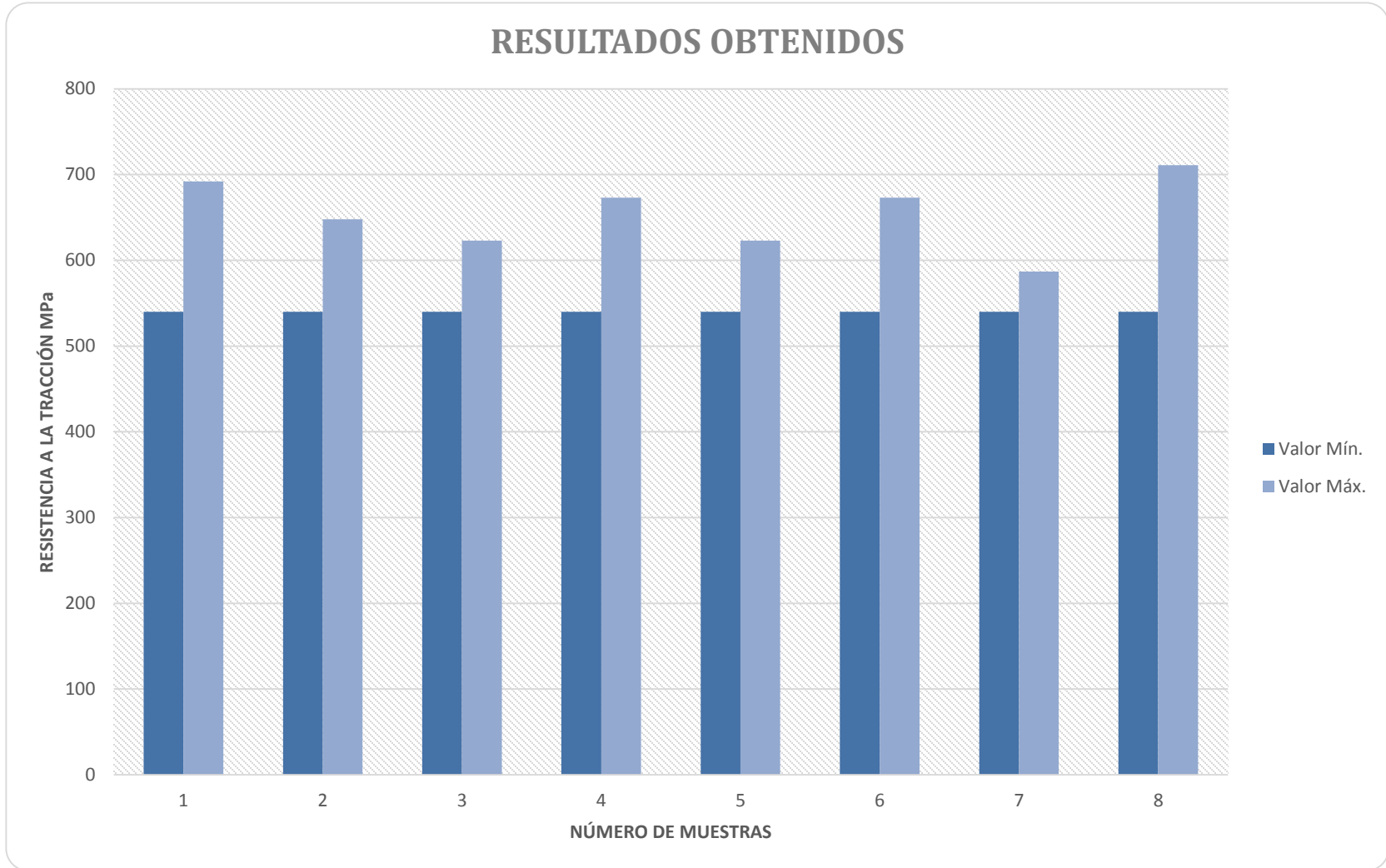
Gráfica 1. Resistencia a la Fluencia



Fuente propia.

ANEXO 6

Gráfica 2. Resistencia a la Compresión.



Fuente propia

Una vez realizada la investigación se procede a definir y seleccionar las muestras, se define un mismo diámetro para tener datos comparables, el diámetro que se utilizó es de 3/8" y 1/2".

Se realizó una inspección visual de los resaltes del acero, los cuales le dan la forma corrugada, cada fabricante y proveedor maneja un tipo de resalte diferente. Dentro de la NTC2289 se mencionan las características de los resaltes, donde especifican dimensiones de separación las cuales deben ser simétricas, con ángulos de inclinación no menores a 45° y la altura de los resaltes entre otros requisitos, los cuales se inspeccionaron de forma visual y no se encontraron mayores anomalías.

Para los resultados obtenidos de los ensayos a la resistencia a la tracción de las muestras de barras de acero de 3/8" y 1/2" de diámetro en las cuatro (4) obras a las cuales se les hizo la supervisión técnica estructural como práctica de vigilancia en la ejecución de las diferentes actividades estructurales, se registraron los siguientes valores: 692 MPa, 648 MPa, 623 MPa, 673 MPa, 623 MPa, 673 MPa, 587MPa y 711 MPa, para el caso de los resultados de los ensayos a la resistencia a la fluencia se registraron los siguientes valores: 494 MPa, 435 MPa, 450 MPa, 499 MPa, 450 MPa, 499 MPa, 475 MPa y 471 MPa. Se puede observar que los estándares de calidad del material cumplen con las exigencias técnicas estructurales de diseño, garantizando plena confianza en la ejecución de las actividades constructivas.

En las tablas de resultados de la resistencia a la tracción del acero, se pudo observar que el 100% de las muestras se encuentran por encima del valor exigido por la norma, lo cual indica la alta capacidad que tienen las fibras del material, al ser sometido a cargas de tensión antes de llegar a la deformación plástica permanente o al punto de rotura.

Para el caso de la resistencia a la fluencia se observa que el 100% de las muestras se encuentran dentro del rango establecido, mostrando una gran capacidad de deformación elástica.

La tracción debe ser mayor a 1.25 veces la fluencia, así como lo establece la NTC2289 en los requisitos de tracción. Se observa un 87.5 % de las muestras que cumplen con el requisito.

La norma NTC2289 en los requisitos de tracción para varillas de acero corrugado establece un porcentaje de alargamiento medido en 200mm de la probeta donde tiene

que ser no menor al 14% de su unidad de longitud.

Se puede observar que el 100% de las muestras se encuentran en cumplimiento con el valor exigido por la norma.

El laboratorio que se encarga de realizar los ensayos de resistencia a los materiales usados en obra para los cuatro proyectos es CONTECON URBAR INGENIEROS CONSULTORES. A continuación, se adjuntan los certificados de calibración de equipos por parte del laboratorio: