

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

### MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

---

**Tema:** Estudio del comportamiento de la varilla ASTM A615 como perno de anclaje en la construcción de estructuras.

---

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de cuarto nivel de Magister en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas.

**Modalidad del Trabajo de Titulación:** Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo.

**Autor:** Ing. Luis Jaime Fernández Sánchez

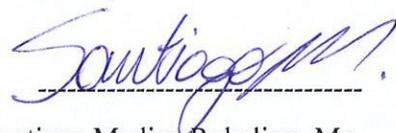
**Director:** Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg.

Ambato – Ecuador

2024

**A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**

El Tribunal receptor de la defensa del Trabajo de Titulación, presidido por: Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por los señores: Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg., e Ing. Alex Xavier Frías Torres, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de Posgrados de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA VARILLA ASTM A615 COMO PERNO DE ANCLAJE EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS”, elaborado y presentado por el señor Ing. Luis Jaime Fernández Sánchez, para optar por el Título de cuarto nivel de Magíster en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.



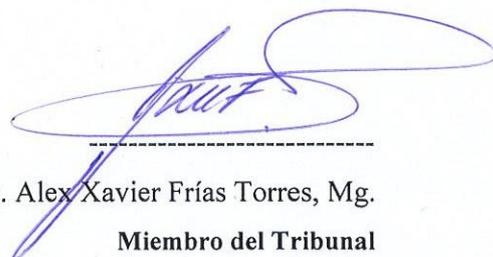
Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.

**Presidente y Miembro del Tribunal**



Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.

**Miembro del Tribunal**



Ing. Alex Xavier Frías Torres, Mg.

**Miembro del Tribunal**

## AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

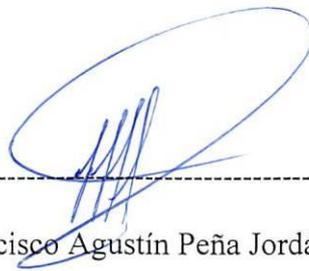
La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA VARILLA ASTM A615 COMO PERNO DE ANCLAJE EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS”, le corresponde exclusivamente a: Ing. Luis Jaime Fernández Sánchez, Autor bajo la Dirección del Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg., Director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



-----  
Ing. Luis Jaime Fernández Sánchez

c.c.:1761121852

**AUTOR**



-----  
Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg.

c.c.:1803605540

**DIRECTOR**

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.



---

Ing. Luis Jaime Fernández Sánchez

c.c.:1761121852

## INDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| PORTADA .....   | i    |
| A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica ..... | ii   |
| AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....   | iii  |
| DERECHOS DE AUTOR.....  | iv   |
| INDICE GENERAL .....  | v    |
| INDICE DE TABLAS .....  | viii |
| INDICE DE ILUSTRACIONES.....  | viii |
| AGRADECIMIENTO .....  | xii  |
| DEDICATORIA .....   | xiii |
| RESUMEN EJECUTIVO .....   | xiv  |
| EXECUTIVE SUMMARY.....  | xv   |
| 2 CAPITULO I EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....  | 1    |
| 2.1 Introducción .....  | 1    |
| 2.2 Justificación .....   | 1    |
| 2.3 Objetivos .....   | 2    |
| 2.3.1 General .....   | 2    |
| 2.3.2 Específicos .....   | 2    |
| 3 CAPITULO II MARCO TEORICO.....  | 4    |
| 3.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....   | 4    |
| 3.2 FUNDAMENTACIÓN CIENTIFICA .....   | 9    |
| 3.2.1 Pernos de anclaje.....  | 9    |
| 3.2.2 Acero ASTM A615 .....   | 18   |
| 3.2.3 Placas base y sistemas de anclaje de estructuras metálicas .....                  | 20   |
| 3.2.4 Bloque de hormigón .....  | 22   |
| 3.2.5 Máquina universal .....   | 22   |
| 3.2.6 Ensayos mecánicos.....  | 25   |
| 3.2.7 Ensayos longitudinales .....  | 26   |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.2.8 | Simulación de esfuerzos .....   | 27 |
| 4     | CAPITULO III MARCO METODOLOGICO .....                                   | 30 |
| 4.1   | Ubicación .....   | 30 |
| 4.2   | Equipos y materiales .....  | 30 |
| 4.2.1 | Equipos.....  | 30 |
| 4.2.2 | Materiales .....  | 30 |
| 4.3   | Tipo de investigación .....   | 31 |
| 4.4   | Prueba de Hipótesis .....   | 33 |
| 4.5   | Recolección de información:.....  | 33 |
| 4.5.1 | Ensayo de tracción.....   | 33 |
| 4.5.2 | Ensayo de corte .....   | 36 |
| 4.6   | Ensayo de metalografía .....  | 38 |
| 4.6.1 | Simulación del interfaz perno de anclaje concreto.....                  | 39 |
| 5     | CAPITULO IV DISCUSION Y RESULTADOS .....                                | 47 |
| 5.1   | Estimación del comportamiento con respecto a AISC 360_16.....           | 47 |
| 5.1.1 | Resultados de ensayos de tracción.....                                  | 47 |
| 5.1.2 | Resultados de los ensayos de corte .....                                | 55 |
| 5.1.3 | Análisis metalográfico.....   | 58 |
| 5.2   | Comparación de resultados de simulación.....                            | 64 |
| 6     | CAPÍTULO V CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA,<br>ANEXOS ..... | 71 |
| 6.1   | Conclusiones .....  | 71 |
| 6.2   | Recomendaciones.....  | 72 |
| 6.3   | Bibliografía .....  | 73 |
| 6.4   | Anexos .....  | 80 |
| 7     | CAPÍTULO VI PROPUESTA .....   | 93 |
| 7.1   | Titulo.....   | 93 |
| 7.2   | Descripción .....   | 93 |
| 7.2.1 | Problemática.....   | 93 |

|       |                                    |    |
|-------|------------------------------------|----|
| 7.2.2 | Justificación.....                 | 94 |
| 7.2.3 | Antecedente.....                   | 94 |
| 7.3   | Objetivos.....                     | 96 |
| 7.3.1 | Objetivo general.....              | 96 |
| 7.3.2 | Objetivos específicos.....         | 96 |
| 7.4   | Desarrollo de la propuesta.....    | 97 |
| 7.4.1 | Investigación Preliminar.....      | 97 |
| 7.4.2 | Diseño Experimental.....           | 97 |
| 7.4.3 | Pruebas Experimentales.....        | 97 |
| 7.4.4 | Análisis de Resultados.....        | 97 |
| 7.4.5 | Desarrollo de Recomendaciones..... | 97 |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Características de los pernos de anclaje.....  | 11 |
| Tabla 2. Características de los pernos de anclaje rectos .....  | 16 |
| Tabla 3. Características de los pernos de anclaje en L .....  | 17 |
| Tabla 4. Características de los pernos de anclaje en J .....  | 18 |
| Tabla 5. Características del acero ASTM A615 .....  | 19 |
| Tabla 6. Funcionamiento de la máquina universal .....   | 23 |
| Tabla 7. Accesorios de una máquina universal .....  | 24 |
| Tabla 8. Parámetros de simulación.....  | 28 |
| Tabla 9. Propiedades mecánicas del acero ASTM A615 .....  | 31 |
| Tabla 10. Propiedades mecánicas del acero ASTM A615 .....   | 31 |
| Tabla 11. Magnitudes del roscado para los diámetros de estudio UNC (Rosca Unificada Americana) .....    | 32 |
| Tabla 12. Datos de recepción de muestras .....  | 38 |
| Tabla 13. Normativas vigentes para el cálculo y ensayos de materiales metálicos y de construcción ..... | 41 |
| Tabla 14. Resultados de ensayo de tracción en varilla de 5/8 in de acero ASTM A615 .....                | 47 |
| Tabla 15. Resultados de ensayo de tracción en varilla de 3/4 in de acero ASTM A615 .....                | 48 |
| Tabla 16. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.....   | 48 |
| Tabla 17. Propiedades mecánicas del acero ASTM F1554 Gr 55 .....  | 51 |
| Tabla 18. Propiedades mecánicas del acero ASTM F1554 Gr 105.....  | 53 |
| Tabla 19. Resultados de ensayo de corte en varilla de 5/8 in .....                                      | 55 |
| Tabla 20. Resultados de ensayo de corte en varilla de 3/4 in .....                                      | 56 |
| Tabla 21. Resistencia a corte tipo N para aceros usados como varillas de anclaje .....                  | 57 |
| Tabla 22. Reporte de ensayo metalográfico de probeta de 5/8in .....                                     | 59 |

## INDICE DE ILUSTRACIONES

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1. Estructura de los pernos de anclaje rectos ..... | 10 |
| Ilustración 2. Pernos de anclaje en concreto.....               | 10 |
| Ilustración 3. Pernos de expansión.....                         | 12 |
| Ilustración 4. Pernos de cuña.....                              | 12 |
| Ilustración 5. Pernos de anclaje químicos .....                 | 13 |
| Ilustración 6. Pernos de anclaje autoperforantes .....          | 13 |
| Ilustración 7. Pernos de anclaje de carga directa .....         | 14 |
| Ilustración 8. Pernos de anclaje de rosca interna .....         | 14 |

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 9. Pernos de anclaje de fibra de vidrio.....   | 15 |
| Ilustración 10. Arreglos de pernos de anclaje.....   | 15 |
| Ilustración 11. Pernos de anclaje rectos.....  | 16 |
| Ilustración 12. Pernos de anclaje en L.....  | 17 |
| Ilustración 13. Pernos de anclaje en J.....  | 17 |
| Ilustración 14. Acero ASTM A615 .....  | 19 |
| Ilustración 15. Componentes de la placa base .....   | 21 |
| Ilustración 16. Pernos de anclaje sobre la placa base .....  | 21 |
| Ilustración 17. Sistema de anclaje .....   | 22 |
| Ilustración 18. Máquina universal .....  | 23 |
| Ilustración 19. Ensayo de corte .....  | 26 |
| Ilustración 20. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para un acero estructural común en tensión..... | 27 |
| Ilustración 21. Esquema de perno de anclaje.....   | 32 |
| Ilustración 22. Roscado en varilla corrugada de acero ASTM A615.....                                   | 33 |
| Ilustración 23. Dimensiones de probeta de ensayos a tracción .....                                     | 34 |
| Ilustración 24. Parámetros de rosca externa normalizada UNC normal .....                               | 34 |
| Ilustración 25. Ensayo de tracción en varilla de 5/8 in .....  | 35 |
| Ilustración 26. Ensayo de tracción en varilla de 3/4 in .....  | 35 |
| Ilustración 27. Probetas para ensayos de corte .....   | 36 |
| Ilustración 28. Esquema de carga para ensayo de corte.....   | 37 |
| Ilustración 29. Diagrama de flujo para ensayo de corte.....  | 37 |
| Ilustración 30. Probetas para metalografía de 5/8 y 3/4 in.....  | 38 |
| Ilustración 31. Interface a ser analizada perno concreto .....   | 39 |
| Ilustración 32. Interface a ser analizada perno concreto.....  | 39 |
| Ilustración 33. Bloque de concreto y perno de anclaje .....  | 42 |
| Ilustración 34. Tejido de varilla corrugada de 5 mm .....  | 42 |
| Ilustración 35. Mallado del modelo.....  | 43 |
| Ilustración 36. Mallado hexagonal de perno de anclaje.....   | 43 |
| Ilustración 37. Conexión tipo soldada entre varilla de 5 mm y concreto .....                           | 44 |
| Ilustración 38. Conexión tipo soldada entre perno de anclaje y concreto .....                          | 44 |
| Ilustración 39. Empotramiento del bloque de concreto. ....   | 45 |
| Ilustración 40. La fuerza variable se aplica en la cara externa del perno de anclaje. ....             | 45 |
| Ilustración 41. La fuerza variable se aplica en la cara externa del perno de anclaje. ....             | 46 |
| Ilustración 42. Comparación de límite de fluencia entre las probetas y el acero ASTM A36 50            |    |

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 43. Comparación de resistencia a tracción entre las probetas y el acero ASTM A36 .....            | 51 |
| Ilustración 44. Comparación de porcentaje de elongación entre las probetas y el acero ASTM A36 .....          | 51 |
| Ilustración 45. Comparación de límite de fluencia entre las probetas y el acero ASTM F1554 Gr55 .....         | 52 |
| Ilustración 46. Comparación de resistencia a tracción entre las probetas y el acero ASTM F1554 Gr55 .....     | 52 |
| Ilustración 47. Comparación de porcentaje de elongación entre las probetas y el acero ASTM F1554 Gr 55 .....  | 53 |
| Ilustración 48. Comparación de límite de fluencia entre las probetas y el acero ASTM F1554 Gr105 .....        | 54 |
| Ilustración 49. Comparación de resistencia a tracción entre las probetas y el acero ASTM F1554 Gr 105 .....   | 54 |
| Ilustración 50. Comparación de porcentaje de elongación entre las probetas y el acero ASTM F1554 Gr 105 ..... | 55 |
| Ilustración 51. Probetas listas para el ataque químico .....  | 58 |
| Ilustración 52. Probetas listas para el ataque químico. ....  | 58 |
| Ilustración 53. Microfotografía de probeta de 5/8 in con aumento de 1000x. ....                               | 60 |
| Ilustración 54. Microfotografía de probeta de 5/8 in con aumento de 500x. ....                                | 60 |
| Ilustración 55. Microfotografía de probeta de 5/8 in con aumento de 200x. ....                                | 61 |
| Ilustración 56. Imperfecciones e roscado causadas por la irregularidad de la varilla ASTM A615 .....          | 61 |
| Ilustración 57. Incrustaciones de grafito en probeta de 5/8 in incremento 100x .....                          | 62 |
| Ilustración 58. Incrustaciones de grafito en probeta de 5/8 in incremento de 200x .....                       | 63 |
| Ilustración 59. Incrustaciones de grafito en probeta de 5/8 in incremento de 500x .....                       | 63 |
| Ilustración 60. Incrustaciones de grafito en probeta de 5/8 in incremento de 1000x .....                      | 64 |
| Ilustración 61. Estado inicial de simulación de esfuerzos en perno de 3/4 in .....                            | 65 |
| Ilustración 62. Gráfica esfuerzo vs Factor de seguridad en interfaz de 3/4 in .....                           | 65 |
| Ilustración 63. Estado final de simulación de esfuerzos en perno de 3/4 in .....                              | 66 |
| Ilustración 64. Estado inicial de simulación de esfuerzos en perno de 5/8 in .....                            | 67 |
| Ilustración 65. Estado final de simulación de esfuerzos en perno de 5/8 in .....                              | 67 |
| Ilustración 66. Gráfica esfuerzo vs Factor de seguridad en interfaz de 5/8 in .....                           | 68 |
| Ilustración 67. Diagrama de Esfuerzo Vs deformación de tracción de la junta concreto perno. ....              | 69 |
| Ilustración 68. Gráfica comparativa de validación. ....   | 69 |

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 69. Fuerza vs Coeficiente de seguridad perno de anclaje de 3/4 in..... | 70 |
| Ilustración 70. Fuerza vs Coeficiente de seguridad perno de anclaje de 5/8 in..... | 70 |

## **AGRADECIMIENTO**

En este momento de mi vida académica, deseo expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que contribuyeron de manera significativa a la realización de esta tesis de maestría en Ingeniería Civil.

No puedo pasar por alto el apoyo inquebrantable de mi familia y amigos. Su aliento y comprensión durante los momentos desafiantes de este viaje fueron mi roca y mi fuente de inspiración. A todos ustedes, les agradezco de corazón.

Este logro no es solo mío, sino de todos aquellos que creyeron en mí y me brindaron su apoyo a lo largo de esta travesía. Estoy profundamente agradecido y me siento bendecido por tenerlos en mi vida.

Gracias a todos por ser parte de este importante capítulo de mi carrera académica.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación y tesis de maestría en Ingeniería Civil a las personas que han sido mi fuente constante de inspiración y apoyo a lo largo de este arduo camino académico.

A mi familia, quienes siempre creyeron en mí y me alentaron a perseguir mis sueños. Su amor incondicional y apoyo inquebrantable son el motor que me impulsa a alcanzar mis metas.

A mis amigos, por su comprensión, paciencia y ánimo constante durante las largas horas de estudio y trabajo. Gracias por estar a mi lado en cada paso de esta travesía.

A Francisco Agustin Peña Jordan, mi tutor en esta travesía académica. Su sabiduría, orientación y dedicación fueron esenciales para el éxito de este proyecto.

A todas las personas que participaron en este estudio y aportaron sus conocimientos y tiempo, su colaboración fue invaluable para este trabajo.

Esta tesis es un reflejo del esfuerzo colectivo de todos aquellos que me rodean, y les dedico este logro con profundo agradecimiento y cariño.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN ESTRUCTURAS**  
**METÁLICAS**

**TEMA:**

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA VARILLA ASTM A615 COMO PERNO DE ANCLAJE EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS.

**MODALIDAD DE TITULACIÓN:** Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo

**AUTOR:** Ing. Luis Jaime Fernández Sánchez

**DIRECTOR:** Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg.

**FECHA:** cinco de abril del 2024

**RESUMEN EJECUTIVO**

En este estudio de investigación, se profundizó en el desempeño de la varilla ASTM A615 como perno de anclaje en la construcción de estructuras. Se detallaron exhaustivamente los requisitos para su diseño y construcción, abarcando aspectos cruciales como los materiales empleados y los esfuerzos involucrados en los enlaces de estructuras metálicas. La norma NEC SE EC “Estructuras metálicas” se erige como un intento de armonizar la normativa estadounidense con la realidad ecuatoriana; sin embargo, la presencia de materiales adaptados al mercado por parte de la industria siderúrgica local enfatiza la necesidad de llevar a cabo investigaciones correlacionales entre las diversas normativas existentes. En esta investigación, se llevó a cabo una investigación cualitativa que vinculó distintas normativas con la situación concreta del mercado de estructuras metálicas en Ecuador, tomando en cuenta la adaptación de materiales por parte de la industria siderúrgica local. El diseño experimental se centró en partes específicas y en las reacciones de los pernos de anclaje, utilizando un enfoque que implicó el uso de pernos rectos fundidos en bloques de concreto para la realización de ensayos mecánicos y longitudinales. Los resultados obtenidos revelaron que el acero ASTM A615 exhibe una resistencia a tracción superior en comparación con los aceros recomendados por normativas como AISC 360\_16. No obstante, se identificó una potencial limitación relacionada con su baja elongación, la cual podría incidir negativamente en su comportamiento frente a cargas no uniformes. Además, se observaron desafíos significativos en el proceso de roscado de varillas corrugadas. A pesar de las destacadas propiedades mecánicas presentadas por el ASTM A615, cabe destacar que la normativa no lo recomienda expresamente para este propósito, lo que resalta la importancia de considerar múltiples factores al seleccionar materiales para aplicaciones estructurales específicas.

**DESCRIPTORES:** *Acero, NEC SE EC, resistencias, simulación CAE varilla ASTM A615*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN ESTRUCTURAS**  
**METÁLICAS**

THEME:

STUDY OF THE BEHAVIOR OF ASTM A615 ROD AS AN ANCHOR BOLT IN THE CONSTRUCTION OF STRUCTURES.

**TITULATION MODALITY:** Degree project with applied research and/or development components.

**AUTHOR:** Ing. Luis Jaime Fernández Sánchez

**DIRECTOR:** Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg.

**DATE:** April five, 2024

**EXECUTIVE SUMMARY**

In this research study, the performance of ASTM A615 rod as an anchor bolt in the construction of structures was studied in depth. The requirements for its design and construction were exhaustively detailed, covering crucial aspects such as the materials used and the stresses involved in the connections of metallic structures. The NEC SE EC "Metallic Structures" standard stands as an attempt to harmonize the U.S. standard with the Ecuadorian reality; however, the presence of materials adapted to the market by the local steel industry emphasizes the need to carry out correlational research between the various existing standards. In this research, a qualitative investigation was carried out linking different regulations with the concrete situation of the metallic structures market in Ecuador, taking into account the adaptation of materials by the local steel industry. The experimental design focused on specific parts and anchor bolt reactions, using an approach that involved the use of straight bolts cast in concrete blocks for mechanical and longitudinal tests. The results obtained revealed that ASTM A615 steel exhibits superior tensile strength compared to steels recommended by standards such as AISC 360\_16. However, a potential limitation was identified related to its low elongation, which could have a negative impact on its performance under non-uniform loads. In addition, significant challenges were observed in the rebar threading process. Despite the outstanding mechanical properties presented by ASTM A615, it should be noted that the standard does not specifically recommend it for this purpose, highlighting the importance of considering multiple factors when selecting materials for specific structural applications.

**DESCRIPTORS:** *Steel, NEC SE EC, strengths, CAE simulation, ASTM A615 rebar*

## CAPITULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 2.1 Introducción

La industria de la construcción está en constante evolución, impulsada por la necesidad de reducir los tiempos de ejecución de proyectos, mejorar la calidad de las estructuras y garantizar la seguridad de estas. Motivo por el cual, que la Ingeniería Civil ha experimentado notables avances, particularmente en el análisis del comportamiento de los materiales fundamentales, como el hormigón y el acero. Sin embargo, a pesar de estos progresos, hay un aspecto crítico que ha recibido una atención limitada en investigaciones previas: el estudio de los pernos de anclaje utilizados en estructuras metálicas de la varilla ASTM A615.

Los pernos de anclaje desempeñan un papel importante en el sector de la construcción debido a que fijan las estructuras en el concreto, teniendo un alto beneficio en la industria de la construcción [1]. En el Ecuador la varilla ASTM A615 es usada como perno de anclaje en estructuras. Lamentablemente, su uso no es el adecuado dado que se utiliza de manera empírica, sin una comprensión detallada de sus propiedades mecánicas y sus procesos de fabricación. Sin embargo, el desconocimiento de su comportamiento y desempeño ha llevado a problemas significativos que generan costos adicionales de mantenimiento y reducen la vida útil de la estructura, planteando preocupaciones sobre la seguridad y durabilidad de las estructuras [2].

Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo abordar el uso de los pernos de anclaje de varilla ASTM A615. Se llevarán a cabo ensayos mecánicos y modelación mediante software para evaluar el comportamiento de pernos de anclaje la varilla ASTM A615. Los resultados de esta investigación se utilizarán para proponer recomendaciones sobre su posible uso, lo que contribuirá a mejorar la calidad y la seguridad de las estructuras construidas. Finalmente, con este estudio se plantea los pernos de anclaje en la construcción, y se espera que los resultados sirvan como base para futuras investigaciones y promuevan el uso adecuado de los pernos de anclaje de la varilla ASTM A615 en la práctica constructiva, mejorando así la calidad y la seguridad de las estructuras en el sector de la construcción.

#### 2.2 Justificación

En la industria de la construcción, la necesidad de reducir el tiempo de ejecución de los proyectos es imperante. Las infraestructuras de los últimos años han experimentado diseños más rigurosos, orientados a alcanzar mayores niveles de resistencia, funcionalidad y rentabilidad. Para acompañar esta evolución, se han desarrollado nuevos métodos orientados a la optimización de los procesos constructivos y aseguran la calidad en todas las etapas del proyecto.

Estos avances han generado mejoras en términos de eficiencia y seguridad de las estructuras, brindando soluciones innovadoras para hacer frente a los desafíos que surgen en el diseño y la construcción de obras civiles. La aplicación de técnicas y tecnologías vanguardistas ha permitido

optimizar los recursos disponibles, agilizar los tiempos de construcción y minimizar los costos asociados. Además, se ha puesto un énfasis particular en garantizar la durabilidad y el rendimiento de las edificaciones, considerando aspectos como la resistencia sísmica, el ahorro energético y la sostenibilidad ambiental.

La Ingeniería Civil ha experimentado notables progresos y desarrollos en el ámbito de la construcción, centrándose en analizar el comportamiento de dos de los materiales más fundamentales en este campo: el concreto y el acero. Al llevar a cabo una obra, resulta esencial considerar detalladamente los mecanismos de unión, como los pernos de anclaje. Estos desempeñan un papel fundamental al transmitir las fuerzas aplicadas, en este caso, hacia el concreto [3], [4].

En la actualidad, la industria de la fabricación de metales no tiene las recomendaciones para el correcto de los pernos de anclaje de varilla ASTM A615 utilizados en estructuras metálicas. De manera frecuente, los constructores utilizan estos elementos de manera empírica, sin considerar sus procesos de fabricación. Esto ha llevado varios problemas, que generan costos adicionales de mantenimiento y reducen la vida útil de los pernos de anclaje. Por lo tanto, se ha reconocido la necesidad de realizar una investigación de las propiedades mecánicas y utilizar de manera adecuada los pernos de anclaje [5].

Actualmente en el Ecuador la varilla ASTM A615 es utilizada como un perno de anclaje en las construcciones modernas, normalmente se usa como perno de anclaje en las uniones de la placa base con el hormigón, sin embargo, es importante analizar el comportamiento y desempeño de la varilla en diferentes situaciones para garantizar la seguridad y la durabilidad de las estructuras en las que se utilizan. Este estudio ayudara al análisis técnico - científico en el campo de los pernos de anclaje mejorando la calidad y la seguridad de las estructuras en la construcción que utilice como perno de anclaje la varilla ASTM A615. Además de ello esta investigación ayudara a estudios futuros a promover el uso adecuado de los pernos de anclaje en la práctica constructiva.

## **2.3 Objetivos**

### **2.3.1 General**

Evaluar el comportamiento de la varilla ASTM A615 empleada como perno de anclaje en estructuras a través de ensayos mecánicos y modelación mediante un software para proponer recomendaciones de su posible uso.

### **2.3.2 Específicos**

- 1 Estimar el comportamiento de la varilla ASTM A615 para diámetros de 5/8' y 3/4' mediante ensayos de corte y tracción en la rosca para establecer una comparación con el material indicado en la norma AISC 360-16.
- 2 Identificar las características del perfil roscado de la varilla ASTM A615 de los diámetros 5/8' y 3/4' mediante ensayo metalográfico para verificar la integridad de la rosca.

- 3 Simular mediante software la interfase anclaje-hormigón para estimar su comportamiento ante el arranque usando la varilla ASTM A615 como perno de anclaje.
- 4 Analizar los resultados experimentales y simulaciones para determinar un rango de aplicabilidad de la varilla ASTM A615 de diámetros de 5/8" y 3/4" empleada como perno de anclaje en las estructuras.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 3.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La investigación sobre el comportamiento de la varilla ASTM A615 como perno de anclaje en la construcción de estructuras representa un tema de gran relevancia en el ámbito de la Ingeniería Civil [6], [7]. El uso de varillas ASTM A615 en la construcción de estructuras de hormigón armado es común debido a sus propiedades mecánicas favorables, como alta resistencia a la tracción y ductilidad [8]. Sin embargo, su desempeño como perno de anclaje ha sido objeto de discusión y debate. Por esta razón, se plantea la necesidad de llevar a cabo la presente investigación, que se basa en el análisis de antecedentes previos relacionados con este tema, con el fin de obtener una comprensión más profunda y sólida sobre la cuestión en cuestión.

La conexión entre el acero y el hormigón es de gran importancia para el comportamiento estructural de los elementos de hormigón armado, y está influenciada por una variedad de parámetros [9]. Diversos estudios experimentales han investigado los factores más relevantes que afectan a esta unión, como las características geométricas de la superficie del acero de refuerzo, la calidad del hormigón (por ejemplo, hormigón de alta resistencia, hormigón autocompactante, hormigón con cenizas volantes, hormigón con agregados reciclados, hormigón con agregados livianos y hormigón geopolimérico), así como la posición de la barra durante la colocación del hormigón [9].

Gansino Llanos C et al. llevaron a cabo un análisis exhaustivo de la resistencia mecánica en pernos de anclaje con diámetros de hasta 1/2 pulgada, empleados en estructuras metálicas, mediante pruebas de tracción en diversas probetas, incluyendo M8, M10 y probetas de 1/2 y 3/8 de pulgada de diámetro ayudando en la evaluación de cuatro variantes en cada clase de perno, abarcando desde pernos mecanizados hasta pernos laminados, algunos de los cuales fueron galvanizados, estos resultados determinaron que los pernos de 3/8 pulgadas mecanizados sin recubrimiento, 1/2 pulgadas laminados galvanizados, M8 laminados galvanizados y M10 laminados galvanizados exhibieron las propiedades mecánicas más óptimas, siendo idóneos para su implementación en estructuras metálicas [5].

Ahora bien, Marcon et al., en su estudio sobre el impacto de varios tipos de agregados en la capacidad de anclaje de un ancla undercut en concreto bajo carga de tracción cuasiestática. Se realizaron pruebas en tres lotes de concreto con diferentes agregados, evaluando la capacidad de tracción y propiedades del concreto a dos edades. Se utilizó resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y modelos de predicción para comparar resultados y se examinó el diseño de la capacidad del cono de concreto, incluyendo la forma del cráter y la relación con las propiedades del concreto [10].

Sin embargo, en la investigación analítica de anclajes de barras de refuerzo deformadas sometidas a tensión en concreto del autor Chhetri et al., se estudió el comportamiento de anclajes de barras de refuerzo deformadas (DRAs) bajo carga de tensión, utilizando pruebas limitadas y modelos analíticos. Se llevaron a cabo simulaciones que variaron parámetros como el diámetro del anclaje, el espaciamiento, la profundidad de embebido y el número de anclajes, lo que resultó en 49 simulaciones de falla del concreto. Los resultados señalaron que la falla por desprendimiento del concreto era prominente en los grupos de DRAs, y se encontró que los valores predichos de falla coincidían con las capacidades de concreto promedio según las normas de la ACI, destacando la importancia de considerar el desprendimiento del concreto en el diseño de estos anclajes [11].

En el ámbito de las estructuras de hormigón, según Al-Sabah et al, se evaluó la resistencia del hormigón utilizado en ensayos in situ y técnicas destructivas, como la extracción de testigos, estos ensayos in situ, aunque más económicos, son métodos indirectos y susceptibles a factores no controlados, lo que genera incertidumbre en la estimación de la resistencia del hormigón. La fiabilidad en la determinación de la resistencia del hormigón se convierte en cuestionable debido a estas limitaciones, lo cual es relevante en el desarrollo de la investigación en el comportamiento de varillas como pernos de anclaje en estructuras de construcción [12].

Según, Ahmed et al., ha realizado una evaluación del comportamiento de anclajes adhesivos sometidos a tensiones a diferentes velocidades de deformación en concreto [13], centrándose en anclajes empotrados en concreto expuestos a cargas de tracción a distintas tasas de deformación. Este análisis incluyó la validación de modelos numéricos mediante el método de elementos finitos y se concentró en la capacidad a tensión y el factor de aumento dinámico (DIF) en relación con variaciones en las velocidades de deformación, así como en diferentes diámetros y profundidades de embebimiento de los anclajes. Ahora bien, Wu et al. [14], el rendimiento a compresión de columnas circulares de concreto reforzado con fibras. Se llevaron a cabo pruebas en 20 columnas, considerando diversas variables como el tipo de concreto, el espaciamiento de espirales de acero, los tipos de fibras y las fracciones volumétricas de fibras. Los resultados resaltaron el impacto positivo de las fibras de polipropileno en la prevención de agrietamientos y el desprendimiento de la cubierta, especialmente en comparación con las fibras de carbono. Además, se observó una mejora significativa en la resistencia a compresión del concreto ligero con agregado confinado en espiral (LWAC), particularmente cuando se reforzó con fibras, y se presentó un nuevo modelo de confinamiento que perfeccionó las predicciones en comparación con modelos anteriores.

Ahora bien, Chhetri et al., analizó el comportamiento de anclajes de pernos de cabeza colada en condiciones de carga de tracción. Se llevaron a cabo una serie de pruebas, incluyendo ensayos de compresión y tracción indirecta, así como ensayos de fractura. Los datos experimentales obtenidos se utilizaron para evaluar la precisión de los modelos predictivos actuales, específicamente en términos de la resistencia a la compresión y las propiedades de fractura del hormigón, además de realizar un análisis de correlación. Además, se empleó la fotogrametría para

analizar la geometría del cono de hormigón formado en cada prueba y explorar posibles dependencias relacionadas con el tipo de árido grueso utilizado [15].

Según, Mahadik et al. [16] compara sistemas de anclaje de barras de refuerzo en columnas de hormigón armado en juntas de cimentación, utilizando varillas ASTM A615 como pernos de anclaje. Se realizaron 13 pruebas a escala completa con sistemas prefabricados, prefabricados con gancho doblado y de rebar instalado posteriormente. Los resultados indican que el sistema PI ofreció alta resistencia de adherencia y fluencia flexural a una longitud de anclaje menor que el refuerzo CIS. Además, se observó que la falla por desprendimiento del concreto también se aplicó a los anclajes CIH, aunque de manera ligeramente diferente

Yu et al. [17], en su investigación realizó una evaluación crítica de las disposiciones actuales relacionadas con la resistencia al corte de vigas de hormigón. Esta evaluación se basó en la utilización de herramientas computacionales para mitigar el sesgo estadístico inherente a la base de datos multivariable que aborda la resistencia al corte. Se examinaron las predicciones sobre el efecto del tamaño en la resistencia al corte, así como sus suposiciones subyacentes, y se realizaron simulaciones numéricas de alta precisión para analizar las fallas por corte. Asimismo, es relevante señalar que en esta investigación se destacó el papel fundamental de las varillas ASTM A615 en la construcción de estructuras.

Hussein et al. desarrolló un modelo de elementos finitos para analizar cómo el tamaño de estructuras de alto rendimiento influye en el comportamiento de varillas como pernos de anclaje. Se enfocaron en hormigón reforzado con fibras (UHPFRC) y hormigón de resistencia normal/alta. El modelo, validado con pruebas experimentales, demostró que el impacto del tamaño en las estructuras UHPFRC disminuyó con contenidos de fibra superiores al 1,5%, debido a la alta ductilidad del material UHPFRC [18]. Este hallazgo tiene implicaciones significativas para la comprensión y diseño de sistemas de anclaje en estructuras de alto rendimiento [18].

El diseño de la placa base y los pernos de anclaje propuestos por el manual de AISC resultaron altamente efectivos en la creación de una unión sólida entre una columna de concreto y una columna de acero. Estos componentes evitan de manera exitosa el aplastamiento del concreto y deformaciones permanentes en los pernos debidas a las fuerzas de tracción, debido que, los esfuerzos aplicados no superaron los límites de resistencia del material. Cabe destacar que los desplazamientos que se produjeron en la unión afectaron únicamente al concreto, llegando a su punto de ruptura y generando agrietamientos [4]. Subrayando la importancia de evaluar la interacción entre el acero y el hormigón, ya que ambos materiales pueden experimentar fallos en este tipo de uniones.

En la investigación de Mahrenholtz C, Eligehausen R, Reinhardt H [19] se centra en la cualificación y diseño de anclajes de barras de refuerzo instalados en el lugar y después de la instalación. El estudio analiza dos métodos diferentes de diseño: el uso de disposiciones para barras de refuerzo colocadas en el lugar y la cualificación de barras de refuerzo post-instaladas

como anclajes adhesivos. Por otra parte en el estudio con respecto a la influencia de la corrosión en el incremento del diámetro de la barra lo cual conllevó a una reducción en la capacidad de adherencia, lo que puede ser atribuido a la presencia de agua atrapada alrededor de la barra. Esta situación crea una zona interfacial de transición alrededor de la misma, limitando así la superficie de contacto entre la barra y el concreto circundante. Como resultado, se produce una disminución en las fuerzas de fricción y el entrelazamiento mecánico entre ambos materiales [20]. Como existe una relación entre las propiedades del acero y su adherencia con el concreto o material de fijación, es de vital importancia conocer esta propiedad debido a que influye significativamente en el comportamiento de los pernos de anclaje.

La investigación en la referencia [21] propone el estudio de la capacidad de carga a tensión de placas de anclaje en concreto que utilizan barras de refuerzo deformadas soldadas o alambre deformado de calibre pesado. Estas conexiones son comunes en instalaciones nucleares y enfrentan cargas importantes de tensión o corte. El estudio evaluó esta capacidad de carga a tensión mediante pruebas a gran escala y proporciona resultados de pruebas de extracción de anclajes individuales para caracterizar el comportamiento de adherencia de las barras de refuerzo deformadas y los anclajes de alambre deformado. Además, se destaca la importancia de considerar el comportamiento de falla por desprendimiento del concreto en estas placas de anclaje, sugiriendo un enfoque de diseño basado en los modos de falla concreta que actualmente no aborda directamente el código.

Para realizar estos estudios de interfaz acero-hormigón y la adherencia se emplean técnicas alternativas conocidas como Pruebas No Destructivas (NDT siglas en inglés) y Pruebas Moderadamente Destructivas (MDT siglas en inglés) con el fin de minimizar el daño a los elementos estructurales y reducir los costos económicos involucrados. A pesar de los numerosos estudios académicos realizados, los procedimientos de NDT y MDT aún no pueden brindar estimaciones completamente confiables y, por lo tanto, necesitan ser comparados y respaldados con datos obtenidos de núcleos [9].

Durante una inspección en el campo, se observaron deflexiones aparentes en las vigas postensadas. Se inició una evaluación de ingeniería para identificar la causa de estas grietas en el sistema estructural postensado. Después de una inspección en el campo y una revisión de documentos, se realizó un análisis para estimar posibles pérdidas de postensado y deflexiones esperadas analíticas, con el fin de compararlas con las deflexiones medidas en el campo. Finalmente, se realizaron pruebas no destructivas in situ y pruebas de materiales en laboratorio, que incluyeron el uso de radar de penetración terrestre (GPR) para localizar los tendones y análisis petrográficos y pruebas de resistencia a compresión en muestras de núcleos de concreto [22].

Congqi Fang, Karin Lundgren, Mario Plos y Kent realizaron una prueba de extracción con una máquina de 50 kN y un marco de carga especializado. Utilizaron medidores de desplazamiento (COD y LVDT) para medir el deslizamiento con precisión y conectaron los datos a una

computadora. Las pruebas se enfocaron en investigar el efecto de la corrosión en la adherencia entre las barras de acero y el concreto. Encontraron que la deformación máxima en las barras de acero ocurrió a un esfuerzo inferior a 30 MPa sin pandeo. Estas pruebas arrojaron luz sobre la influencia de la corrosión en la unión entre el acero y el concreto [23]. Dentro del marco de investigación la varilla ASTM A615, también conocida como barra de acero de refuerzo, se ha utilizado ampliamente en la construcción de estructuras de hormigón armado debido a sus propiedades mecánicas favorables, como su alta resistencia a la tracción y ductilidad. Sin embargo, su uso como perno de anclaje ha sido motivo de discusión y debate en la comunidad de Ingeniería Civil.

El análisis de Li et al., se centró en las juntas de carcasa en arcos tubulares de acero rellenos de concreto, especialmente en su idoneidad para proyectos de túneles. La investigación examinó el comportamiento bajo carga, los modos de falla y los mecanismos de falla en muestras con y sin tubos de carcasa, utilizando pruebas de compresión axial, compresión excéntrica y flexión. Los resultados resaltaron que las fallas se debieron principalmente a tensiones locales concentradas en los componentes del arco de acero y en los tubos de carcasa en las áreas de contacto. Se observó que la capacidad de carga de las juntas de carcasa en arcos de acero rellenos de concreto era menor que la de las secciones convencionales, y se evaluaron las influencias de varios parámetros, como la resistencia del concreto, la longitud y el grosor de los tubos de carcasa, y el ancho de la brecha, a través de pruebas de simulación numérica [24].

Los anclajes de barras y alambres deformados en concreto desempeñan un rol esencial al transferir cargas de tracción al concreto, logrando esta función mediante una combinación de adherencia entre el anclaje y el concreto, y en el caso de las barras con gancho, el soporte proporcionado por el gancho del anclaje. En esta investigación se analiza el modo de falla de ruptura por tracción del concreto en anclajes de barras y alambres deformados completamente desarrollados [3].

Bokor B, Sharma A, Hofmann J [25], en su investigación se centra en optimizar el diseño de anclajes de concreto bajo cargas de tensión, especialmente cuando no cumplen con las pautas de diseño convencionales. Se busca comprender el comportamiento de grupos de anclaje parcialmente o no cubiertos por las directrices actuales y generar una base de datos experimental sobre la falla cónica del concreto en estas condiciones. El estudio incluye pruebas en anclajes individuales y en grupos con diferentes configuraciones y rigidez de placa base, evaluando la influencia de la excentricidad. A partir de los resultados, se desarrollará un nuevo modelo analítico. Además, se destaca que el diseño actual se basa en el Método de Diseño de Capacidad del Concreto (CCD), que depende de datos de prueba y tiene limitaciones basadas en suposiciones y restricciones. Esto subraya la necesidad de mejorar los enfoques de diseño existentes.

Además, las tendencias actuales, como la rápida construcción modular, se ven beneficiadas por los avances recientes en tecnología de fijación. Dependiendo de las características específicas de un sistema de fijación elegido y las condiciones de carga, diferentes mecanismos de falla pueden

ocurrir, ya sea de manera independiente o en combinación. Uno de los mecanismos de falla críticos se relaciona con la capacidad del cono de concreto, es decir, la carga necesaria para desprender un elemento de fijación al exceder la capacidad de carga del material subyacente, lo que resulta en la formación de un cono de concreto desprendido que está unido al elemento de fijación.[26].

Numerosos estudios y experiencias prácticas han revelado que el desempeño de la varilla ASTM A615 como perno de anclaje puede ser influenciado por diversos factores, como las cargas aplicadas, posibles daños a nivel metalúrgico durante el proceso de roscado y las diferencias en las propiedades mecánicas en comparación con los aceros convencionales utilizados como pernos de anclaje. Estos factores pueden afectar su capacidad para resistir tensiones y transmitir fuerzas de manera efectiva, lo que a su vez puede comprometer la seguridad y estabilidad de las estructuras. La evaluación del comportamiento de la varilla ASTM A615 como perno de anclaje requiere un enfoque integral que combine pruebas mecánicas con técnicas de modelación computacional. Las pruebas mecánicas proporcionan datos experimentales sobre su rendimiento bajo diversas condiciones de carga, mientras que la modelación a través de software permite simular y analizar su comportamiento en situaciones más complejas.

## **3.2 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA**

### **3.2.1 Pernos de anclaje**

Los pernos de anclaje son elementos de sujeción cruciales que se utilizan para fijar objetos de manera segura a superficies sólidas como hormigón, ladrillo o madera, garantizando la estabilidad y seguridad en diversas aplicaciones, desde la construcción hasta la instalación de equipos. En particular, los pernos de anclaje desempeñan un papel esencial en la seguridad y estabilidad durante la excavación de túneles, requiriendo un monitoreo constante para comprender y gestionar el estrés y evitar posibles fallas o debilitamiento estructural. Estos pernos son fundamentales para garantizar la integridad de las estructuras subterráneas en un entorno de construcción de túneles.[27]

En la investigación de la referencia [28], afirman que los pernos de anclaje desempeñan un papel esencial en la fijación y sujeción de objetos en diversas aplicaciones, incluyendo la construcción, la Ingeniería Civil, la industria manufacturera y la industria automotriz. Estos componentes están diseñados para resistir fuerzas de tracción, compresión y cizallamiento. En su configuración típica, constan de una cabeza que sirve como punto de apoyo para herramientas como llaves inglesas, y una rosca que se inserta a través de un agujero roscado en el objeto a asegurar. Además, los pernos de anclaje pueden estar fabricados en distintos materiales, como acero, acero inoxidable, aluminio o titanio, y su tamaño y forma se adaptan a requisitos específicos de cada situación.

La rápida expansión de la construcción en áreas urbanas ha dado lugar a la escasez de terrenos disponibles para nuevas edificaciones, lo que ha llevado a la necesidad de construir en terrenos

en pendiente o zonas montañosas. Esta situación plantea un desafío significativo para los ingenieros y diseñadores, ya que garantizar la estabilidad estructural en tales terrenos se convierte en una tarea compleja. La falta de estabilidad podría resultar en la vulnerabilidad de las estructuras, lo que a su vez aumentaría el riesgo de deslizamientos de tierra u otros desastres que podrían tener consecuencias tanto materiales como humanas. [29]

Para abordar este desafío, muchas empresas han optado por utilizar una combinación de pernos de anclaje y geomallas como una solución sostenible para garantizar la estabilidad de los taludes en estas áreas inclinadas. Esta estrategia se ha convertido en una práctica común y efectiva en la construcción de estructuras en terrenos con pendientes pronunciadas. La utilización de pernos de anclaje y geomallas no solo ayuda a prevenir la ruptura de los taludes, sino que también reduce significativamente el riesgo de pérdidas tanto de recursos materiales como de vidas humanas [29]. Los pernos de anclaje son fundamentales para la seguridad y la estabilidad de estructuras y objetos que requieren una fijación robusta, y su diseño puede variar según la aplicación y el tipo de material en el que se instalarán.

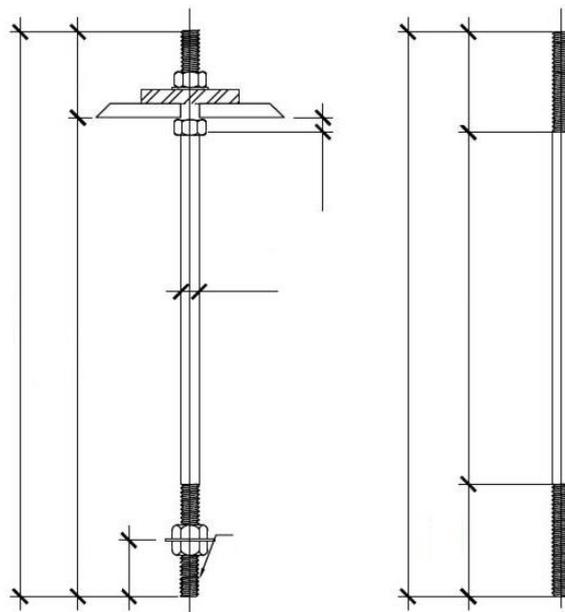


Ilustración 1. Estructura de los pernos de anclaje rectos [30]



Ilustración 2. Pernos de anclaje en concreto [30]

Las características de los pernos de anclaje pueden variar según el tipo y la aplicación específica, como se observa en la Tabla 1:

Tabla 1. Características de los pernos de anclaje

| <b>Características de los pernos de anclaje</b> |  |
|---|--|
| <b>Característica</b>                           | <b>Descripción</b>   |
| Material  | Los pernos de anclaje se fabrican en una variedad de materiales, como acero, acero inoxidable, latón o plástico, según la resistencia y la resistencia a la corrosión requerida para la aplicación.  |
| Tipo de rosca                                   | Los pernos de anclaje pueden tener diferentes tipos de rosca, como rosca interna o rosca externa, dependiendo de si se utilizan con tuercas y arandelas o si se enroscan directamente en el material base.                                       |
| Longitud  | El perno de anclaje puede variar para adaptarse a diferentes grosores de material base y para permitir la sujeción de objetos de diferentes dimensiones.   |
| Tipo de cabeza                                  | Los pernos de anclaje pueden tener una variedad de tipos de cabezas, como cabeza hexagonal, cabeza de estrella o cabeza cuadrada, para permitir su instalación con herramientas específicas.   |
| Capacidad de carga                              | Los pernos de anclaje están diseñados para soportar cargas específicas. La capacidad de carga dependerá del tipo y tamaño del perno de anclaje, así como del material en el que se instale.  |
| Aplicación                                      | Existen diferentes tipos de pernos de anclaje para diversas aplicaciones, como pernos de expansión, pernos químicos y pernos de golpe, cada uno con características específicas para su uso en hormigón, mampostería, madera u otros materiales. |
| Resistencia a la corrosión                      | Para aplicaciones en entornos corrosivos, se utilizan pernos de anclaje hechos de materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable.  |
| Normativas y estándares                         | Los pernos de anclaje a menudo deben cumplir con estándares y regulaciones específicas de seguridad y construcción, dependiendo de la región y la aplicación.  |

### **3.2.1.1 Tipos de pernos de anclaje**

Los pernos de anclaje son elementos de sujeción que se utilizan para asegurar objetos a superficies sólidas. Existen varios tipos de pernos de anclaje, cada uno diseñado para cumplir con necesidades

y condiciones específicas [31]. A continuación se detalla los tipos de pernos de anclaje más utilizados:

#### **Pernos de anclaje mecánicos:**

- *Pernos de expansión:* Estos pernos se utilizan comúnmente en aplicaciones de construcción y fijación en hormigón o mampostería. Consisten en un perno que se inserta en un orificio previamente perforado y se expande mediante la torsión de una tuerca [32]. Esta expansión crea fricción y sujeción contra las paredes del agujero, asegurando una conexión robusta.



Ilustración 3. Pernos de expansión [32]

- *Pernos de cuña:* Similar a los pernos de expansión, los pernos de cuña utilizan una cuña para proporcionar presión contra las paredes del agujero, asegurando la sujeción. Este tipo de perno es eficaz en aplicaciones en las que se necesita una alta resistencia y se utiliza comúnmente en estructuras de acero y concreto [33].



Ilustración 4. Pernos de cuña [33]

#### **Pernos de anclaje químicos:**

Estos pernos de anclaje se utilizan en situaciones en las que la expansión mecánica no es efectiva, como en suelos agrietados o materiales huecos. Funcionan mediante la inyección de un adhesivo químico en el agujero perforado antes de insertar el perno. Con el tiempo, el adhesivo se endurece, creando una unión sólida entre el perno y el material base [34].

El anclaje químico es un nuevo tipo de anclaje que aparece después del anclaje de expansión, que consiste en una manguera química y un tornillo, una junta y una tuerca. A través de la manguera química, el tornillo se cementa y se fija en el orificio del sustrato de concreto para realizar un componente para anclar los miembros conectados [35].



Ilustración 5. Pernos de anclaje químicos [34]

#### **Pernos de anclaje autoperforantes:**

Estos pernos son ideales para aplicaciones en acero y metal. Tienen una punta afilada que permite perforar directamente el material sin necesidad de perforaciones previas. Esto ahorra tiempo y facilita la instalación en estructuras metálicas. Son soluciones de anclaje y unión diseñadas específicamente para aplicaciones en construcción industrial y estructuras metálicas [36].

Los pernos autoperforantes son esenciales en la minería subterránea y construcción de túneles, ya que perforan y aseguran sin necesidad de perforaciones previas. Están compuestos por barras roscadas huecas con una broca en el extremo, simplificando la instalación. Después de colocarlos, se llenan con resina o mortero de cemento para consolidar el terreno. Estos pernos se pueden acoplar para lograr longitudes mayores. Tienen una tuerca en el extremo que distribuye la carga de manera efectiva. Son útiles en rocas duras y compactas y reducen costos y tiempo de instalación al eliminar la necesidad de perforación previa y equipos adicionales [37].

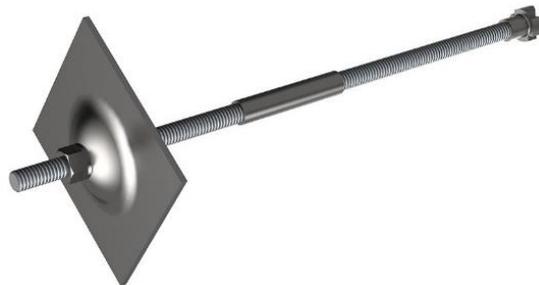


Ilustración 6. Pernos de anclaje autoperforantes [37]

#### **Pernos de anclaje de carga directa:**

Diseñados para aplicaciones que requieren la fijación de cargas pesadas, estos pernos suelen tener una cabeza roscada expuesta que permite conectar directamente objetos o estructuras. Se utilizan comúnmente en aplicaciones de construcción de estructuras pesadas para asegurar instalaciones de peso medio a pesado en diversas superficies, incluyendo hormigón con o sin fisuras, así como placas de yeso y otros sustratos, ofreciendo una instalación rápida y sencilla. Además, están disponibles en variantes adaptadas a aplicaciones en exteriores, cumpliendo con requisitos de seguridad contra incendios y normativas sísmicas, respaldados por la certificación ETA (Evaluación Técnica Europea) [38].



Ilustración 7. Pernos de anclaje de carga directa [38]

#### **Pernos de anclaje de rosca interna:**

Los pernos de anclaje de rosca interna son elementos de sujeción ampliamente empleados en la construcción e ingeniería para asegurar estructuras y componentes de manera segura. Estos pernos cuentan con roscas internas que permiten la conexión con otros elementos roscados, como varillas o pernos, lo que resulta útil en ensamblajes y conexiones múltiples, como la unión de piezas metálicas o la instalación de sistemas de suspensión [39]. Destacan por su facilidad de instalación y su capacidad para soportar cargas significativas, utilizándose en una variedad de aplicaciones que van desde la fijación de barandillas en estructuras de concreto hasta la sujeción de maquinaria pesada en su lugar, gracias a su diseño que garantiza una sujeción sólida y duradera en diversos entornos [40].



Ilustración 8. Pernos de anclaje de rosca interna [40]

#### **Pernos de anclaje de fibra de vidrio:**

Los pernos de anclaje de fibra de vidrio son resistentes a la corrosión y se utilizan en entornos en los que es crucial evitar la corrosión, como aplicaciones marinas o químicas. Son ligeros, duraderos y ofrecen una excelente resistencia. Son apreciados por su ligereza, resistencia a la corrosión y aislamiento eléctrico [41]. Los pernos de anclaje de fibra de vidrio se utilizan en una variedad de aplicaciones, desde entornos marinos y químicos hasta la sujeción de equipos eléctricos, su diseño les permite proporcionar una sujeción confiable en condiciones adversas y entornos hostiles [42].



Ilustración 9. Pernos de anclaje de fibra de vidrio [34].

### 3.2.1.2 Arreglos de pernos de anclaje

Los arreglos de pernos de anclaje se convierten en un aspecto crucial en la garantía de una sujeción sólida y segura en diversas estructuras. Estos arreglos, que son esencialmente las configuraciones específicas en las que se colocan los pernos de anclaje, se adaptan y diseñan en función de las necesidades precisas de cada proyecto y aplicación, los pernos de anclaje se personalizan para satisfacer las necesidades de la construcción.

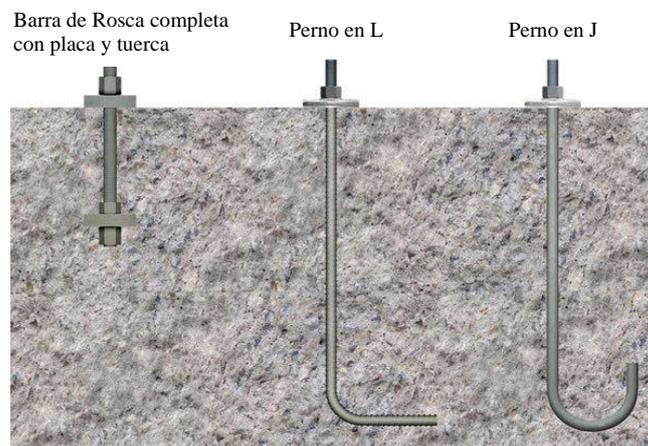


Ilustración 10. Arreglos de pernos de anclaje.

#### **Pernos de anclaje rectos**

Los pernos de anclaje rectos son elementos de sujeción que se utilizan en aplicaciones donde se necesita una fijación directa en línea recta [43]. Estos pernos proporcionan una resistencia a la tracción y compresión en una sola dirección y son adecuados para una amplia gama de aplicaciones, desde la construcción hasta la fabricación de equipos [44], en la Tabla 2, se observa las características principales de estos pernos de anclaje.



Ilustración 11. Pernos de anclaje rectos [30]

Tabla 2. Características de los pernos de anclaje rectos

| <b>Características de los pernos de anclaje rectos</b> |  |
|--|--|
| <b>Características</b>                                 | <b>Descripción</b>                         |
| Tipo   | Perno de anclaje recto                     |
| Dirección de Sujeción                                  | Una dirección (lineal)                     |
| Resistencia a la Tracción                              | Sí, en la dirección de la sujeción         |
| Resistencia a la Compresión                            | Sí, en la dirección de la sujeción         |
| Resistencia a la Flexión                               | Limitada                                   |
| Aplicaciones Comunes                                   | Construcción, fabricación de equipos, etc. |
| Ventajas   | Sencillez, versatilidad en aplicaciones    |
| Limitaciones   | No es adecuado para aplicaciones en ángulo |

### **Pernos de anclaje en L**

Los pernos de anclaje en forma de "L" son elementos de sujeción con una configuración que se asemeja a la letra "L". Su diseño versátil les permite proporcionar una sujeción eficaz en dos direcciones: tanto vertical como horizontalmente. Esta capacidad de anclaje dual los convierte en una elección ideal para aplicaciones donde se requiere resistencia en ángulos rectos. Estos pernos se utilizan comúnmente en la construcción y la ingeniería para asegurar estructuras, paneles, soportes y otros componentes en posición vertical y horizontal, proporcionando una solución robusta y fiable para lograr conexiones seguras en una variedad de proyectos y aplicaciones [45]. En la Tabla 3 se observa las características de los pernos de anclaje en forma de L.



Ilustración 12. Pernos de anclaje en L [30]

Tabla 3. Características de los pernos de anclaje en L

| <b>Características de los pernos de anclaje en L</b> |  |
|--|--|
| <b>Características</b>                               | <b>Descripción</b>                             |
| Tipo   | Perno de anclaje en forma de "J"               |
| Dirección de Sujeción                                | Dos direcciones: vertical y horizontal         |
| Resistencia a la Tracción                            | Sí, en dirección vertical                      |
| Resistencia a la Compresión                          | Sí, en dirección horizontal                    |
| Resistencia a la Flexión                             | Buena resistencia en direcciones opuestas      |
| Aplicaciones Comunes                                 | Fijación en ángulos rectos, estantes, soportes |
| Ventajas   | Resistencia en dos direcciones, versatilidad   |
| Limitaciones   | Menos versátil que los pernos rectos           |

### Pernos de anclaje en J

Los pernos de anclaje en forma de "J" tienen una configuración que se asemeja a esa letra. Están diseñados para proporcionar una resistencia de sujeción en una dirección, generalmente en un ángulo recto. Estos pernos son útiles en aplicaciones donde se necesita una fijación sólida en una sola dirección, como la sujeción de paneles de pared [45]. En la

Tabla 4 se detalla las características de este tipo de pernos de anclaje.



Ilustración 13. Pernos de anclaje en J [30]

Tabla 4. Características de los pernos de anclaje en J

| <b>Características de los pernos de anclaje en J</b> |  |
|--|--|
| <b>Características</b>                               | <b>Descripción</b>                             |
| Tipo   | Perno de anclaje en forma de "L"               |
| Dirección de Sujeción                                | Dos direcciones: vertical y horizontal         |
| Resistencia a la Tracción                            | Sí, en dirección vertical                      |
| Resistencia a la Compresión                          | Sí, en dirección horizontal                    |
| Resistencia a la Flexión                             | Buena resistencia en direcciones opuestas      |
| Aplicaciones Comunes                                 | Fijación en ángulos rectos, estantes, soportes |
| Ventajas   | Resistencia en dos direcciones, versatilidad   |
| Limitaciones   | Menos versátil que los pernos rectos           |

### 3.2.2 Acero ASTM A615

#### 3.2.2.1 Definición y características del acero ASTM A615

El acero ASTM A615 es una norma técnica establecida por ASTM International, que especifica las propiedades y requisitos para el acero estructural utilizado en aplicaciones de construcción, especialmente en concreto reforzado. Esta norma define los grados de acero y establece los requisitos para su composición química, propiedades mecánicas, dimensiones y tolerancias [46]. El ASTM A615 es ampliamente utilizado en la industria de la construcción, dado que, proporciona directrices claras y estándares de calidad para garantizar que el acero utilizado en estructuras cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad necesarios. Los grados específicos, como el Grado 40, Grado 60 y Grado 75, indican la resistencia a la tracción mínima en kilolibras por pulgada cuadrada (ksi) que debe tener el acero, lo que permite a los ingenieros y constructores seleccionar el tipo adecuado de acero para sus proyectos. [47]

En el estudio "Comportamiento de la corrosión en las barras de acero de refuerzo ASTM A615 incrustadas en concreto con incorporación parcial de polvo de desecho cerámico en lugar de cemento Portland.", evaluó el efecto de la adición de polvo de desecho cerámico como sustituto parcial de cemento Portland en la corrosión de aceros de refuerzo ASTM A615. Los resultados indicaron una mejora significativa en la resistencia a la corrosión, con muestras que contenían un 15% de polvo de desecho cerámico mostrando la mayor resistencia a la compresión en una solución de NaCl al 3.5% en peso y una considerable reducción en la corrosión por picaduras en las barras de acero embebidas en concreto en comparación con las muestras de control [47].



Ilustración 14. Acero ASTM A615

El acero ASTM A615 es una norma técnica que establece las especificaciones para el acero estructural de baja aleación, con alta resistencia y de calidad para uso en la construcción. A continuación, en la Tabla 5 se muestra las características del acero ASTM A615:

Tabla 5. Características del acero ASTM A615

| <b>Características del acero ASTM A615</b> |   |
|--|---|
| <b>Características</b>                     | <b>Descripción</b>  |
| Tipo de Acero                              | Acero estructural de baja aleación  |
| Composición Química                        | Contiene elementos como carbono, manganeso, silicio, fósforo y azufre en proporciones específicas.  |
| Resistencia a la Tracción                  | Ofrece una resistencia a la tracción especificada, lo que lo hace ideal para aplicaciones de alta carga.  |
| Grados de Acero                            | Se encuentra disponible en diferentes grados, como A615 Grado 40, Grado 60, Grado 75, que indican la resistencia a la tracción mínima en ksi                    |
| Aplicaciones Comunes                       | Ampliamente utilizado en la construcción de estructuras de concreto reforzado, como vigas, columnas y placas de cimentación.                                    |
| Ventajas                                   | Ofrece alta resistencia y durabilidad, lo que lo convierte en una elección preferida para proyectos de construcción que requieren materiales de alta calidad.   |
| Cumplimiento de Normas                     | Debe cumplir con las normas y especificaciones establecidas por ASTM International (anteriormente conocida como la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales). |
| Tratamientos Superficiales                 | Puede estar disponible en versiones lisas o con estrías para una mejor adherencia del concreto.   |
| Tipo de Acero                              | Acero estructural de baja aleación  |

### **3.2.2.2 Aplicación del acero ASTM A615**

La aplicación del acero ASTM A615 es fundamental en la industria de la construcción y la Ingeniería Civil. Este tipo de acero, que cumple con estándares específicos de resistencia y durabilidad, se utiliza comúnmente en la fabricación de barras de refuerzo para estructuras de concreto armado, como edificios, puentes y otras infraestructuras. Su alta resistencia a la tracción lo hace adecuado para resistir las tensiones a las que se someten las estructuras de concreto. Además, el acero ASTM A615 se utiliza en proyectos de construcción que requieren una mayor durabilidad y capacidad de carga, garantizando la seguridad y la integridad de las edificaciones a lo largo del tiempo [48].

### **3.2.3 Placas base y sistemas de anclaje de estructuras metálicas**

Las placas bases y sistemas de anclaje en estructuras metálicas son componentes esenciales en la construcción y la Ingeniería Civil, desempeñando un papel fundamental en la seguridad y la integridad de las estructuras metálicas ya que estos elementos transmiten fuerza de un miembro a otro [49]. Estos elementos aseguran la firmeza de las construcciones al anclarlas al terreno o a otras estructuras especialmente en los edificios y puentes.

#### **3.2.3.1 Placas base**

Las placas construidas de acero, se ubican en la base de las columnas para lograr una distribución uniforme de la carga sobre el sustrato. Este componente es esencial, dado que aporta estabilidad y previene el hundimiento de la estructura en el terreno. Las placas base constituyen elementos estructurales de gran importancia al enlazar las columnas de acero con la cimentación de hormigón, desempeñando un papel crítico en la interfaz entre la superestructura y la cimentación. Asimismo, estas placas son responsables de absorber las cargas que afectan a la columna de acero y distribuir las hacia la cimentación. Por tanto, la base de concreto que recibe estas cargas que deben ser dimensionadas de manera adecuada para prevenir el sobreesfuerzo del hormigón y evitar la falla por aplastamiento [50].

Una placa base recibe las cargas de la columna de acero y las distribuye en un área mayor del concreto localizado bajo dicha placa, esta área debe ser lo suficientemente grande para impedir que el concreto se sobre esfuerce y se fracture por aplastamiento. Las fuerzas distribuidas en toda el área de la placa base ejercen presión sobre el concreto, que a su vez reacciona con una presión igual, pero en sentido opuesto. Esto tiende a flexionar las partes de la placa base que quedan en voladizo fuera de la columna, por lo tanto, las placas base para columnas se encuentran sometidas a flexión en dos direcciones [51].

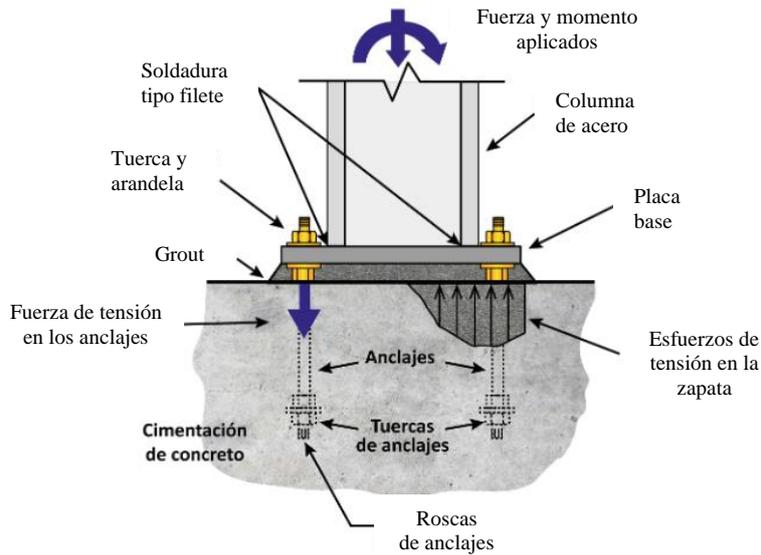


Ilustración 15. Componentes de la placa base [50]

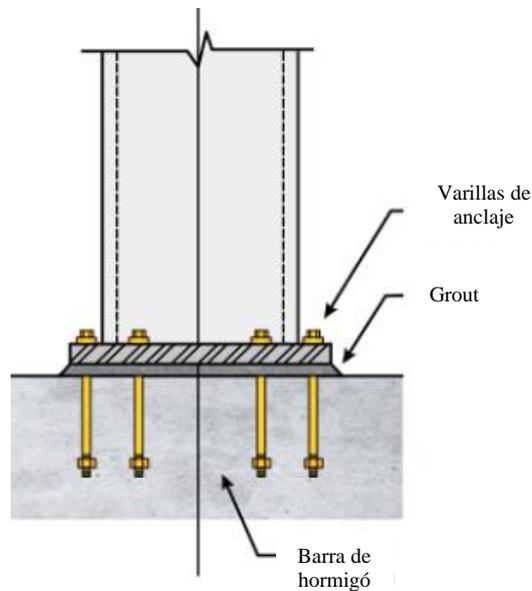


Ilustración 16. Pernos de anclaje sobre la placa base [50]

### 3.2.3.2 Sistemas de anclaje

Los sistemas de anclaje son importantes en la ingeniería y la construcción, ya que se utilizan para asegurar estructuras metálicas al suelo u otras superficies [52]. Estos sistemas pueden incluir diversos elementos como pernos de anclaje, pernos químicos, sistemas de cimentación profunda y otros dispositivos diseñados para proporcionar conexiones seguras y estables, garantizando así la estabilidad y seguridad de las estructuras [50], [53].

En la Ilustración 17, se describen las distintas zonas de un anclaje: la zona de anclaje al terreno, la zona libre y la cabeza. La zona de anclaje al terreno es la parte que se conecta al suelo en profundidad y transfiere las fuerzas, mientras que la zona libre permite la deformación de la armadura sin estar conectada al terreno circundante. La cabeza es la unión de la armadura a la

placa de apoyo, desde donde se ejerce la fuerza sobre la estructura [54]. Cada una de estas zonas desempeña un papel importante en la efectividad y estabilidad de un anclaje.

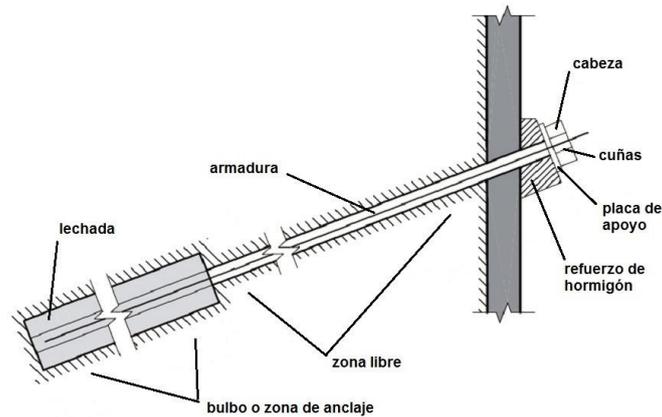


Ilustración 17. Sistema de anclaje [54]

### 3.2.4 Bloque de hormigón

Los bloques de hormigón son elementos prefabricados ampliamente utilizados en la construcción. Están compuestos de una mezcla de cemento, arena, grava y agua, que se vierte en moldes y se deja fraguar. Estos bloques vienen en diferentes tamaños y formas, y su resistencia varía según la proporción de materiales en la mezcla [55]. Se emplean en la construcción de muros, paredes, cimientos y otros elementos estructurales, ofreciendo durabilidad, resistencia y facilidad de instalación. Los bloques de hormigón son apreciados por su capacidad para soportar cargas y su resistencia a la intemperie, lo que los convierte en una elección común en proyectos de construcción [56].

### 3.2.5 Máquina universal

Una máquina universal se refiere a un equipo de prueba que se utiliza para evaluar y comprobar la resistencia de distintos tipos de materiales. Estas máquinas están equipadas con un sistema de servicontrol que aplica cargas controladas sobre una probeta, con el fin de medir y representar estos datos en una gráfica de deformación [57]. Son capaces de generar fuerzas de distintos tipos y con diversas intensidades sobre los materiales, lo cual puede variar. Por lo general, constan de un bastidor que puede estar conformado por uno o dos columnas de soporte. Este tipo de máquinas universales opera mediante tres principios de funcionamiento: hidráulico, electromagnético y neumático [58].

Estas máquinas destacan por su versatilidad, siendo capaces de llevar a cabo una amplia variedad de pruebas, que incluyen evaluaciones de tracción, compresión, flexión, torsión y fatiga. Estos ensayos desempeñan un papel crucial en la determinación de propiedades mecánicas como la resistencia, elasticidad, dureza, entre otras, proporcionando una comprensión detallada de las características de los materiales. Las máquinas universales desempeñan un papel fundamental en la investigación y desarrollo de materiales, así como en el ámbito del control de calidad en la

producción industrial. Permiten evaluar de manera exhaustiva el rendimiento y la integridad de materiales y componentes en una amplia gama de aplicaciones [59].



Ilustración 18. Máquina universal [59]

### 3.2.5.1 Descripción del funcionamiento

El funcionamiento de una máquina universal de ensayos se basa en la aplicación controlada de fuerza a un material y la medición simultánea de la respuesta mecánica del mismo [57], [60]. A continuación, se describe el proceso general:

Tabla 6. Funcionamiento de la máquina universal

| Paso                            | Descripción  |
|---------------------------------|--|
| 1 Sujeción del material:        | Se sujeta la muestra de prueba de manera segura en la máquina.   |
| 2 Aplicación de la carga:       | La máquina aplica una carga controlada al material.  |
| 3 Medición de la respuesta:     | Se registran datos como fuerza, deformación, desplazamiento, velocidad y tiempo.   |
| 4 Registro y análisis de datos: | Los datos recopilados se utilizan para generar curvas de esfuerzo-deformación y analizar las propiedades mecánicas del material. |
| 5 Control y seguridad:          | La máquina cuenta con sistemas de control y seguridad para aplicar la carga de manera controlada y prevenir daños.               |
| 6 Resultados y conclusiones:    | Se analizan los datos para obtener conclusiones sobre las propiedades mecánicas del material.                                    |

### 3.2.5.2 Accesorios de la maquina universal

Los accesorios de una máquina universal de ensayos son componentes esenciales que se utilizan para adaptar la máquina a diversas pruebas y aplicaciones, ampliando su versatilidad y capacidad de realizar ensayos mecánicos en una variedad de materiales y situaciones [61]. Estos accesorios son cruciales para cumplir con los requisitos específicos de ensayo y las normativas de calidad en

una amplia gama de industrias. A continuación, se amplía la información sobre los accesorios de una máquina universal de ensayos:

Tabla 7. Accesorios de una máquina universal

| <b>Accesorio</b>                           | <b>Descripción</b>  |
|--|---|
| Garras o mordazas                          | Estos son componentes esenciales que sujetan la muestra o el espécimen que se va a ensayar. Las garras vienen en diferentes formas y tamaños según el tipo de material y la geometría de la muestra. Pueden ser garras de tracción, compresión, flexión, torsión, o adaptadas a aplicaciones específicas. |
| Placas de compresión                       | Se utilizan para aplicar fuerzas de compresión a materiales, como hormigón, cerámica o materiales compresibles. Vienen en varios tamaños y formas.  |
| Extensómetros                              | Estos dispositivos miden la deformación de la muestra durante un ensayo. Proporcionan datos precisos sobre la elongación, la compresión o la torsión del material bajo carga.   |
| Células de carga                           | Son sensores que miden la fuerza aplicada a la muestra. Las células de carga están disponibles en diferentes rangos de capacidad para adaptarse a una amplia variedad de aplicaciones.  |
| Herramientas de flexión                    | Se utilizan para realizar ensayos de flexión en vigas y otros materiales que experimentan flexión bajo carga. Pueden incluir soportes, rodillos y placas de flexión.  |
| Accesorios para torsión                    | Estos accesorios permiten aplicar torsión a las muestras para realizar ensayos de torsión en materiales como metales y plásticos.   |
| Dispositivos de impacto                    | Utilizados en pruebas de impacto, especialmente en materiales metálicos.  |
| Dispositivos de enfriamiento o calefacción | Se utilizan para evaluar el comportamiento de los materiales a diferentes temperaturas. Esto es útil en aplicaciones como pruebas de materiales compuestos y polímeros.   |

### **3.2.6 Ensayos mecánicos**

Los ensayos mecánicos son procedimientos y pruebas técnicas que permiten identificar las características y propiedades mecánicas de los productos o procesos según una especificación determinada.

#### **3.2.6.1 Ensayos de corte**

Los ensayos de corte se llevan a cabo al sostener un prisma del material de manera que los esfuerzos susceptibles a flexión se minimicen a lo largo del plano donde se aplica la carga cortante. Aunque este método proporciona una indicación inicial de la resistencia al esfuerzo que puede esperarse en elementos como remaches, pernos y bloques de madera, su aplicabilidad se ve limitada. Esto se debe, en parte, a la fricción inherente entre las partes de las herramientas, lo que afecta la precisión de las mediciones de la resistencia al corte [62].

Es fundamental destacar que la precisión de los resultados obtenidos en el ensayo de corte está intrínsecamente vinculada a la calidad de los bordes de las palancas endurecidas que entran en contacto con la probeta. La dureza y nitidez de estos bordes desempeñan un papel crucial, en vista que afectan directamente la capacidad de la herramienta para aplicar una carga de corte de manera uniforme y controlada. Cualquier irregularidad en estos bordes podría introducir variaciones significativas en los resultados, comprometiendo la fiabilidad de la prueba.

Adicionalmente, la influencia de la fricción y otros factores asociados con la interacción entre las herramientas y la probeta no debe subestimarse. La fricción puede afectar la eficiencia del corte y generar resistencias no deseadas, introduciendo sesgos en la medición de la resistencia al corte real del material. Por lo tanto, la gestión y comprensión de estos factores son cruciales para una interpretación precisa y confiable de los datos obtenidos durante el ensayo.

Es importante destacar que, aunque el ensayo de corte proporciona información valiosa sobre la resistencia al esfuerzo en ciertas aplicaciones prácticas, presenta una limitación sustancial al no ser capaz de determinar la resistencia elástica del material. Esta restricción debe considerarse cuidadosamente al seleccionar y diseñar ensayos, asegurándose de que se alineen con los objetivos específicos de la evaluación de materiales y proporcionen una representación integral de sus propiedades mecánicas.

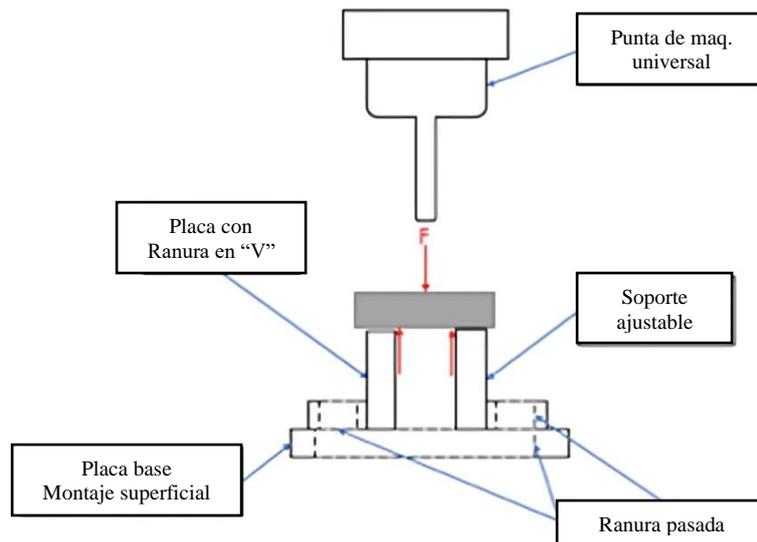


Ilustración 19. Ensayo de corte [62].

### 3.2.7 Ensayos longitudinales

Estos ensayos se realizan con el propósito de proporcionar un análisis exhaustivo de las pruebas realizadas en la dirección longitudinal de un material. Estas evaluaciones no se limitan únicamente a la resistencia y deformación; abarcan también la capacidad de flexión, resistencia a fuerzas de compresión y resistencia. Cada uno de estos ensayos proporciona una comprensión detallada de las propiedades y el comportamiento del material en esta dimensión específica. Esta información resulta esencial para una comprensión completa del rendimiento del material en diversas aplicaciones [63].

#### 3.2.7.1 Ensayos de tracción

Los ensayos de tracción, se lleva a cabo la extensión controlada de una probeta mediante la aplicación de una fuerza axial que es proporcional a sus dimensiones. Esta operación se ejecuta de manera precisa utilizando una máquina universal de ensayo configurada específicamente en modo de tracción, cuyo objetivo principal es evaluar las propiedades mecánicas del material a través de su deformación controlada [64]. Este procedimiento es esencial para comprender en detalle cómo un material responde a cargas de tracción y proporciona una visión integral de sus características mecánicas fundamentales.

La información derivada de los ensayos de tracción desempeña un papel crucial en diversas áreas de la ingeniería y la manufactura. En particular, estos ensayos ofrecen una comprensión detallada de la resistencia y ductilidad de los materiales, aspectos esenciales para el diseño eficiente y seguro de componentes y estructuras [65]. Los datos obtenidos no solo se utilizan para evaluar el rendimiento de los materiales, sino que también son fundamentales en procesos como la comparación de distintos materiales, la mejora de aleaciones para alcanzar propiedades específicas y la realización de controles de calidad rigurosos.

Al llevar a cabo pruebas de tracción, se recopilan datos cruciales relacionados con la resistencia a la fluencia, la resistencia a la tensión, el módulo de Young y la ductilidad del material [66].

Estos parámetros son esenciales para caracterizar la respuesta del material bajo cargas de tracción y brindan información valiosa para optimizar su rendimiento en una variedad de aplicaciones industriales y de ingeniería.

En la Figura 1 se observa un diagrama esfuerzo-deformación el cual ha sido obtenido a través de esfuerzos de tracción.

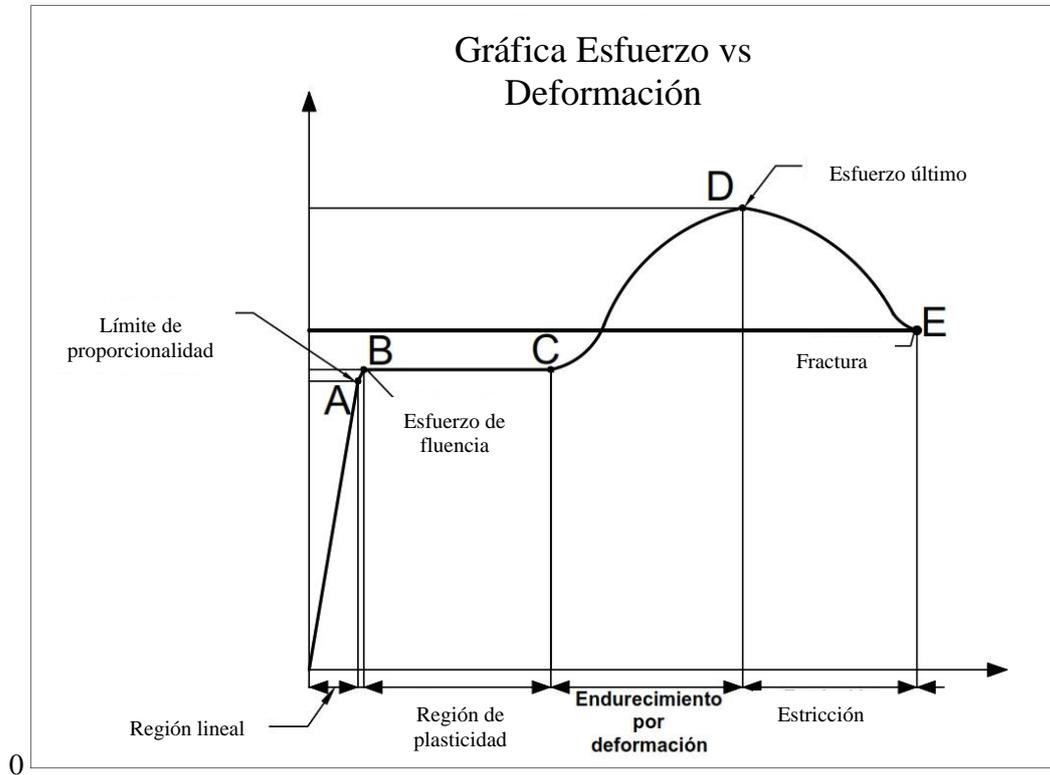


Ilustración 20. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para un acero estructural común en tensión [64]

### 3.2.8 Simulación de esfuerzos

La simulación de esfuerzos es una técnica valiosa en ingeniería y diseño, que utiliza software especializado para modelar y analizar cómo los materiales y estructuras responderían bajo diferentes condiciones de carga [67], [68]. Al emplear herramientas de simulación, los ingenieros pueden visualizar y cuantificar la manera en que los esfuerzos actúan sobre una estructura, identificar posibles puntos de fallo, optimizar el diseño para mejorar la resistencia y eficiencia, y prevenir problemas potenciales [68]. El MEF[69], [70], es especialmente útil para analizar estructuras complejas que no pueden ser abordadas fácilmente mediante métodos analíticos tradicionales, este método es una técnica numérica avanzada utilizada en ingeniería y ciencias aplicadas para resolver problemas complejos de análisis estructural, térmico, eléctrico y fluido dinámico. El método de elementos finitos divide la estructura en elementos simples, aplica ecuaciones matemáticas para modelar su comportamiento físico y resuelve numéricamente el sistema para obtener soluciones aproximadas de variables como desplazamientos y tensiones [70].

### 3.2.8.1 Parámetros de simulación

Para el desarrollo de la simulación se han propuesto varios parámetros a cumplir para tener una correcta simulación en el sistema ANSYS, este es un software utilizado para analizar elementos finitos, dinámica de fluidos computacionales y electromagnetismo, que ofrece una amplia gama de herramientas para simulaciones multifísicas

Tabla 8. Parámetros de simulación.

| <b>Paso</b>                             | <b>Descripción</b>   |
|---|--|
| 1. Configuración del modelo             | Definición de geometría, materiales y tipos de elementos finitos       |
| 2. Condiciones del entorno              | Restricciones y cargas internas  |
| 3. Generación de mallado                | Dividir la geometría en elementos finitos                              |
| 4. Aplicación de cargas y restricciones | Analizar las propiedades de los materiales                             |
| 5. Propiedades de análisis              | análisis de propiedades para determinar el tipo de análisis a realizar |
| 6. Interfaz de entrega de resultados    | especificando el formato de presentación de los resultados obtenidos.  |

#### **Configuración de modelo**

Para llevar a cabo una correcta simulación se debe abordar la configuración del modelo, donde se define la geometría, especificando los materiales y seleccionando los tipos de elementos finitos que se van utilizar en la discretización.

#### **Condiciones del entorno**

Asimismo, se debe establecer las condiciones de los entornos ya sean las restricciones como las cargas internas, definiendo con ello las condiciones iniciales que tendrá el sistema para la simulación.

#### **Generación de mallado (MESH)**

La generación de mallado (MESH) es un paso crítico donde la geometría se divide en elementos finitos más pequeños, determinando el tamaño del elemento y afectando la precisión y eficiencia computacional.

#### **Cargas y restricciones**

En las simulaciones las cargas y restricciones son una parte esencial en la simulación frente al mundo real aquí se aplican las fuerzas y presiones al modelo, imponiendo restricciones para observar las condiciones físicas.

#### **Propiedades de análisis**

Asimismo, el análisis de las propiedades permite saber el tipo de análisis que se va realizar, ya sea estático, dinámico o térmico, con ello se configura los parámetros específicos para obtener resultados significativos.

### **Interfaz de entrega de resultados**

Finalmente, la interfaz de entrega de resultados es la encargada de especificar el formato en el cual se presentarán los resultados, esto puede ser mediante gráficos, tablas o informes, aquí se muestra las variables seleccionadas que se monitorearán durante la simulación.

## CAPITULO III

### MARCO METODOLOGICO

#### 4.1 Ubicación

La investigación se llevará a cabo en tres laboratorios distintos del país, el ensayo a tracción se lo realizará en el laboratorio de resistencia de materiales LenMav de la ciudad de Riobamba ya que este cuenta con una maquina universal adecuada y accesorios disponibles para la finalidad. El ensayo de corte se lo realizará en el laboratorio de resistencia de materiales de la Escuela Politécnica Nacional de la ciudad de Quito ya que es el único laboratorio que cuenta con los accesorios normalizados para este tipo de ensayos y los ensayos de metalografía se los llevarán a cabo en el laboratorio de materiales del Centro De Desarrollo Metalmecánico De Tungurahua ubicado en la ciudad de Ambato.

#### 4.2 Equipos y materiales

##### 4.2.1 Equipos

**Ensayos de tracción:** se realizarán diez ensayos de tracción en total en la maquina universal de ensayos WAW600B Jinan Liangong Testing Technology CO. LTDA serie 7136 Certificada por el instituto nacional de estandarización y normas INEN con código: LNM-F-2016500064D.

**Ensayos de corte:** se realizarán diez ensayos de corte en total en la maquina universal de ensayos de la facultad de mecánica marca Tinius Olsen serie 100T calibrada por el laboratorio de metrología Metro Cia. Ltda. en el año 2022.

El mercado siderúrgico ecuatoriano ha enfrentado desafíos recientes en términos de disponibilidad de material, específicamente acero ASTM A615. Por lo que se definió 20 ensayos (10 de tracción, 10 de corte) para asegurar el cumplimiento de las normas de ensayo ASTM E8 y la longitud total de material disponible.

**Ensayos metalográficos:** los ensayos metalográficos se efectuarán en el laboratorio de materiales de centro de fomento metalmecánico carroceros de Tungurahua donde cuentan con un microscopio electrónico OLYMPUS modelo: BX41M-LED.

**Simulación:** La simulación se la realizó mediante un software de validación de productos que utiliza el método de elementos finitos para simular el comportamiento de los distintos materiales en carga estática y dinámica para lo cual se usará una laptop DELL Inspiron equipada con Intel Core i7 de séptima generación.

##### 4.2.2 Materiales

Para la obtención de las probetas de tracción, corte y metalográficos el único material a utilizar es el acero ASTM A615, con el datasheet mostrado en la tabla 8, se utilizarán aproximadamente cinco metros de varilla corrugada de 5/8 in y cinco metros de varilla corrugada de 3/4 in mismos

que serán cortados en las distancias descritas en los planos de las probetas de las láminas de la 1 a la 4.

Tabla 9. Propiedades mecánicas del acero ASTM A615

| <b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b> |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| Límite de fluencia $F_y$     | 4280 kg/cm <sup>2</sup> |
| Resistencia a la tracción R  | 6320 kg/cm <sup>2</sup> |
| Porcentaje de elongación     | 9% min                  |

Para determinar las premisas del diseño es necesario partir de la designación de materiales para cada sólido en el ensamble

#### **Bloque de concreto**

- Se considera un concreto de base o cimiento teniendo en cuenta una resistencia al aplastamiento de 55 MPa. Para que los resultados puedan ser comparados con el estudio realizado en (Congqi Fang, Bond behaviour of corroded reinforcing steel bars in concrete, 2006) artículo científico donde se estudió el mismo fenómeno en diferente acero.
- No se toma en cuenta ninguna consideración ambiental
- Se considera que el concreto trabaja con un índice de humedad bajo.
- No se considera el deterioro u oxidación perteneciente a la placa base
- Se desprecia cualquier tipo de imperfección en el colado.

#### **Perno de anclaje**

- Se considera un acero ASTM A615 considerado como acero estructural con las características del datasheet de la industria siderúrgica ecuatoriana. Para ser específicos de la empresa “NOVACERO”

Tabla 10. Propiedades mecánicas del acero ASTM A615

| <b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b> |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| Límite de fluencia $F_y$     | 4280 kg/cm <sup>2</sup> |
| Resistencia a la tracción R  | 6320 kg/cm <sup>2</sup> |
| Porcentaje de elongación     | 9% min                  |

### **4.3 Tipo de investigación**

Los perno de anclaje en las estructuras metálicas cumplen con la función de enlace entre la placa base y el bloque de cimentación o zapatas quienes son responsables de distribuir la carga en el sustrato o suelo por lo que la norma AISC 360 16 “Especificaciones para construcciones de acero” en el apartado “J Diseño de conexiones” realiza una descripción de los requerimientos para su diseño y construcción donde se detalla materiales y esfuerzos a los que son sometidos los distintos enlaces en las estructuras metálicas sin embargo es necesario correlacionar y adaptar esta normativa a la situación del país por lo que la norma NEC SE EC “Estructuras metálicas” intenta

adaptar la normativa estadounidense a la realidad ecuatoriana, sin embargo la industria siderúrgica presenta materiales adaptados al mercado por lo que es necesario hacer una investigación de carácter correlacional entre las diferentes normativas y la realidad del mercado de las estructuras metálicas de carácter cualitativo.

Como parte del diseño del experimento es necesario recalcar las partes de los pernos de anclaje y los diferentes tipos de reacciones que se esperan con la finalidad de comparar los resultados obtenidos con la información disponible. Por consiguiente, se eligió un tipo de perno recto fundido en el bloque de concreto como se puede observar en el siguiente esquema.

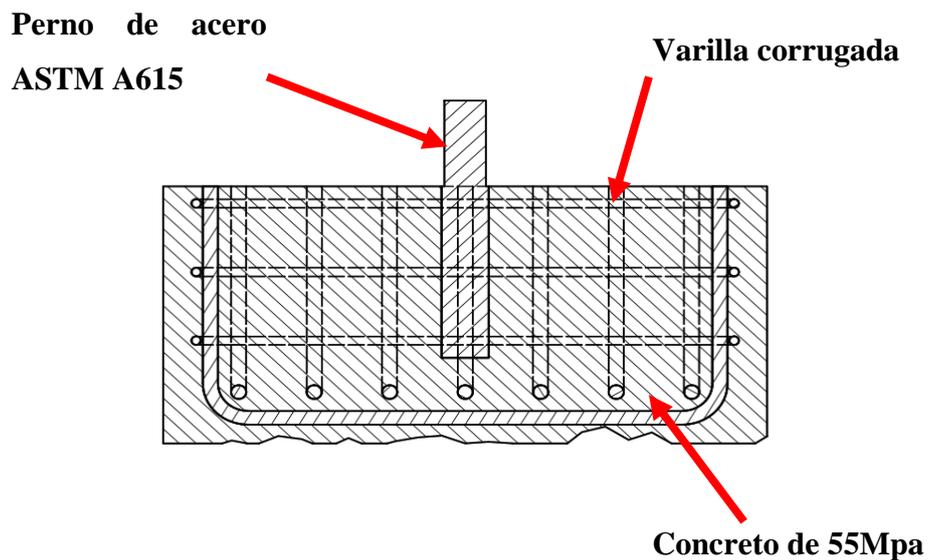


Ilustración 21. Esquema de perno de anclaje

El perno de anclaje a usarse en la tesis corresponde a uno de tipo recto por lo que se procederá a realizar un roscado de tipo UNC de paso grueso como especifica la normativa internacional para la construcción de estructuras metálicas con la finalidad de aportar con material suficiente ante los esfuerzos a los que estará sometido el pórtico en el caso de naves industriales o el columnado en el caso de edificaciones, el maquinado en la rosca corresponderá para cada diámetro como se detallará en la siguiente Tabla 11.

Tabla 11. Magnitudes del roscado para los diámetros de estudio UNC (Rosca Unificada Americana)

| <b>Diámetro</b> | <b>Paso</b> | <b>Diámetro nominal</b> | <b>Diámetro medio</b> | <b>Bronca</b> |
|-----------------|-------------|-------------------------|-----------------------|---------------|
| 5/8 in          | 11          | 15.87 mm                | 14.37 mm              | 13.5 mm       |
| 3/4 in          | 10          | 19.05 mm                | 17.40 mm              | 16.5 mm       |



Ilustración 22. Roscado en varilla corrugada de acero ASTM A615

Una vez realizado el trabajo de mecanizado con mano de obra calificada se procede a caracterizar el material mediante un ensayo metalográfico en cada tipo de varilla con la finalidad de encontrar algo en el proceso de maquinado que pueda afectar el desenvolvimiento del material en condiciones reales.

#### **4.4 Prueba de Hipótesis**

El objetivo de dicha investigación es generar mayor conocimiento basado en ensayos mecánicos y simulación de procesos, por lo cual, no se plantea hipótesis alguna, pero si se caracterizará la varilla de acero ASTM A615 usada comercialmente en la industria de la construcción ecuatoriana como perno de anclaje, buscando así cuáles son sus límites de uso y aplicación en esta parte de las estructuras metálicas.

#### **4.5 Recolección de información:**

##### **4.5.1 Ensayo de tracción**

La recolección de datos se siguió bajo el procedimiento experimental de tres procesos de laboratorio mecánicos y de materiales, en el laboratorio de resistencia de materiales “LenMav” de la ciudad de Riobamba se realizó el primer ensayo mecánico de elementos a tracción.

Cuando se toma en cuenta una placa base de carga distribuida uniformemente es preciso observar que el peso de la columna actuará como fuerza de empuje en el centro de la misma lo que provocará flexión en la placa base tratando de expulsar sus extremos donde se encuentran los pernos de anclaje dando así la necesidad comparativa entre el ensayo de tracción y el comportamiento real en las estructuras metálicas.

Siguiendo la normativa ASTM E8/E8M “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials” donde se detalla que para probetas no normalizadas se deben utilizar mordazas acordes al tipo de agarre de cada elemento. Las probetas utilizadas se detallan a continuación con una longitud de 240 milímetros de largo, una superficie roscada de 70 milímetros, 100 milímetros libres de contacto y 70 milímetros que serán sujetados con mordazas de aplastamiento en el inferior de la probeta.

Se deja una superficie libre de diez centímetros con la finalidad de ubicar un deformímetro en el elemento a ensayarse mismo que nos ayudara a medir la deformación con una tolerancia de 0.001 mm estos datos nos permitirán determinar la deformación y el porcentaje de elongación que sufre el acero ASTM A615 cuando se encuentra sujeto a fuerzas límites y en qué punto alcanza los límites elásticos y plásticos.

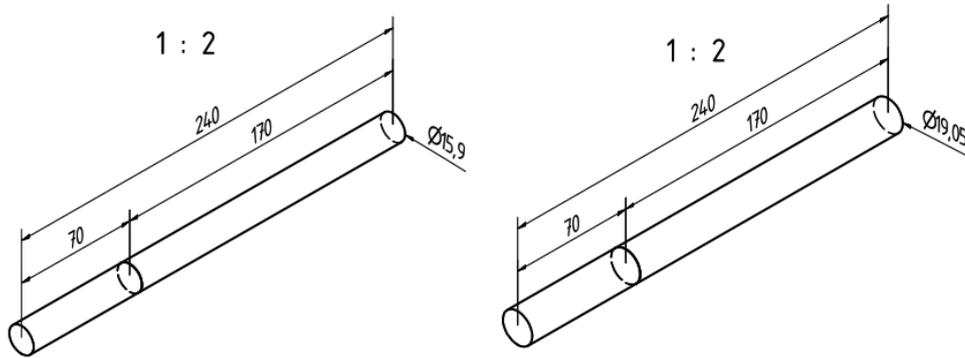


Ilustración 23. Dimensiones de probeta de ensayos a tracción

Ambas probetas fueron roscadas por una longitud de 70 mm con especificaciones UNC (Unified National Coarse) siguiendo los parámetros para cada diámetro de eje respectivo como se muestra en la Ilustración 24

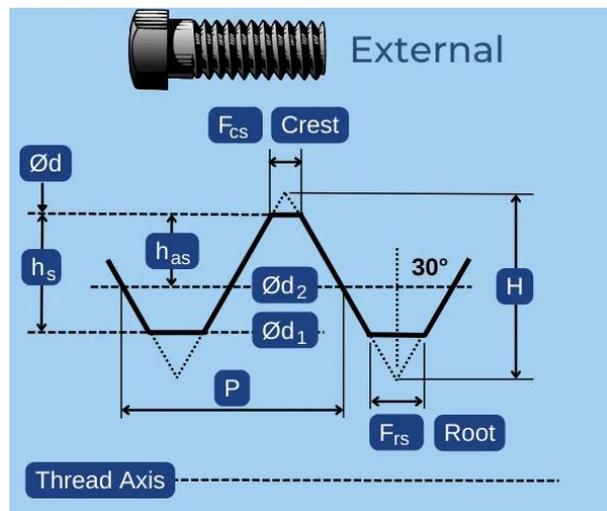


Ilustración 24. Parámetros de rosca externa normalizada UNC normal. [71]

En la Ilustración 24, se puede observar los valores correspondientes a la rosca normalizada que se utilizó en las probetas tanto de tracción como de corte, mismos valores corresponden a los detallados en la tabla 8 anteriormente mostrada.



Ilustración 25. Ensayo de tracción en varilla de 5/8 in

En el caso de la varilla de 5/8 in se utilizó un dado estandarizado para la sujeción con las mordazas, mismo que se puede observar en la Ilustración 25 sujetado en la mordaza superior de la maquina universal.

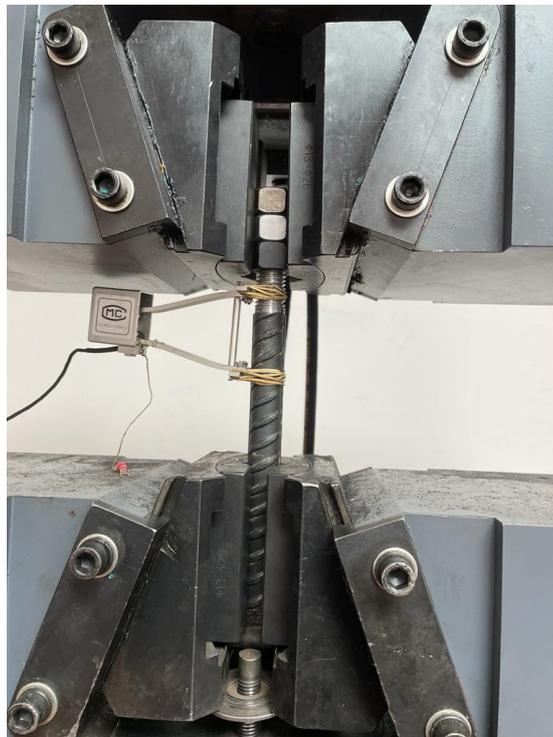


Ilustración 26. Ensayo de tracción en varilla de 3/4 in

En la Ilustración 26 podemos observar que se utilizaron tres tuercas para sujetar la varilla en la parte superior, para garantizar que los resultados no sean afectados por el deslizamiento, ya que el laboratorio no contaba con el dado estandarizado para pernos de

3/4 in de diámetro, además se observa de mejor manera la ubicación del deformímetro que está conectado con el ordenador de la máquina universal.

#### 4.5.2 Ensayo de corte

El segundo ensayo mecánico realizado al acero ASTM A615 como pernos de anclaje se lo realizó en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Central del Ecuador el día 08 de diciembre del año 2023 y al no existir una normativa que estandarice las muestras se tomó como referencia las mordazas que se utilizan en el ensayo con la finalidad de que no exista pandeo local axial, dando como resultado probetas de 400 milímetros delimitados de la forma en como se muestra en la figura siguiente.

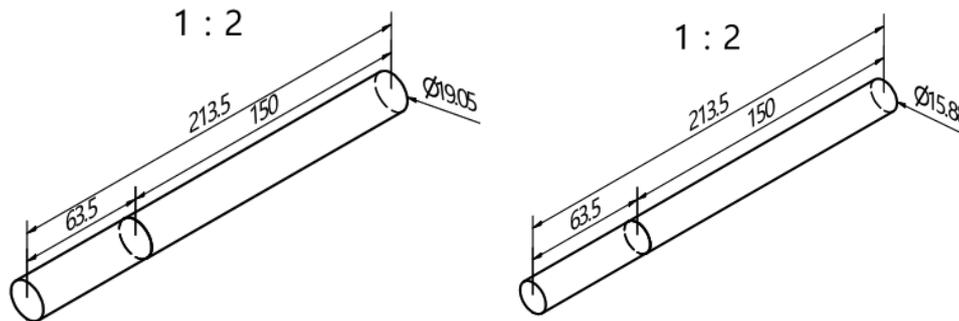


Ilustración 27. Probetas para ensayos de corte

Para este estudio se toma en cuenta los efectos en pernos de anclaje donde la parte sometida a los distintos esfuerzos es la zona roscada por lo que las probetas fueron preparadas para simular el esfuerzo en zonas roscadas con la finalidad de determinar con la mayor fidelidad posible el comportamiento del material como perno de anclaje dejando diez centímetros roscados en la zona donde el accesorio que cortará las probetas se apoyará

Una vez fijadas las probetas en las bases que impedirán flejar las varillas cuando se aplique la carga se ubica el dado de carga como se muestra en la Ilustración 27, el dado tiene cuatro caras de medidas estandarizadas con la finalidad de sujetar diferentes diámetros sin la presencia de deslizamiento cuando la mesa móvil de la máquina universal empieza a aplicar la carga progresiva sobre las probetas.

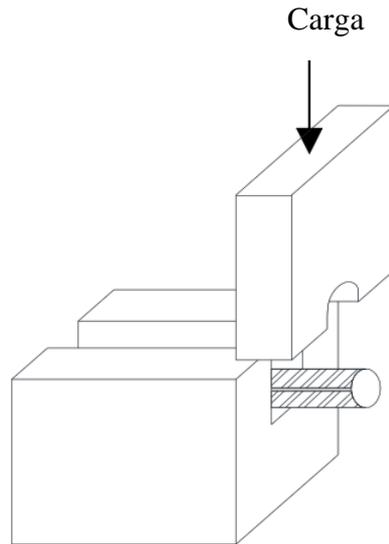


Ilustración 28. Esquema de carga para ensayo de corte

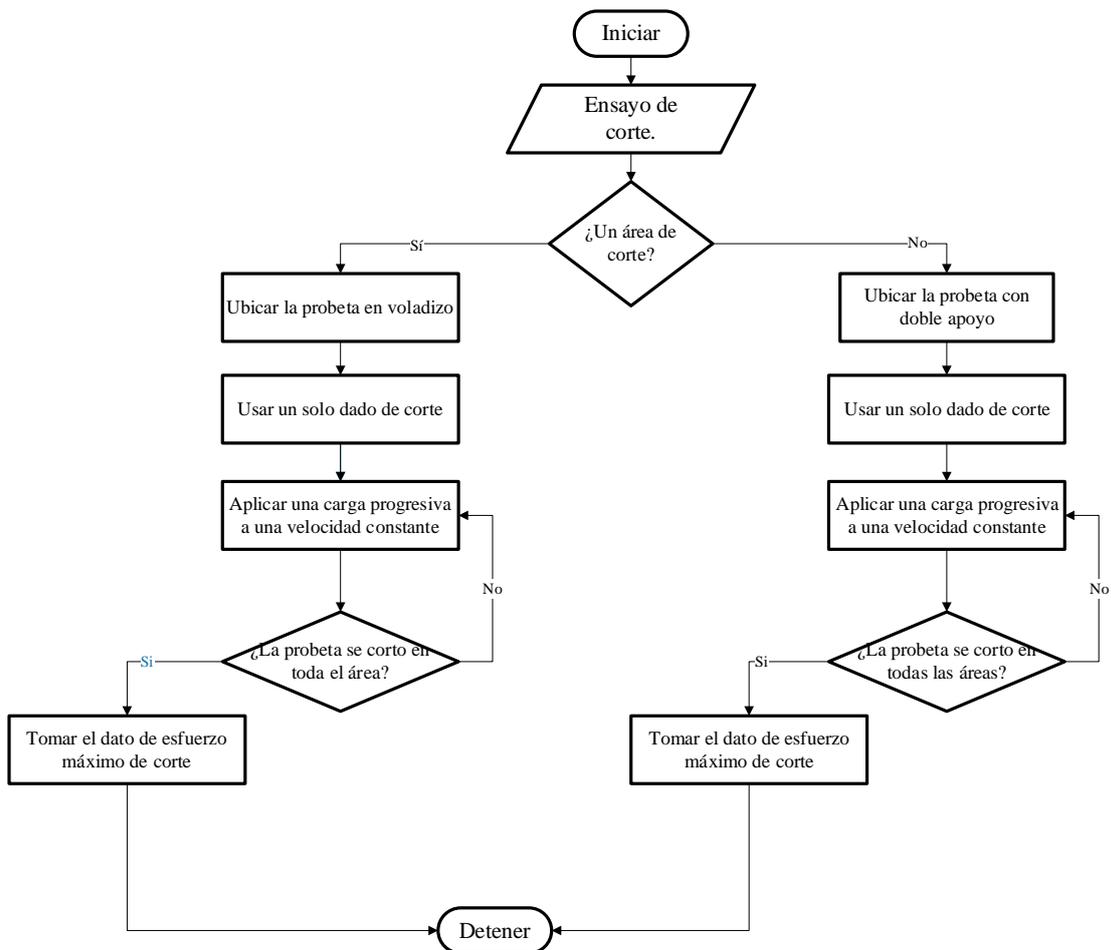


Ilustración 29. Diagrama de flujo para ensayo de corte

Se aplicó carga progresiva a la probeta hasta producir la rotura en la misma y así el último esfuerzo que se presente cuando el dado arranque la parte central será la resistencia máxima al esfuerzo de corte para cada diámetro.

#### 4.6 Ensayo de metalografía

Para los ensayos metalográficos se cortaron una probeta de una pulgada de longitud de cada diámetro a las cuales se realizaron roscas de 11 y 10 hilos por pulgada respectivamente, con la finalidad de observar los efectos que el roscado pueda provocar en la macroestructura y microestructura del acero ASTM A615.



Ilustración 30. Probetas para metalografía de 5/8 y 3/4 in.

Tabla 12. Datos de recepción de muestras

|                  |   |
|------------------|---|
| Laboratorio      | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de la Provincia de Tungurahua  |
| Designación      | Material metálico acero ASTM A615   |
| Normativas       | <ul style="list-style-type: none"><li>• ASTM E3 2011 “Guía estándar para preparación de muestras metalográficas”</li><li>• ASTM E407 2007 “Ataque químico, practica estándar para metales y aleaciones”</li></ul> |
| Equipo utilizado | Microscopio electrónico OLYMPUS modelo: BX41M-LED   |
| Ataque químico   | Nital al 4% Tiempo: 50 seg.   |

Como dicta la normativa de preparación de muestras metalográficas se colocan las piezas cortadas en un polímero de termoestable con la finalidad de que sea más fácil la manipulación de las mismas en las lijas, se lijan las probetas con lijas de distintos espesores desde la lija número 200 a la lija número 1000 con la finalidad de tener un

acabado tipo espejo en la superficie que se ubicara en el microscopio. El proceso seguido se detalla en la siguiente Ilustración 31.

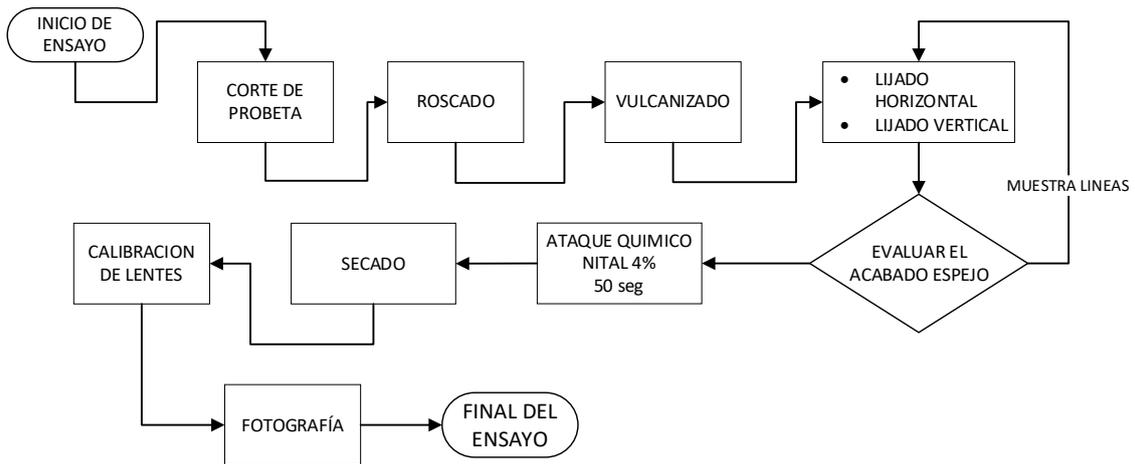


Ilustración 31. Interface a ser analizada perno concreto

#### 4.6.1 Simulación del interfaz perno de anclaje concreto

La simulación de esfuerzo de tracción se basa en el estudio de Congqi Fang (2006), titulado "Bond behaviour of corroded reinforcing steel bars in concrete". Este estudio utiliza un enfoque de simulación dinámica para modelar la interfaz entre el acero de refuerzo y el hormigón, centrándose en las características mecánicas del acero. La simulación tiene como objetivo comprender y predecir el comportamiento de unión entre estos dos materiales bajo carga de tracción, teniendo en cuenta los efectos de la corrosión en el acero de refuerzo. Los resultados de la simulación proporcionan información valiosa sobre la resistencia a la unión, el deslizamiento y otros aspectos del comportamiento de unión bajo diferentes condiciones de carga y propiedades del material. El presente estudio nace de la necesidad de estimar el comportamiento de los pernos de anclaje más usados de manera artesanal en la industria de la construcción, ya que en la actualidad no existen estudios que avalen su utilización y garantía de funcionamiento de los mismos.

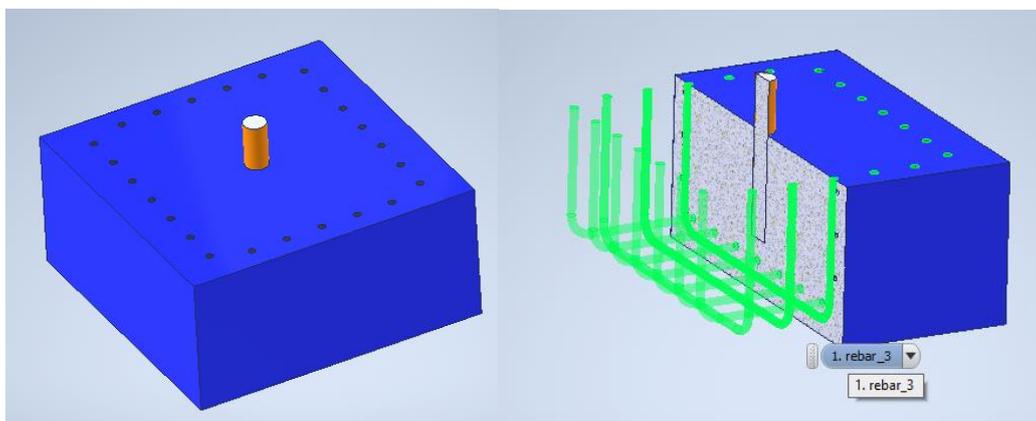


Ilustración 32. Interface a ser analizada perno concreto.

Este es el tipo de conexión más utilizada en la industria de la construcción donde el perno de anclaje se funde en un bloque de concreto para después ser atornillado a la placa base de cada columna de las estructuras de metálicas, por lo que al estar en el pie de los arcos este tiende a soportar cargas tanto de tracción como de corte.

Los esfuerzos presentes en la base de las columnas de las estructuras metálicas en condiciones de servicio dependerán de varios factores constructivos, sin embargo, las principales son el arranque o tracción producido por el peso propio de la estructura que tiende a abrir el arco lo que produce un momento que intenta subir las bases y el esfuerzo de corte que es producido por el momento presionando hacia afuera la placa base.

El presente análisis se basa en el método de elementos finitos el cual nos permitirá simular como actúan las fuerzas en el interfaz presentado de manera individual y así predecir el comportamiento de la junta para materiales determinados y validar su uso en la industria de la construcción.

#### **4.6.1.1 Objetivos de la simulación**

Los objetivos se centran en el comportamiento del interfaz con el método de elementos finitos:

- Simular mediante software la interfaz anclaje-hormigón para estimar su comportamiento ante el arranque usando la varilla ASTM A615 como perno de anclaje
- Estimar los esfuerzos máximos individuales a los cuales el interfaz va a fallar.
- Determinar el comportamiento de los elementos del interfaz anclaje-hormigón a diferentes esfuerzos.

#### **4.6.1.2 Alcance**

El alcance de la simulación estará determinado por los siguientes puntos

- Estimación del comportamiento estructural del bloque de concreto como parte de la junta.
- Estimación del comportamiento del perno de acero ASTM A615 expuestos a los esfuerzos de tracción y corte.
- Evaluación del perno de anclaje con diámetro de 3/4 in
- Evaluación del perno de anclaje con diámetro 5/8 in
- Elaboración de la gráfica de esfuerzo máximo para perno de anclaje de 3/4 in
- Elaboración de la gráfica de esfuerzo máximo para perno de anclaje de 5/8 in.

#### 4.6.1.3 Códigos, estándares y normas aplicables

Tabla 13. Normativas vigentes para el cálculo y ensayos de materiales metálicos y de construcción

| CÓDIGO      | TÍTULO  | EDICIÓN |
|-------------|---|---------|
| AISC 360-16 | Especificación para construcciones de acero                         | 2016    |
| ACI 318-14  | Building code requirements for structural concrete                  | 2014    |
| NEC 360-10  | Norma ecuatoriana de construcción                                   | 2010    |
| ASTM        | Sociedad estadounidense de pruebas y materiales                     | 2023    |
| ASTM E/E8M  | Normativa de ensayo de esfuerzo en tracción de materiales metálicos | 2023    |

#### 4.6.1.4 Descripción del análisis

Teniendo en cuenta la geometría del concreto y las características de ensamble entre el concreto y el perno de anclaje, además del tipo de mallado que depende de las características de cada sólido en el ensamble mismos que se detallarán a continuación.

#### 4.6.1.5 Método de análisis

A breves rasgos el análisis se presenta con la necesidad de analizar cómo interactúan el perno de anclaje con el bloque de concreto para lo cual se siguen los siguientes pasos.

– *Evaluación geométrica del perno de anclaje.*

Existen diferentes métodos de anclaje y cada uno tiene diferente forma de actuar sobre el concreto, en el caso de este estudio se optó por un perno recto fundido en el bloque de concreto debido a que se espera menor cantidad de material arrancado del bloque por lo que también se reforzó el bloque de concreto con una malla soldada de varilla corrugada.

– *Validación de la geometría del perno de anclaje*

Para la validación del modelo analizado se basaron a la norma de construcción de concreto ACI 318-14 para la validación del bloque de concreto y la norma AISC 360-16 para los parámetros del perno de anclaje mismos que serán comparados con los aceros de grado A, B y C en función de la resistencia máxima que nos puede ofrecer.

#### 4.6.1.6 Descripción del modelo numérico

– *Geometría*

Para la geometría se procedió a realizar el modelado de cada parte en el software SolidWorks donde se modelaron los bloques y el tejido de varilla corrugada, luego de realizada la geometría se importa al otro software como archivo. STEP 14 para que importe cada una de las variantes del ensamble.

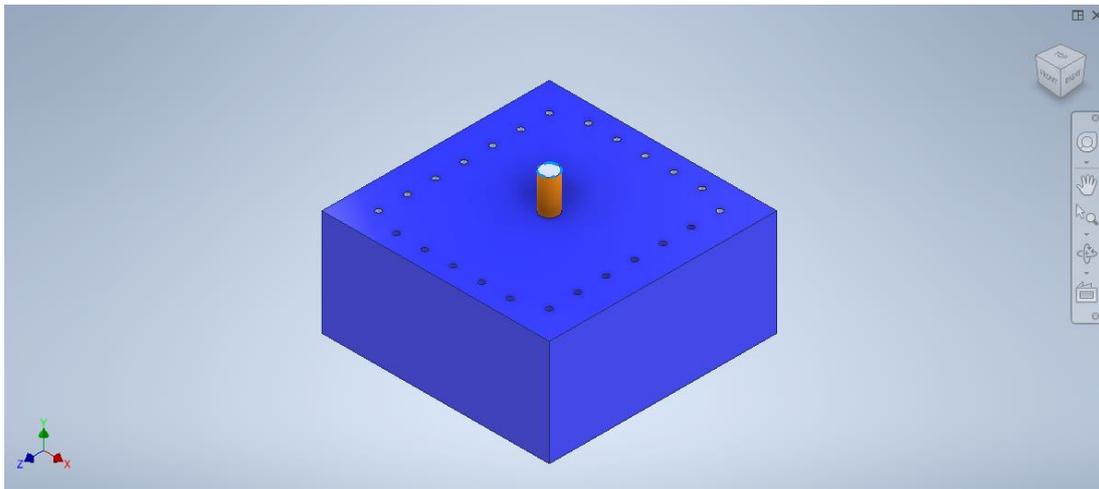


Ilustración 33. Bloque de concreto y perno de anclaje

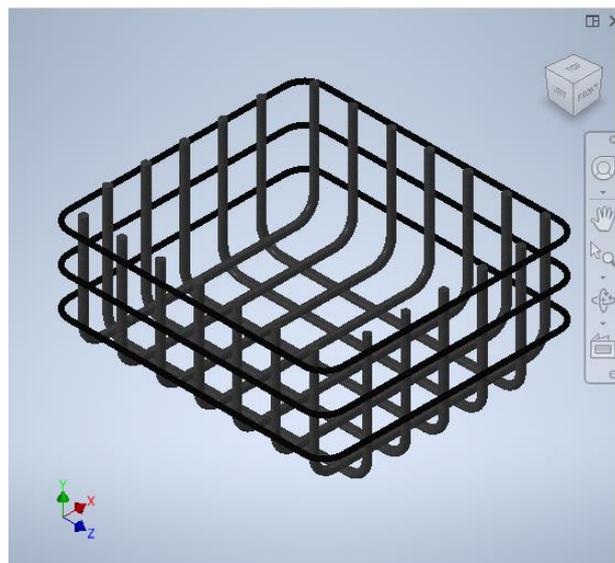


Ilustración 34. Tejido de varilla corrugada de 5 mm

El tejido de varilla se lo realizó con un proceso de matriz 3D para que en el próximo software se proceda a realizar la junta soldada simulada.

#### **4.6.1.7 Mallado**

Antes del mallado se realiza un análisis de interferencias donde se busca eliminar toda clase de áreas que no aporten al análisis o zonas en conflicto. Para el mallado se procede a realizar una malla hexagonal para el perno de anclaje ya que debe sujetarse a las paredes del bloque de concreto y para el resto una malla del tipo tetragonal.

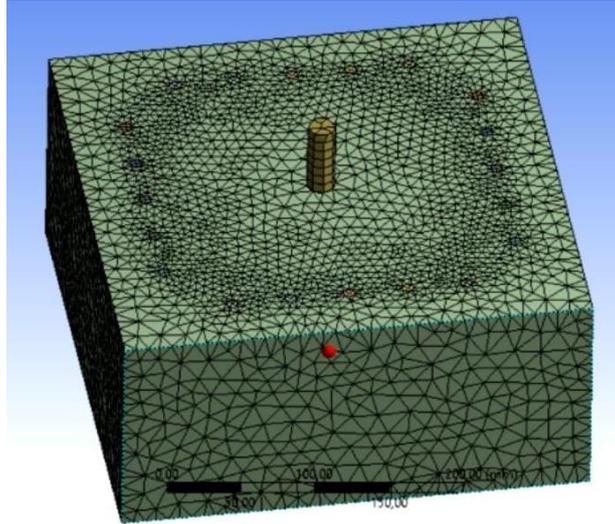


Ilustración 35. Mallado del modelo

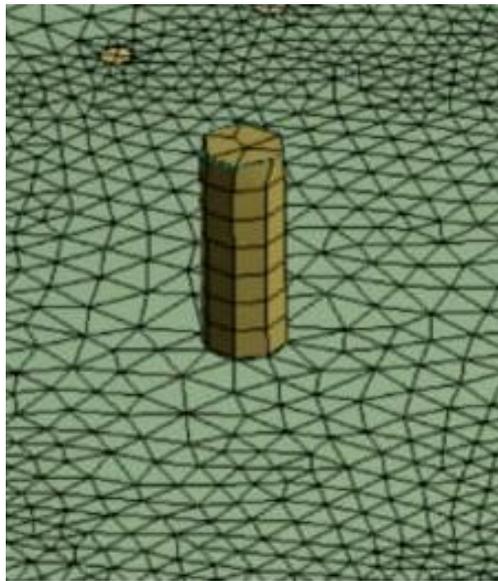


Ilustración 36. Mallado hexagonal de perno de anclaje

#### **4.6.1.8 Cargas y condiciones**

Una vez aplicados los materiales y la malla correspondiente a cada elemento del ensamble se proceden a realizar las uniones que son parte de las condiciones de la simulación y como tanto el tejido de varillas como el perno de anclaje se encuentran fundido al bloque de concreto se realiza una conexión de tipo soldado o fundido.

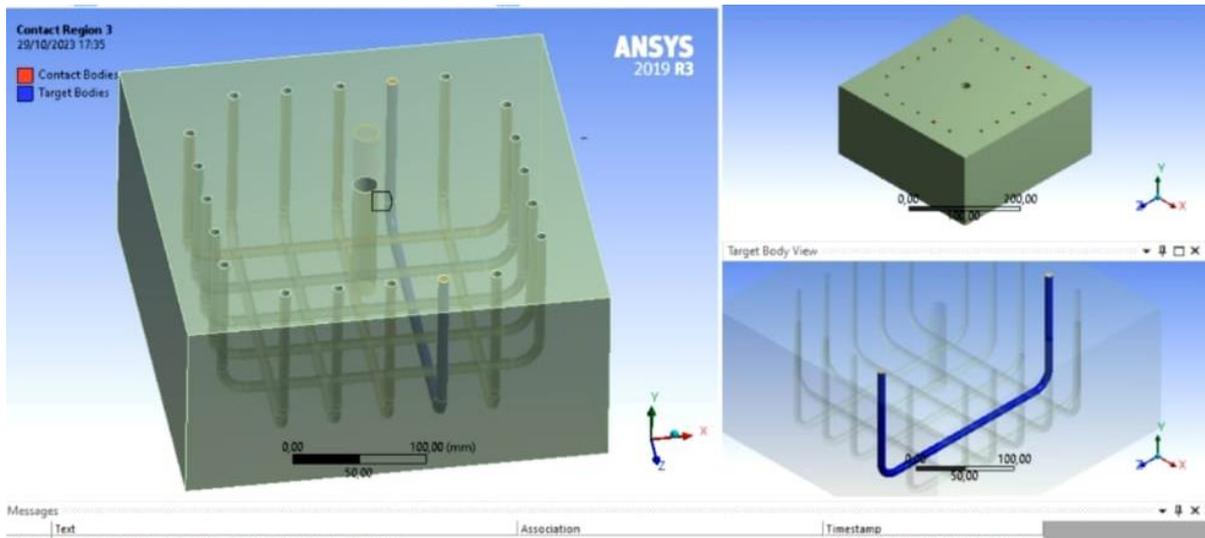


Ilustración 37. Conexión tipo soldada entre varilla de 5 mm y concreto

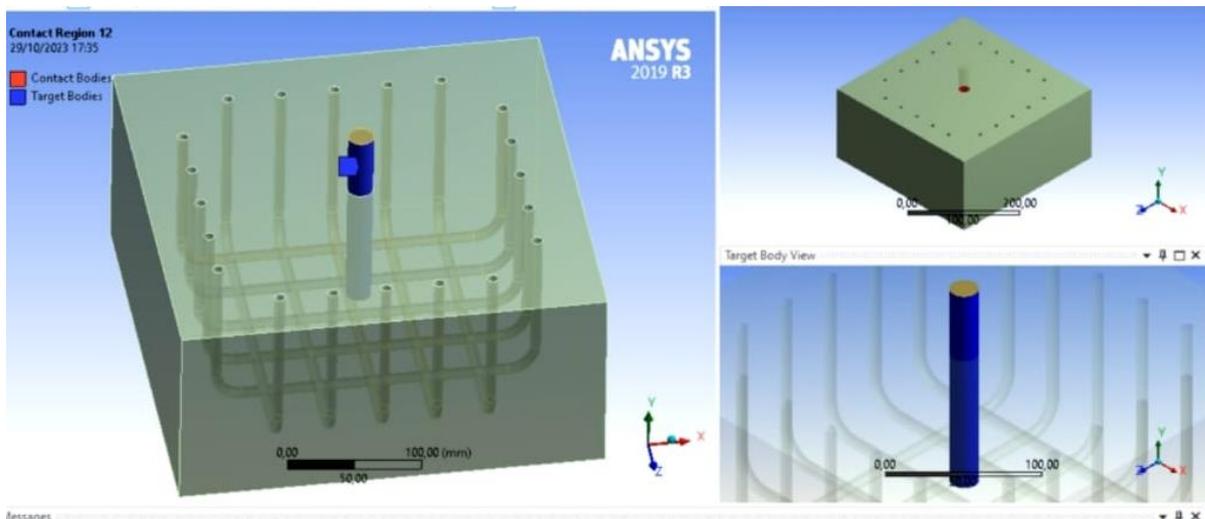


Ilustración 38. Conexión tipo soldada entre perno de anclaje y concreto

Luego de definidas las juntas hay que definir las conexiones se debe definir los puntos de apoyo y las coordenadas de la aplicación de la carga que en este caso en particular será una carga variable  $F$  aplicada a cada perno de anclaje para así poder observar el comportamiento del bloque de concreto según vamos aumentando la carga mediante el coeficiente de seguridad según Von Mises el cual irá variando inversamente al aumento de la misma.

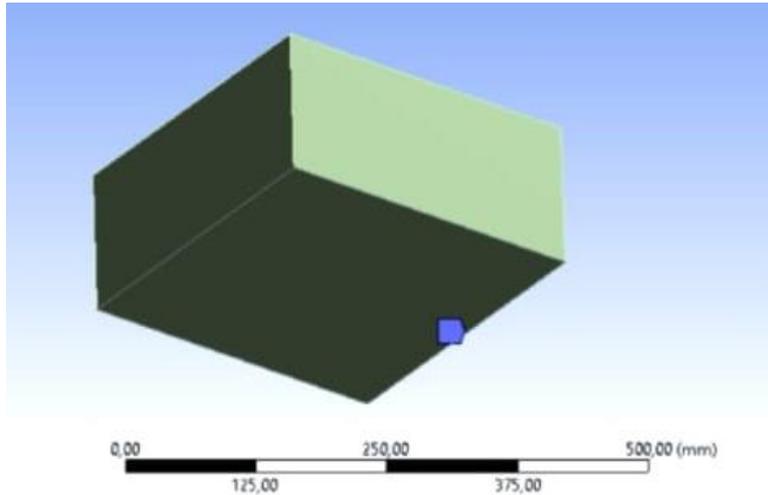


Ilustración 39. Empotramiento del bloque de concreto.

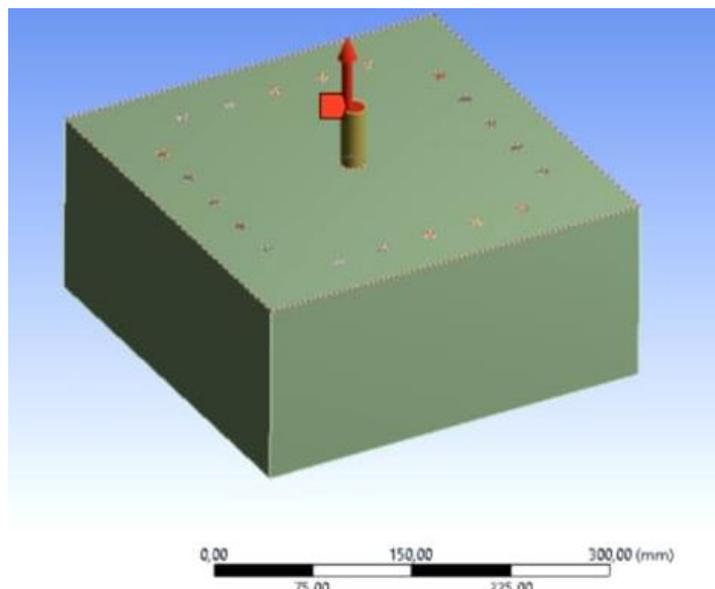


Ilustración 40. La fuerza variable se aplica en la cara externa del perno de anclaje.

#### 4.6.1.9 Validación del modelo

La fuerza variable empezará en 100 Newtons desde la cara superior del perno de anclaje para el modelado con una fuerza que al ser aplicada en acero permita obtener un coeficiente de seguridad alto, es decir, muy por debajo de condiciones de servicio, intentando arrancarlo del bloque de concreto, el cual al estar fundido el coeficiente de seguridad dependerá de la fuerza que se aplique y para cada diámetro habrá una fuerza en la cual el coeficiente de seguridad será menor a uno y ahí es donde el concreto fallará.

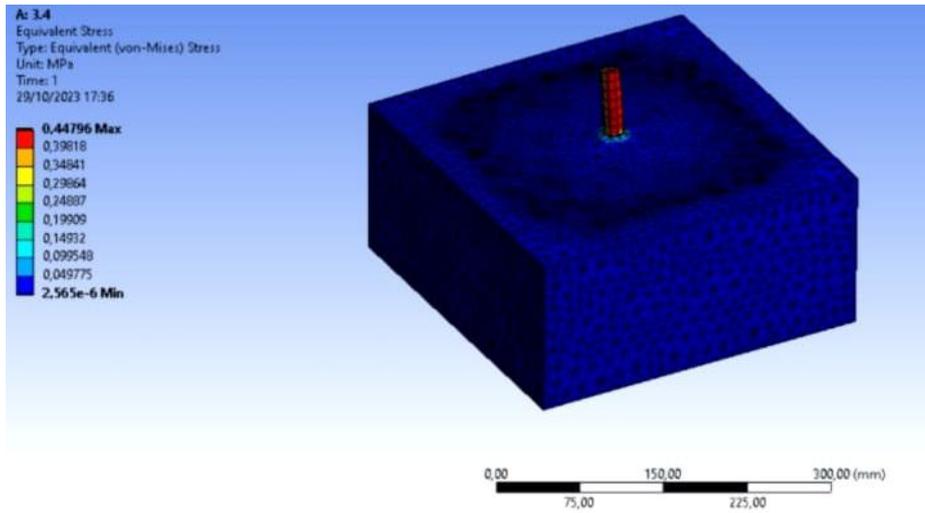


Ilustración 41. La fuerza variable se aplica en la cara externa del perno de anclaje.

## CAPITULO IV

### DISCUSION Y RESULTADOS

#### 5.1 Estimación del comportamiento con respecto a AISC 360\_16

En el apartado J3 de la norma AISC 360-16 podemos encontrar todo lo referente a pernos para conexiones, ahora para que los resultados de los ensayos mecánicos destructivos puedan ser comparados con lo requerido por la norma es necesario especificar el tipo de acero, ya que la norma recomienda dos tipos de pernos para elementos sometidos a compresión. 1. Se recomienda el uso de pernos según la normativa ASTM A307 donde establece que el material más utilizado será el acero ASTM A36 por lo que compararemos los resultados obtenidos con la ficha técnica de este tipo de acero en la industria siderúrgica ecuatoriana.

##### 5.1.1 Resultados de ensayos de tracción

La Tabla 14 muestra los resultados de los ensayos de tracción realizados en las probetas de 5/8 in, se realizaron en total cinco ensayos dándonos como resultado roturas de carácter horizontal y frágil en cuatro de las cinco probetas.

Tabla 14. Resultados de ensayo de tracción en varilla de 5/8 in de acero ASTM A615

| Numero de muestra                           | 01  | 02                  | 03                  | 04                  | 05                  |
|---|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Característica</b>                       | Barra<br>roscada                                  | Barra<br>roscada    | Barra<br>roscada    | Barra<br>roscada    | Barra<br>roscada    |
| <b>Diámetro (mm)</b>                        | 12.95   | 13.41               | 13.5                | 13.07               | 13.72               |
| <b>Longitud inicial (mm)</b>                | 240   | 240                 | 240                 | 240                 | 240                 |
| <b>Sección transversal (mm<sup>2</sup>)</b> | 131.71  | 141.24              | 143.14              | 134.17              | 147.84              |
| <b>Módulo de elasticidad (GPa)</b>          | $2,709 \times 10^2$                               | $2,484 \times 10^2$ | $2,582 \times 10^2$ | $1,949 \times 10^2$ | $2,045 \times 10^2$ |
| <b>Carga de fluencia (KN)</b>               | 71.34   | 69.72               | 77.00               | 69.46               | 71.42               |
| <b>Esfuerzo de fluencia (MPa)</b>           | 541.63  | 493.64              | 537.94              | 517.72              | 483.08              |
| <b>Carga máxima (KN)</b>                    | 88.66   | 93.06               | 90.54               | 89.94               | 94.20               |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                | 673.13  | 658.89              | 632.53              | 670.36              | 637.16              |
| <b>Porcentaje de elongación (%)</b>         | 2   | 4.5                 | 3                   | 3                   | 4                   |
| <b>Tipo de fractura</b>                     | H   | H                   | PTC                 | H                   | H                   |
| <b>Observaciones</b>                        | H: Horizontal<br>PTC: Parcialmente de taza y cono |                     |                     |                     |                     |

La Tabla 15 muestra los resultados de los ensayos de tracción realizados a cinco probetas de 3/4 in donde las probetas presentan fracturas diagonales y parciales de taza y cono en cuatro de las cinco probetas ensayadas.

Tabla 15. Resultados de ensayo de tracción en varilla de 3/4 in de acero ASTM A615

| <b>Numero de muestra</b>                    | <b>06</b>  | <b>07</b>           | <b>08</b>           | <b>09</b>           | <b>10</b>           |
|---|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Característica</b>                       | Barra<br>roscada   | Barra<br>roscada    | Barra<br>roscada    | Barra<br>roscada    | Barra<br>roscada    |
| <b>Diámetro (mm)</b>                        | 15.68  | 15.44               | 15.60               | 15.47               | 16.58               |
| <b>Longitud inicial (mm)</b>                | 240  | 240                 | 240                 | 240                 | 240                 |
| <b>Sección transversal (mm<sup>2</sup>)</b> | 193.10   | 187.23              | 191.13              | 187.96              | 215.90              |
| <b>Módulo de elasticidad (GPa)</b>          | $2,684 \times 10^2$  | $2,486 \times 10^2$ | $1,965 \times 10^2$ | $1,876 \times 10^2$ | $1,872 \times 10^2$ |
| <b>Carga de fluencia (KN)</b>               | 89.70  | 143.92              | 129.16              | 90.42               | 99.32               |
| <b>Esfuerzo de fluencia (MPa)</b>           | 464.53   | 768.66              | 675.75              | 481.05              | 460.02              |
| <b>Carga máxima (KN)</b>                    | 129.70   | 152.92              | 130.54              | 134.76              | 148.30              |
| <b>Esfuerzo máximo (MPa)</b>                | 671.67   | 816.73              | 682.97              | 716.95              | 686.88              |
| <b>Porcentaje de elongación (%)</b>         | 2  | 3.5                 | 4                   | 2.5                 | 2                   |
| <b>Tipo de fractura</b>                     | D  | PTC                 | H                   | D                   | D                   |
| <b>Observaciones</b>                        | H: Horizontal<br>PTC: Parcialmente de taza y cono<br>D: Diagonal |                     |                     |                     |                     |

Tabla 16. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

| <b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b> |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Técnica                      | Extrusión en caliente                |
| Límite de fluencia Fy        | 2549.29 kg/cm <sup>2</sup>           |
| Resistencia a la tracción R  | 4078.86 – 5608.44 kg/cm <sup>2</sup> |
| Porcentaje de elongación     | 23% min                              |
| Módulo de elongación         | 200 GPa                              |

Para comparar los resultados obtenidos con los tabulados es necesario realizar un análisis chi cuadrado con los datos que arrojaron la maquina universal en las probetas dándonos así las siguientes ecuaciones

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$$

**M:** media aritmética

**n:** número de datos

**a:** valores del conjunto de datos

Varilla de 5/8

Módulo de elasticidad

$$M = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 2709 + 2484 + 2582 + 1949 + 2045$$

$$M = 2353.8 \times 10^2 \text{ GPa}$$

Esfuerzo a fluencia

$$M = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 541.63 + 493.64 + 537.94 + 517.72 + 483.08$$

$$M = 514.802 \text{ MPa} = 5249.52 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo máximo a tracción

$$M = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 673.13 + 658.89 + 632.53 + 670.36 + 637.16$$

$$M = 654.414 \text{ MPa} = 6673.16 \text{ kg/cm}^2$$

Porcentaje de elongación

$$M = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 2 + 4.5 + 3 + 3 + 4$$

$$M = 3.3\%$$

Varilla de 3/4

Módulo de elasticidad

$$M = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 2684 \times 10^2 + 2486 \times 10^2 + 1965 \times 10^2 + 1876 \times 10^2 + 1872 \times 10^2$$

$$M = 2174.8 \times 10^2 \text{ GPa}$$

Esfuerzo a fluencia

$$M = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 464.53 + 768.66 + 675.75 + 481.05 + 460.02$$

$$M = 570.002 \text{ MPa} = 5812.40 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo máximo a tracción

$$M = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 671.67 + 816.73 + 682.97 + 716.95 + 686.88$$
$$M = 715.04 \text{ MPa} = 7291.38 \text{ kg/cm}^2$$

Porcentaje de elongación

$$M = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 2 + 3.5 + 4 + 2.5 + 2$$
$$M = 2.8 \%$$

Al comparar los resultados de las propiedades mecánicas de las probetas ensayadas con el acero ASTM A36 se encuentra que el límite de fluencia en la varilla de 5/8 es 2.06 veces mayor y para la varilla de 3/4 es 2.28 veces mayor, para el módulo de elasticidad en la varilla de 5/8 es 11.8 veces mayor y para la varilla de 3/4 es 10.9 veces mayor, el límite de resistencia a la tracción en la varilla de 5/8 es 1.19 veces mayor al límite superior del acero A36 y para la varilla de 3/4 es 1.3 veces mayor al mismo y en el caso del porcentaje de elongación el acero A36 el límite mínimo es 6.97 veces mayor a la varilla de 5/8 y para la varilla de 3/4 es 8.21 veces mayor

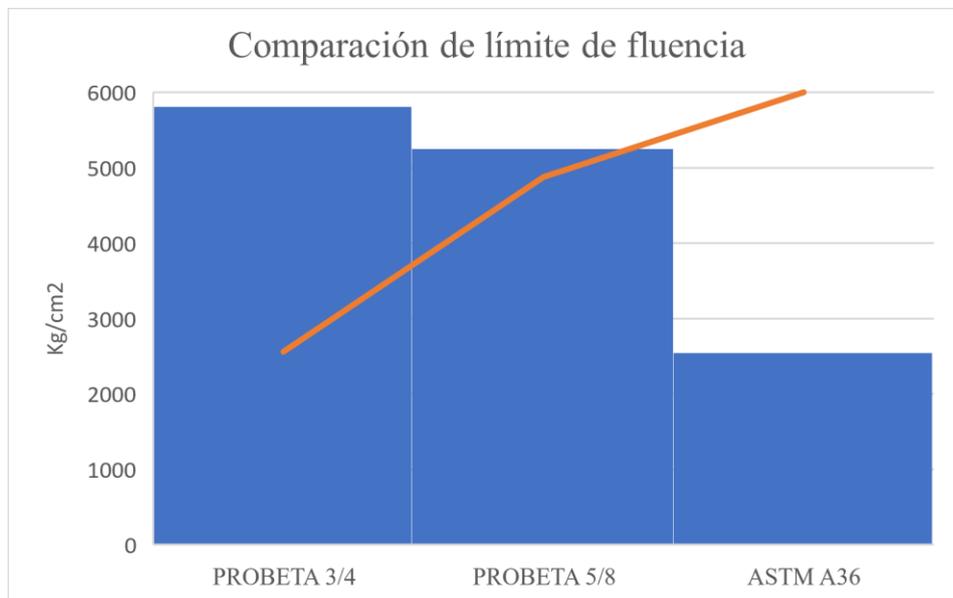


Ilustración 42. Comparación de límite de fluencia entre las probetas y el acero ASTM A36

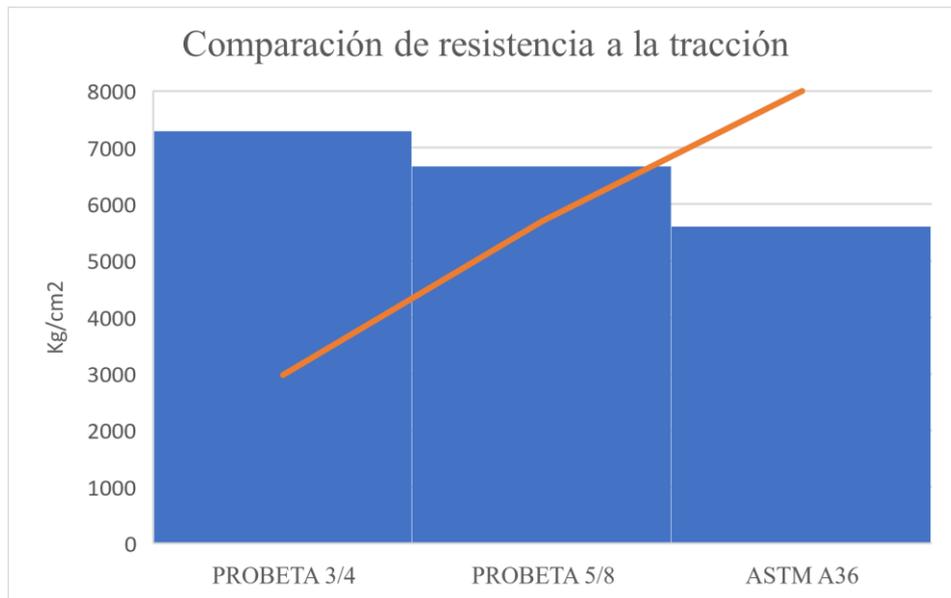


Ilustración 43. Comparación de resistencia a tracción entre las probetas y el acero ASTM A36

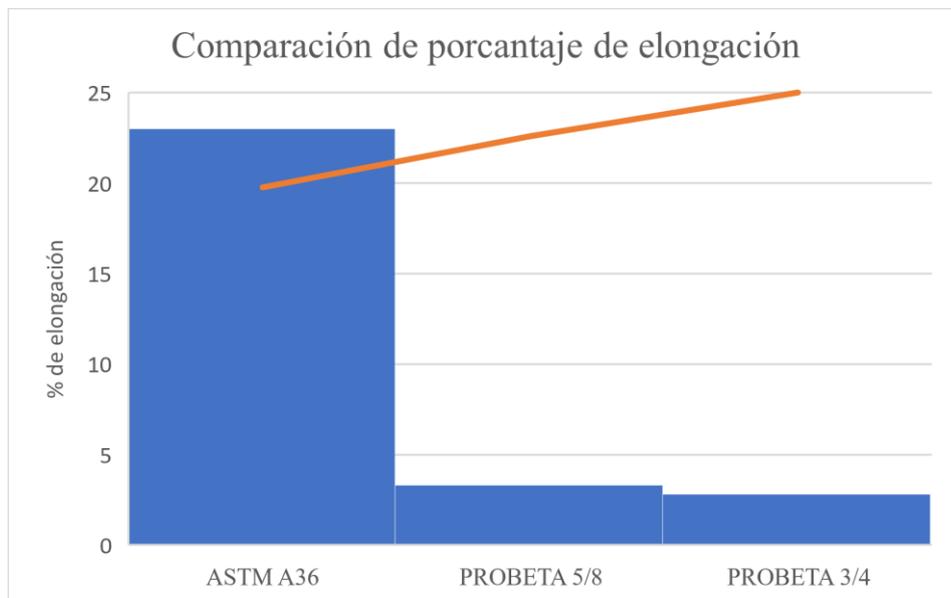


Ilustración 44. Comparación de porcentaje de elongación entre las probetas y el acero ASTM A36

Tabla 17. Propiedades mecánicas del acero ASTM F1554 Gr 55

| <b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b> |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| Técnica                      | Extrusión en caliente      |
| Límite de fluencia $F_y$     | 3958.282kg/cm <sup>2</sup> |
| Resistencia a la tracción R  | 5273.02 kg/cm <sup>2</sup> |
| Porcentaje de elongación     | 21% min                    |

La Tabla 17 muestra las propiedades del acero ASTM F1554 Gr 55 tabulado en la AISC 360-16 que al ser comparadas con las propiedades ensayadas en las probetas, el límite de fluencia en la probeta de 5/8 es 1.33 veces mayor y en la probeta de 3/4 es 1.47 veces, el límite de resistencia a

tracción para la probeta de 5/8 es 1.27 veces mayor y en la probeta de 3/4 es 1.38 veces, mientras que, el porcentaje de elongación es para la probeta de 5/8 es 6.37 veces menor y en la probeta de 3/4 es 7.5 veces menor. Como se puede observar en las siguientes ilustraciones.

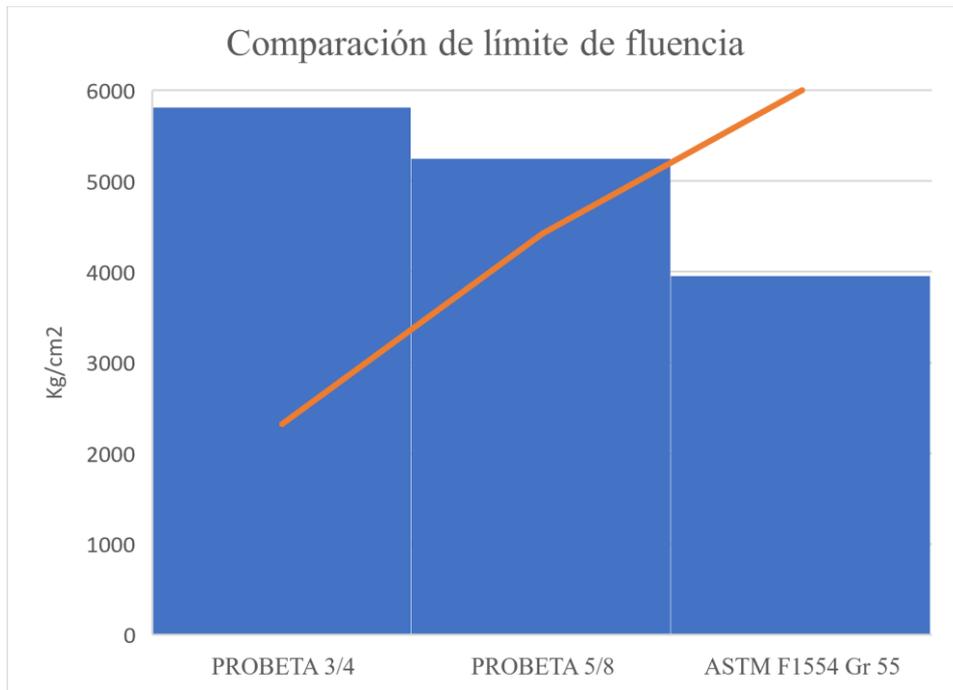


Ilustración 45. Comparación de límite de fluencia entre las probetas y el acero ASTM F1554 Gr55

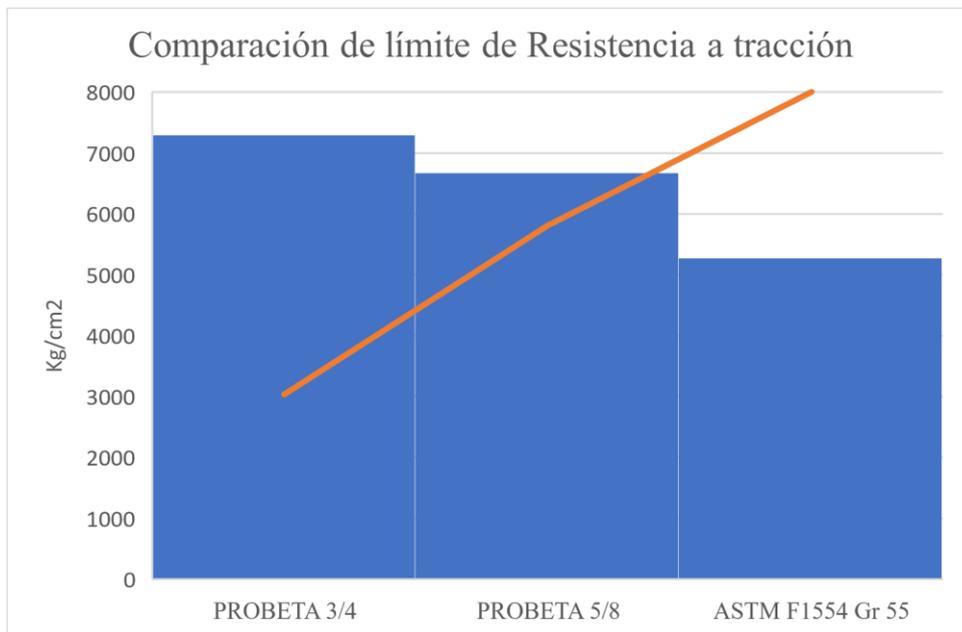


Ilustración 46. Comparación de resistencia a tracción entre las probetas y el acero ASTM F1554 Gr55

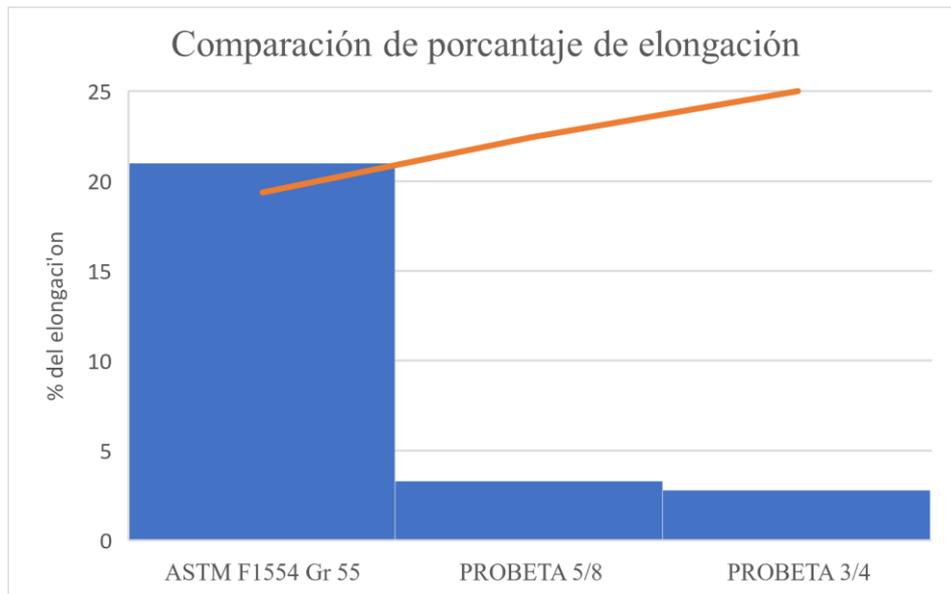


Ilustración 47. Comparación de porcentaje de elongación entre las probetas y el acero ASTM F1554 Gr 55

Tabla 18. Propiedades mecánicas del acero ASTM F1554 Gr 105

| <b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b> |                             |
|------------------------------|-----------------------------|
| Técnica                      | Extrusión en caliente       |
| Límite de fluencia $F_y$     | 6594.793 kg/cm <sup>2</sup> |
| Resistencia a la tracción R  | 8788.37 kg/cm <sup>2</sup>  |
| Porcentaje de elongación     | 15% min                     |

La Tabla 18 muestra las propiedades del acero ASTM F1154 Gr 105 que al ser comparadas con las propiedades ensayadas en las probetas, el límite de fluencia en al probeta de 5/8 es 0.8 veces menor y en la probeta de 3/4 es 0.88 veces menor, el límite de resistencia a tracción en la probeta de 5/8 es 0.76 veces menor y en la probeta de 3/4 es 0.83 veces menor, además, el porcentaje de elongación en el caso del acero mencionado es 4.54 veces mayor que en las probetas de 5/8 y 5.36 veces mayor que las probetas de 3/4. Como se puede observar en las siguientes ilustraciones. Como se puede observar en las siguientes ilustraciones.

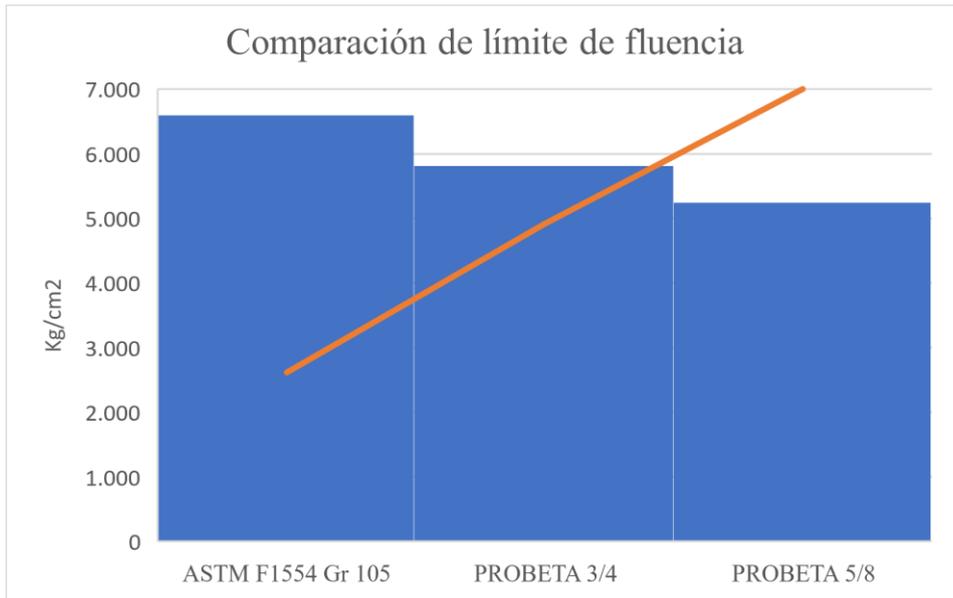


Ilustración 48. Comparación de límite de fluencia entre las probetas y el acero ASTM F1554 Gr105

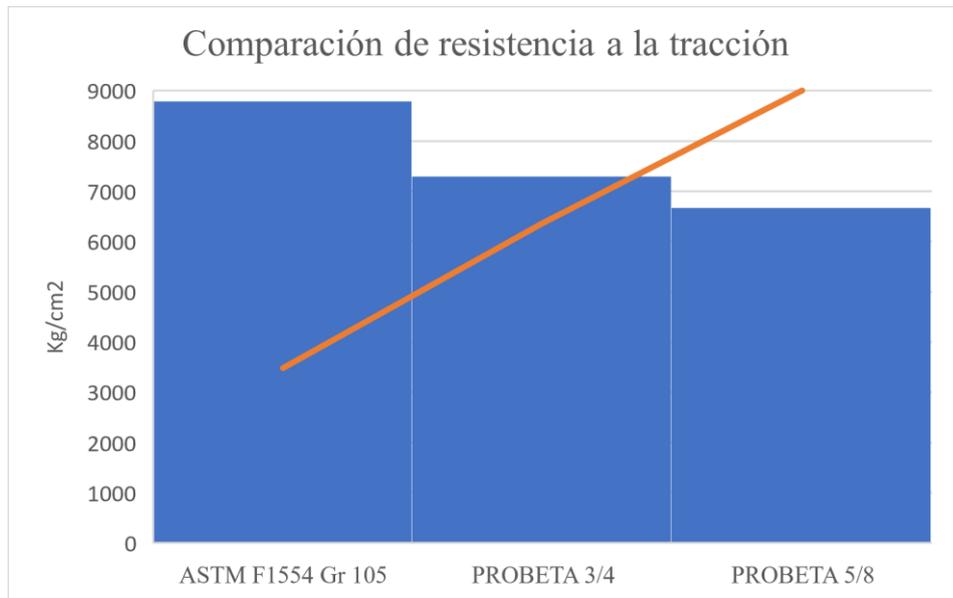


Ilustración 49. Comparación de resistencia a tracción entre las probetas y el acero ASTM F1554 Gr 105

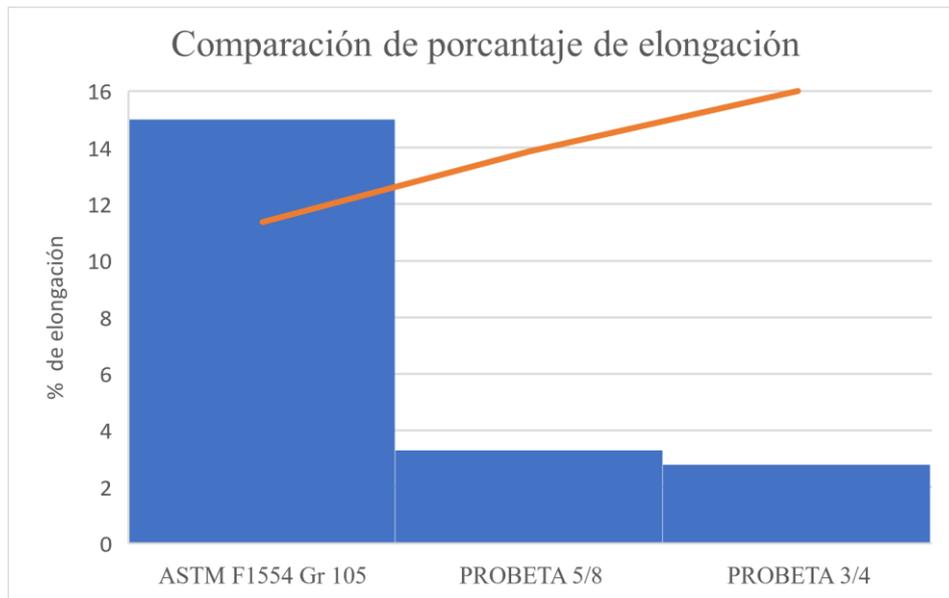


Ilustración 50. Comparación de porcentaje de elongación entre las probetas y el acero ASTM F1554 Gr 105

### 5.1.2 Resultados de los ensayos de corte

Una vez suscitada la falla es necesario saber cuál es el área resistente a la carga y esto se calcula promediando cuatro lecturas de diámetro en la zona de falla esto con la finalidad de mostrar resultados con bajo porcentaje de error, dándonos los resultados que se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados de ensayo de corte en varilla de 5/8 in

| Numero de muestra                           | 01               | 02               | 03               | 04               | 05               |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Característica</b>                       | Barra<br>roscada | Barra<br>roscada | Barra<br>roscada | Barra<br>roscada | Barra<br>roscada |
| <b>Diámetro menor(mm)</b>                   | 13,4             | 13,1             | 13,2             | 13,6             | 13,4             |
| <b>Diámetro comercial (mm)</b>              | 16               | 16               | 16               | 16               | 16               |
| <b>Sección transversal (mm<sup>2</sup>)</b> | 141,0            | 134,8            | 145,3            | 135,8            | 140,0            |
| <b>Carga máxima (KN)</b>                    | 73.571           | 76.562           | 76.865           | 67.285           | 64.142           |
| <b>Resistencia al corte (MPa)</b>           | 521,7            | 568,0            | 529,1            | 495,4            | 458,2            |

La Tabla 19 muestra los resultados del ensayo de corte en las probetas de 5/8 in dándonos una resistencia de corte promedio de 514.48 MPa con una carga máxima promedio de 71.685 KN para una sección transversal promedio de 139.38 mm<sup>2</sup>

Tabla 20. Resultados de ensayo de corte en varilla de 3/4 in

| Numero de muestra                           | 06               | 07               | 08               | 09               | 10               |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Característica</b>                       | Barra<br>roscada | Barra<br>roscada | Barra<br>roscada | Barra<br>roscada | Barra<br>roscada |
| <b>Diámetro menor(mm)</b>                   | 16.7             | 15.6             | 15.9             | 16.6             | 16.0             |
| <b>Diámetro comercial (mm)</b>              | 20               | 20               | 20               | 20               | 20               |
| <b>Sección transversal (mm<sup>2</sup>)</b> | 218.4            | 191.1            | 197.9            | 215.1            | 200.4            |
| <b>Carga máxima (KN)</b>                    | 112.96           | 111.07           | 121.33           | 112.58           | 111.48           |
| <b>Resistencia al corte (MPa)</b>           | 517.2            | 581.1            | 613.0            | 523.3            | 556.2            |

La Tabla 20 muestra los resultados de los ensayos a corte realizados en probetas de 3/4 in dándonos como resultado una resistencia al corte promedio de 558.16 MPa con una carga máxima promedio de 113.884 KN para una sección transversal promedio de 204.58 mm<sup>2</sup>.

En la AISC se habla de que los elementos de conexión que sean sometidos a esfuerzos de cizalla y tracción al mismo tiempo deben ser elementos pretensionados por lo que la misma nos demanda realizar el diseño y comparación basados en la norma Specification for Structural Joints Using High Strength Bolts donde se habla de pernos elaborados de acero de alta resistencia.

La resistencia de diseño de tracción y de corte, y la resistencia admisible de tracción y de corte, de un perno de alta resistencia con apriete ajustado o pretensionado o de una parte roscada debe ser determinada de acuerdo con los estados límites de ruptura en tracción y ruptura en corte como se indica a continuación:

$$R_n = F_{nv} \times A_b$$

**F<sub>nv</sub>**: carga nominal a tracción o corte

**A<sub>b</sub>**: Área bruta del perno

Resistencia al corte 5/8 in

$$M = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 521,7 + 568,0 + 529,1 + 495,4 + 458,2$$

$$M = 514.48 \text{ MPa} = 5246.24 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_n = 5246.24 \text{ kg/cm}^2 \times 1.39 \text{ cm}^2$$

$$R_n = 7292.27 \text{ Kgf}$$

Para la varilla de 5/8 la resistencia nominal es de 7292.27 Kg, además al comparar los valores de corte nominal de los ensayos con lo expuesto en la tabla J3.2 de la AISC sección J nos da como

resultado que la varilla se encuentra dentro del grupo B donde el área de corte no excluye a la zona roscada.

Resistencia al corte 3/4 in

$$M = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 517.2 + 581.1 + 613.0 + 523.3 + 556.2$$

$$M = 558.16 \text{ MPa} = 5691.65 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_n = 5691.65 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 2.05 \text{ cm}^2$$

$$R_n = 11667.88 \text{ Kgf}$$

En el caso de la varilla de 3/4 la resistencia nominal es de 11667.88 Kgf y al comparar con los valores de la tabla de J3.2 de la AISC esta varilla se encuentra más cerca al grupo B pero que excluye al roscado en el momento de la cizalla.

Tabla 21. Resistencia a corte tipo N para aceros usados como varillas de anclaje

| <b>Acero</b> | <b>Resistencia de corte tipo x<br/>(MPa)</b> | <b>Resistencia de corte tipo n<br/>(MPa)</b> |
|--------------|--|--|
| F1554 Gr 36  | 199.948                                      | 159.9584                                     |
| F1554 Gr 55  | 258.5534                                     | 206.843                                      |
| F1554 Gr 105 | 430.9223                                     | 344.738                                      |

Los ensayos de corte tipo X y tipo N son ensayos mecánicos que miden la resistencia del acero a las cargas de compresión y cizallamiento, respectivamente. El ensayo de corte tipo X determina la resistencia del acero a la compresión transversal, que es relevante para aplicaciones como pilares y columnas. Por otro lado, el ensayo de corte tipo N mide la resistencia del acero al cizallamiento paralelo a la dirección de laminación, lo que es importante para aplicaciones como vigas y conexiones atornilladas. Ambos ensayos proporcionan información valiosa sobre las propiedades de resistencia del acero y se utilizan en el diseño y la ingeniería de estructuras de acero para garantizar su capacidad de soportar cargas de manera segura.

Al analizar los resultados de los ensayos de corte de las probetas tanto de 5/8 como de 3/4 muestran valores superiores como se muestran en la siguiente ilustración.

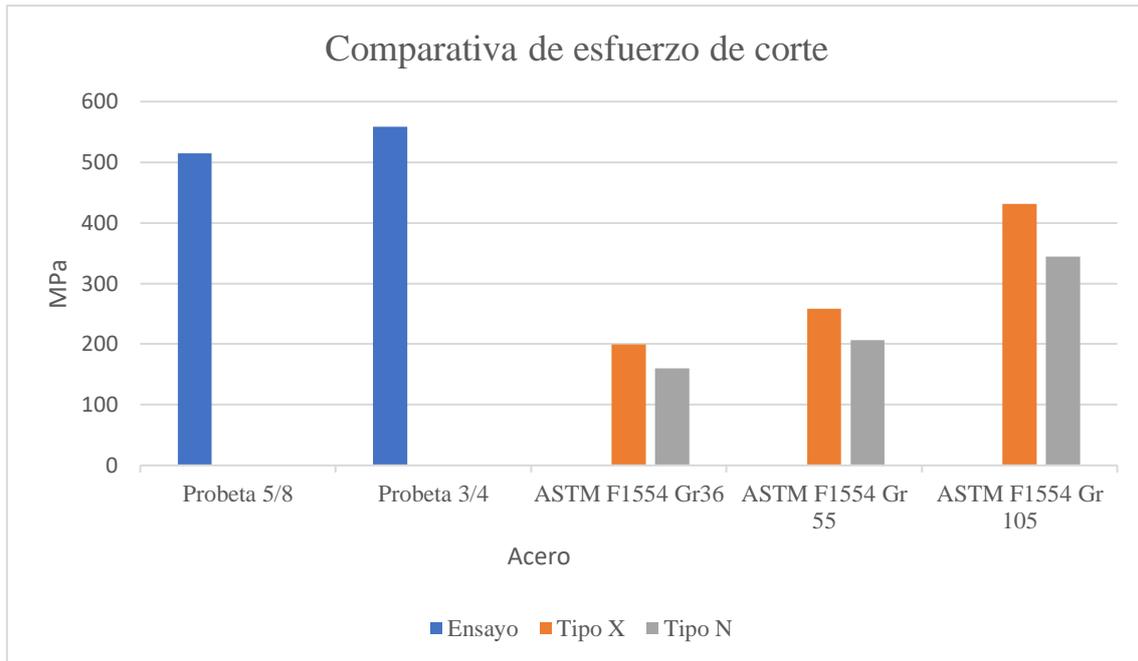


Ilustración 51. Comparativa de esfuerzo de corte

### 5.1.3 Análisis metalográfico

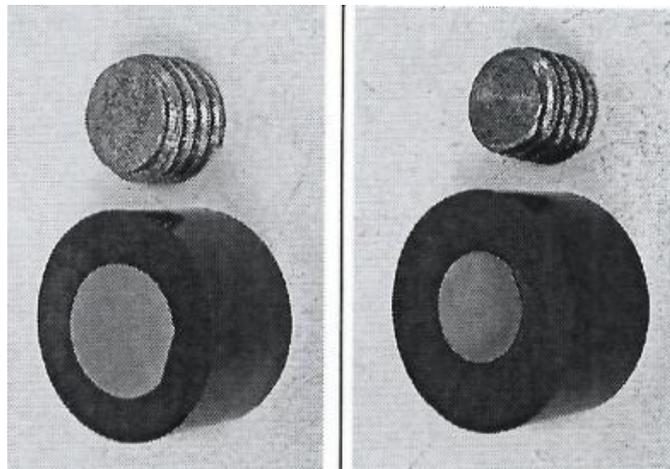
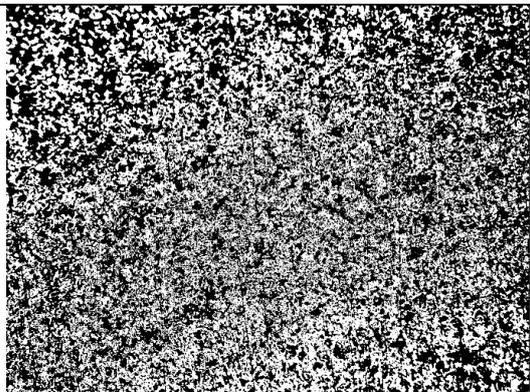
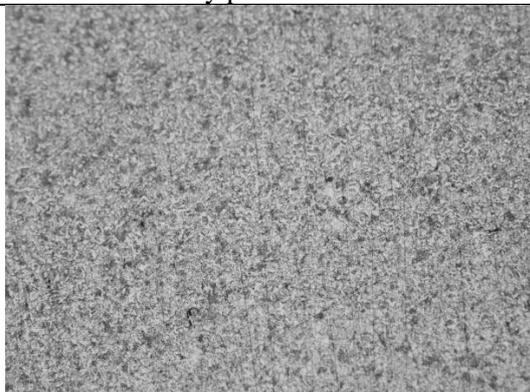
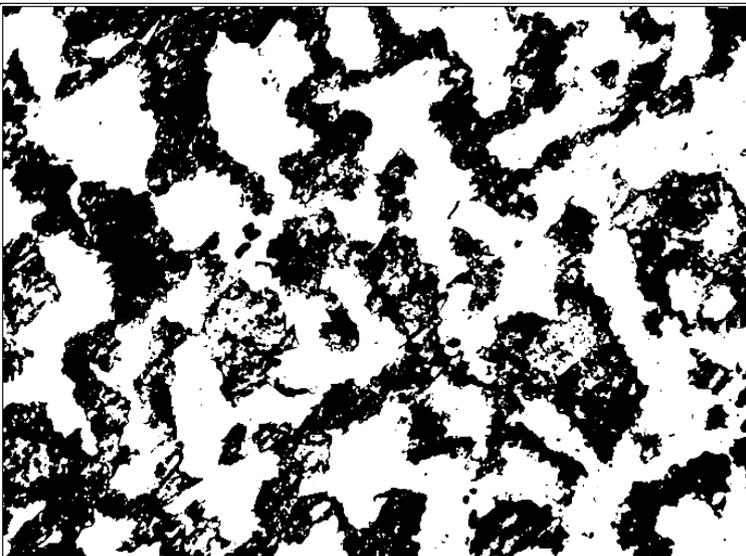


Ilustración 52. Probetas listas para el ataque químico.

Luego de lijar y secar las probetas se procede a realizar el ataque químico con Nital al 4% de concentración por un intervalo de 50 segundos para garantizar que el mismo no quemé demasiado el terminado final y podamos observar correctamente la microestructura del acero identificando oportunamente los diferentes componentes de la aleación FeC. Una vez en el microscopio electrónico se toman fotografías de las probetas con aumentos de 100x 200x 500x y 1000x dándonos como resultado las siguientes fotografías.

Tabla 22. Reporte de ensayo metalográfico de probeta de 5/8in

| <b>Ensayo Metalográfico</b>  |  |
|--|--|
| <b>Datos informativos:</b>   |  |
| <b>Ensayo N.º: 01</b>  | <b>Tipo de estudio:</b> De laboratorio   |
| <b>Lugar de estudio y análisis:</b> Laboratorio de Materiales - CFPMCPT              |  |
| <b>Solicitado por:</b> UTA   | <b>Fecha de solicitud:</b> 12/12/2023  |
| <b>Identificación de componente de estudio:</b> Probeta N°01                         |  |
| <b>Realizado por:</b> Ing. Fernando Tibán  | <b>Supervisado por:</b> Ing. Luis Mayorga  |
| <b>Parámetros de ensayo</b>  |  |
| <b>Lugar:</b> Laboratorio de materiales - <b>Pulido:</b> Mecánico                    |  |
| <b>CFPMCPT</b>   |  |
| <b>Temperatura durante pulido:</b> 22°C  | <b>Ataque químico de superficie:</b> Nital 4%  |
| <b>Material estudiado:</b> Acero ASTM A615   | <b>Tiempo:</b> 50 segundos   |
| <b>Tamaño de grano</b>   |  |
| <b>Probeta de 5/8</b>  |  |
| <b>Método:</b> ASTM E112 comparación   | <b>Componentes:</b> Perlita y ferrita<br>Ferrita 46.597% y perlita 53.403%           |
|   |  |
|  |  |

---

Al ser un acero hipoeutectoide presenta ferrita proeutectoide el carbono no se ha alojado al borde del grano por lo que prima el porcentaje de fases el cual mediante el software ImageJ se determinó en 46.597% ferrita proeutectoide y 53.403% perlita.

---

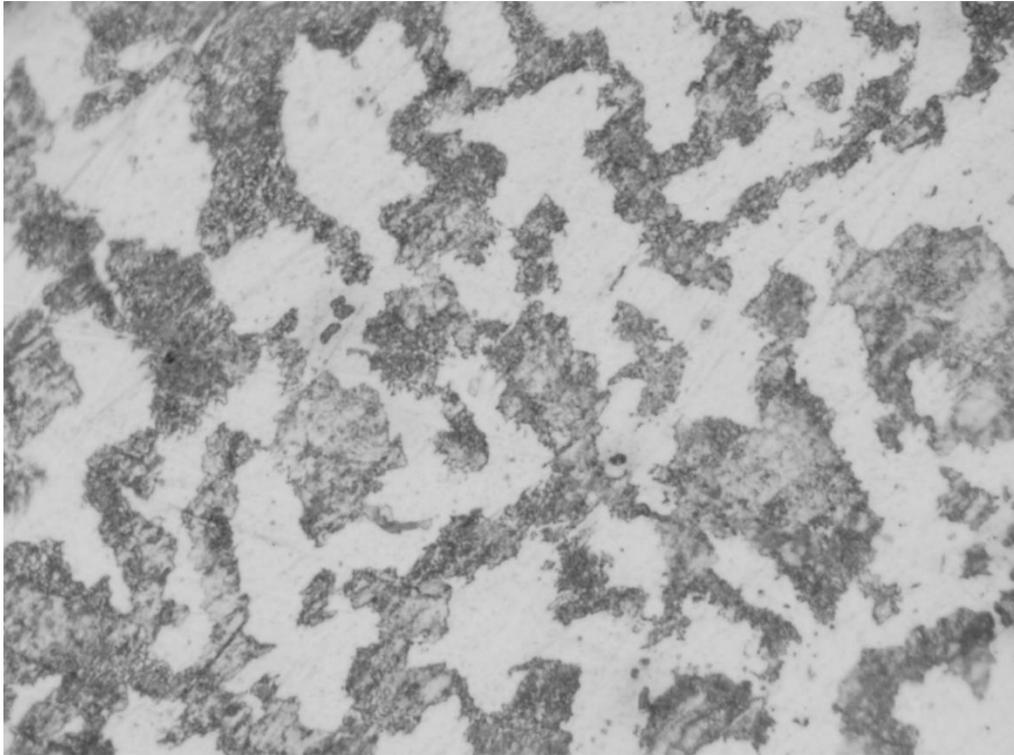


Ilustración 53. Microfotografía de probeta de 5/8 in con aumento de 1000x.

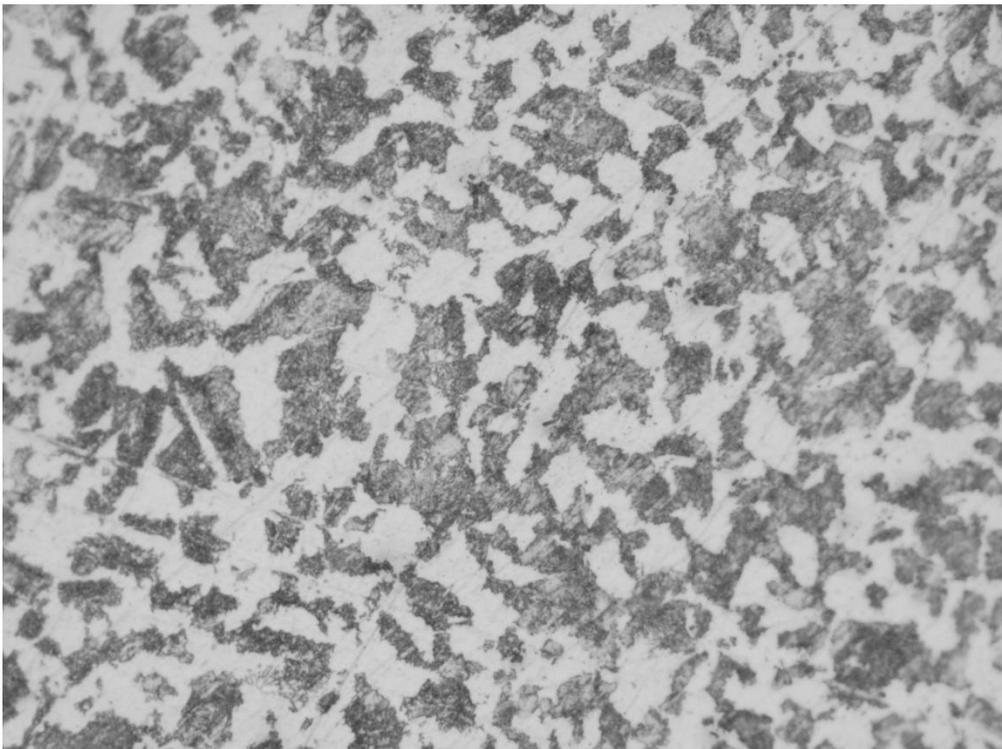


Ilustración 54. Microfotografía de probeta de 5/8 in con aumento de 500x.

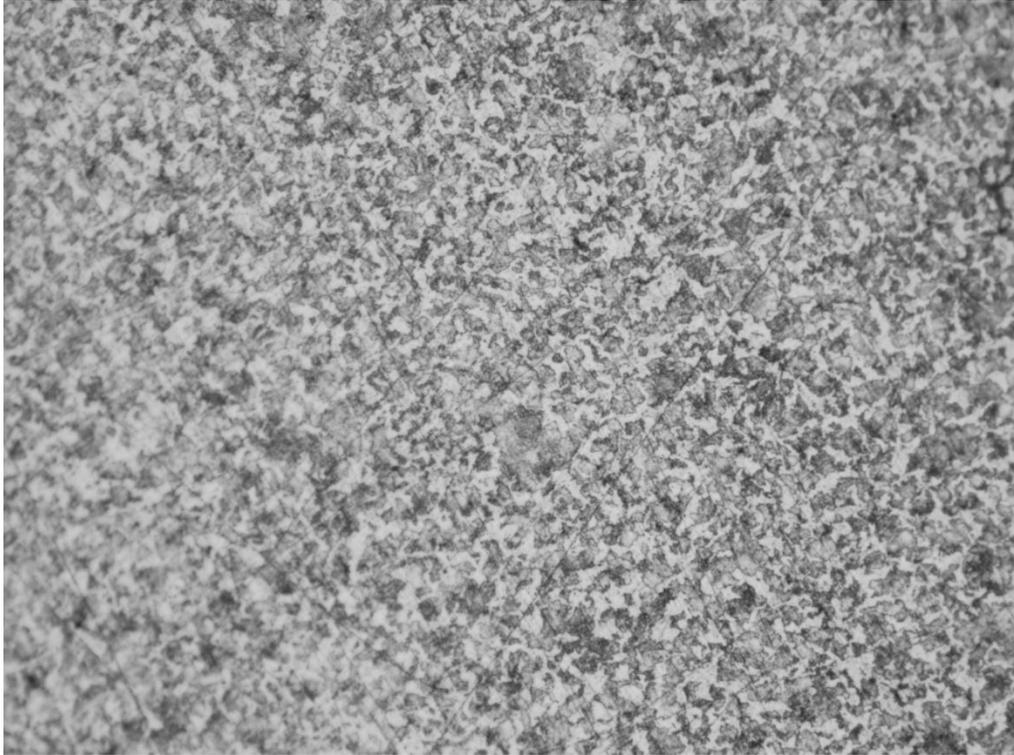


Ilustración 55. Microfotografía de probeta de 5/8 in con aumento de 200x.

El roscado corresponde a una rosca de tipo UNC de hilo grueso con características distintivas para cada diámetro sin embargo al ser acero corrugado (el corrugado con razón de aportar adherencia entre el hormigón y el acero) presenta discontinuidades en el diámetro de las varillas por lo que es impreciso al momento de planificar el maquinado de la rosca tanto para el torno como para el cumplimiento de los parámetros que exige la rosca.

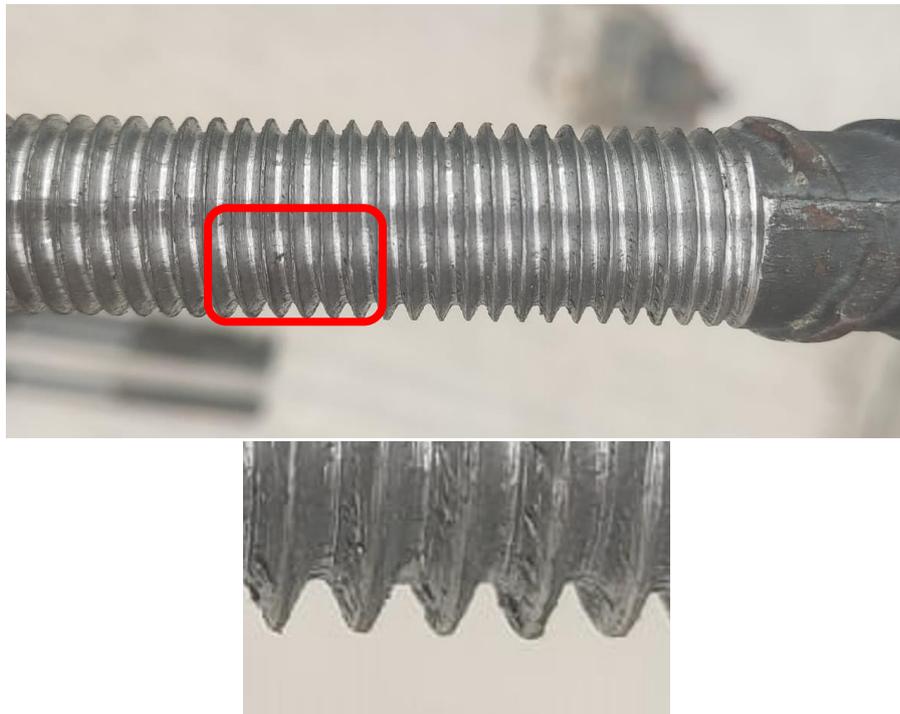


Ilustración 56. Imperfecciones e roscado causadas por la irregularidad de la varilla ASTM A615

En la micrografía se puede observar una disposición de hierro ferrita y cementita propios de un acero aleado, en la microfotografía a 100X, 200X, 500X, 1000x de la probeta de 5/8 se pueden observar incrustaciones de grafito en el cementita propio del proceso de fundición al que es sometido el acero de media y baja aleación. Como se menciona en (Moncaleano, 2018)

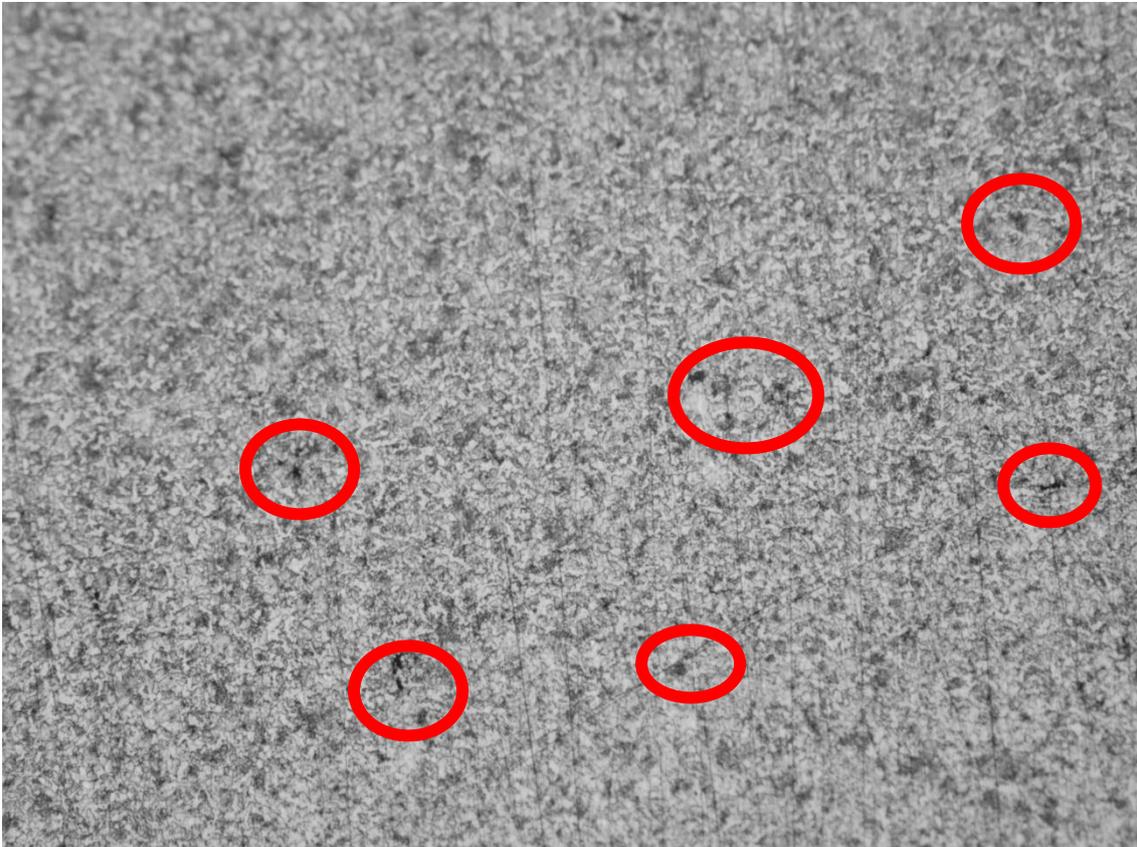


Ilustración 57. Incrustaciones de grafito en probeta de 5/8 in incremento 100x



Ilustración 58. Incrustaciones de grafito en probeta de 5/8 in incremento de 200x

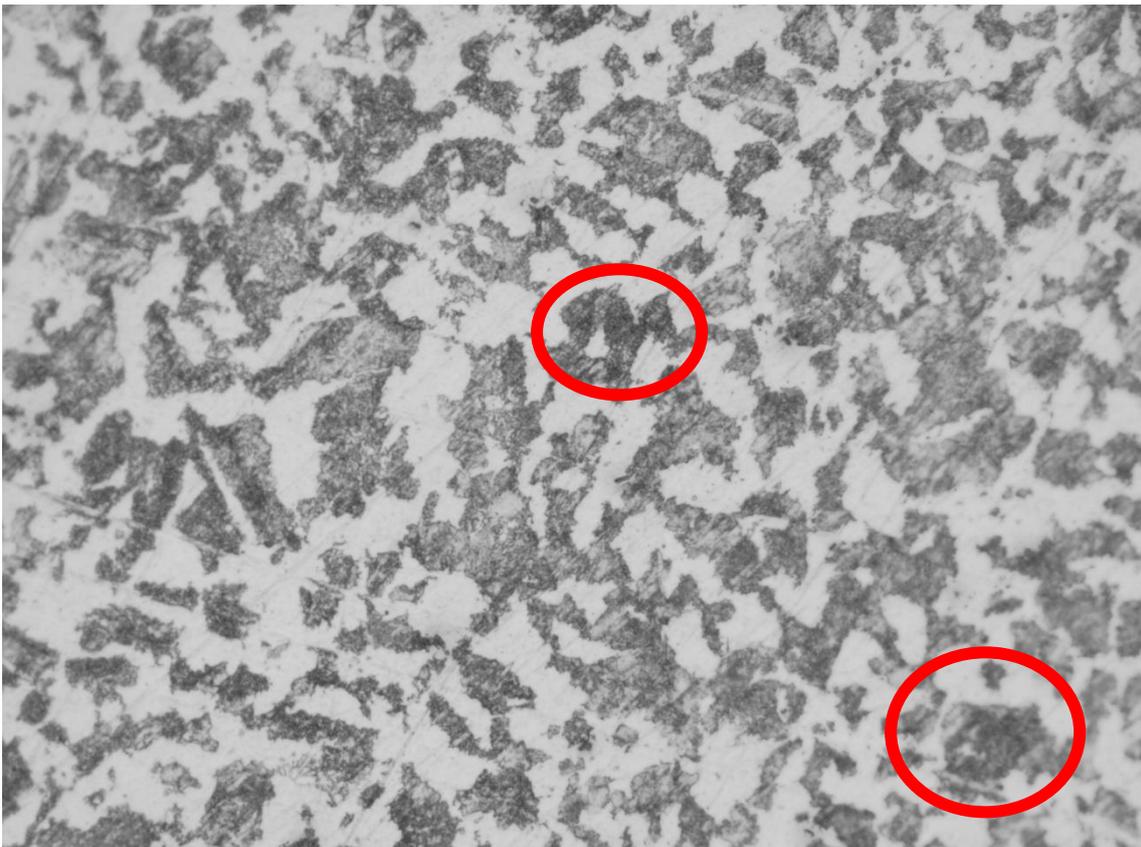


Ilustración 59. Incrustaciones de grafito en probeta de 5/8 in incremento de 500x

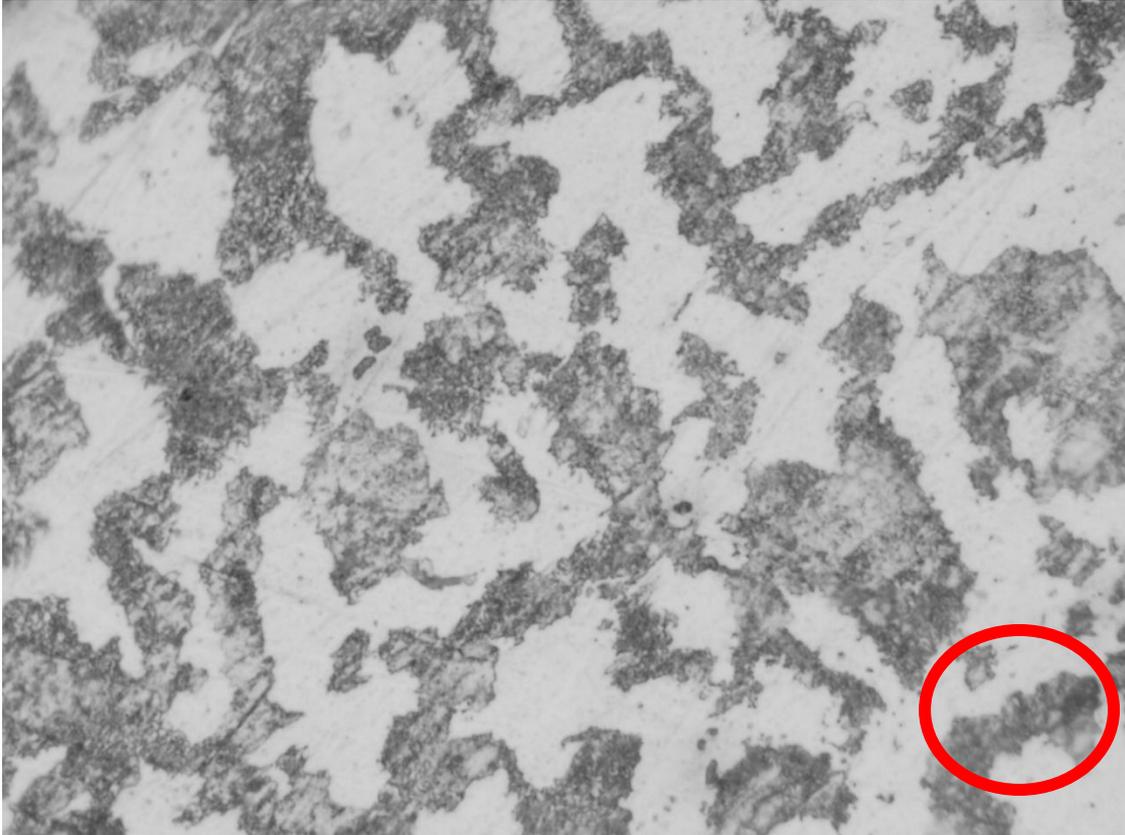


Ilustración 60. Incrustaciones de grafito en probeta de 5/8 in incremento de 1000x

El material presenta un balance equilibrado de aproximadamente el 50/50 entre cementita que es la parte dura, pero frágil del acero y ferrita que es la parte blanca, blanda y maleable por lo que el material posee condiciones mecánicas, físico, químicas acordes a las necesidades de la industria de la construcción.

Al ser un material dúctil el maquinado no provoca daños mayores microestructuralmente por lo que un personal calificado lo puede realizar, ya que el maquinado no ha provocado grietas que puedan afectar al funcionamiento de las piezas.

## 5.2 Comparación de resultados de simulación

La validación del interfaz entre concreto y perno de anclaje se lo realizó mediante una carga progresiva aplicada al perno de anclaje en megapascales donde se pudo evidenciar que con una carga mínima de 0.26 megapascales donde ni el perno ni el concreto sufren deformación alguna en esfuerzos de tracción por lo que el coeficiente de seguridad de Von-Misses es alto, adecuándose a condiciones de servicio menores [72], [73].

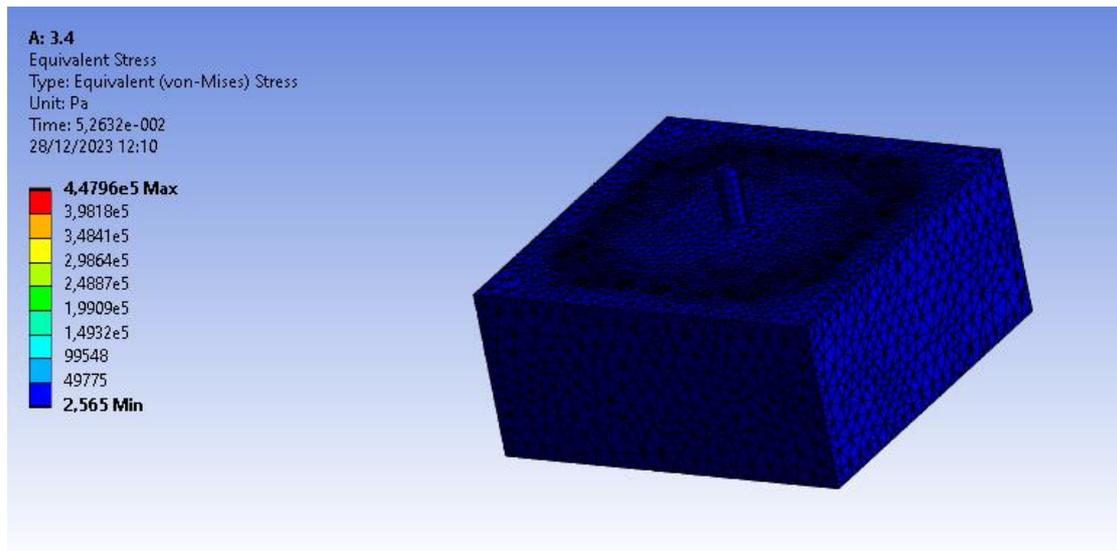


Ilustración 61. Estado inicial de simulación de esfuerzos en perno de 3/4 in

El esfuerzo máximo al cual el enlace se rompe es de 25.14 MPa que es cuando el concreto falla y nos damos cuenta que el concreto falla ya que se evaluaron dos diferentes factores de seguridad para cada elemento del interfaz mientras que el perno se mantiene con factores superiores a uno el concreto cuando la fuerza de 3500 N el factor de seguridad es de 0.968 por lo que el concreto al fallar se produce el arrancamiento del concreto con un diámetro aproximado de 0.2 metros [74].

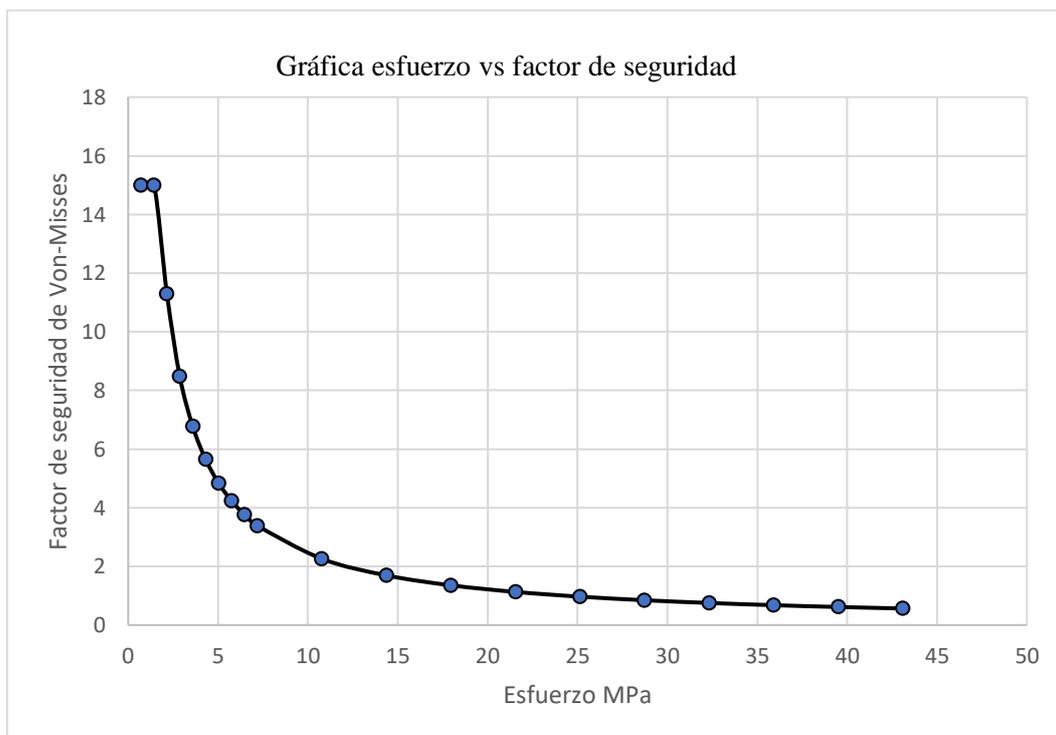


Ilustración 62. Gráfica esfuerzo vs Factor de seguridad en interfaz de 3/4 in

En la gráfica se puede observar cómo se comporta el factor de seguridad con respecto a los esfuerzos aplicados en el interfaz perno-concreto cuando el perno es de 3/4 in de diámetro donde desde que se le aplica una carga de 100 N comienza a bajar desde 15 hasta que falla a los 21.54

MPa y si lo comparamos con el esfuerzo máximo de (Congqi Fang, Bond behaviour of corroded reinforcing steel bars in concrete, 2006) que es de 21MPa

El porcentaje de erratas en trabajos de investigación son calculados bajo la siguiente formula:

$$\%error = \frac{|E - T|}{|T|} X100$$

**Donde:**

**E:** Valor simulado

**T:** Valor teórico

**%error:** Porcentaje de errata

$$\%error = \frac{|21.54 - 21|}{|21|} X100$$

$$\%error = 2.57\%$$

El porcentaje de error aceptable en proyectos de investigación donde se busca generar conocimiento para futuras investigaciones suele situarse entre 2,5% y 8% según, Pichardo Corpus [75], para que este sea aceptado dentro de una investigación científica lo cual valida la simulación y los resultados en la misma.

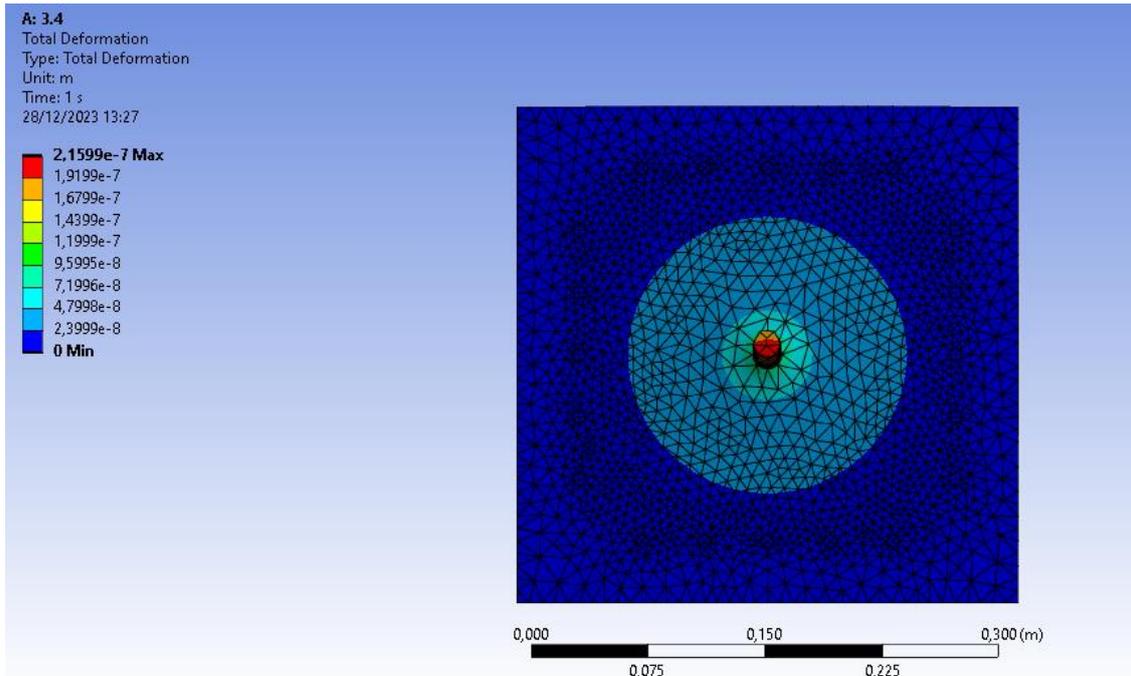


Ilustración 63. Estado final de simulación de esfuerzos en perno de 3/4 in

Para el perno de 5/8 in se siguió el mismo procedimiento donde el esfuerzo mínimo antes de que el coeficiente de seguridad es igual o mayor a 15 es el mínimo de 1.34 MPa para luego parametrizar un aumento escalar de la fuerza aplicada al perno de anclaje [72].

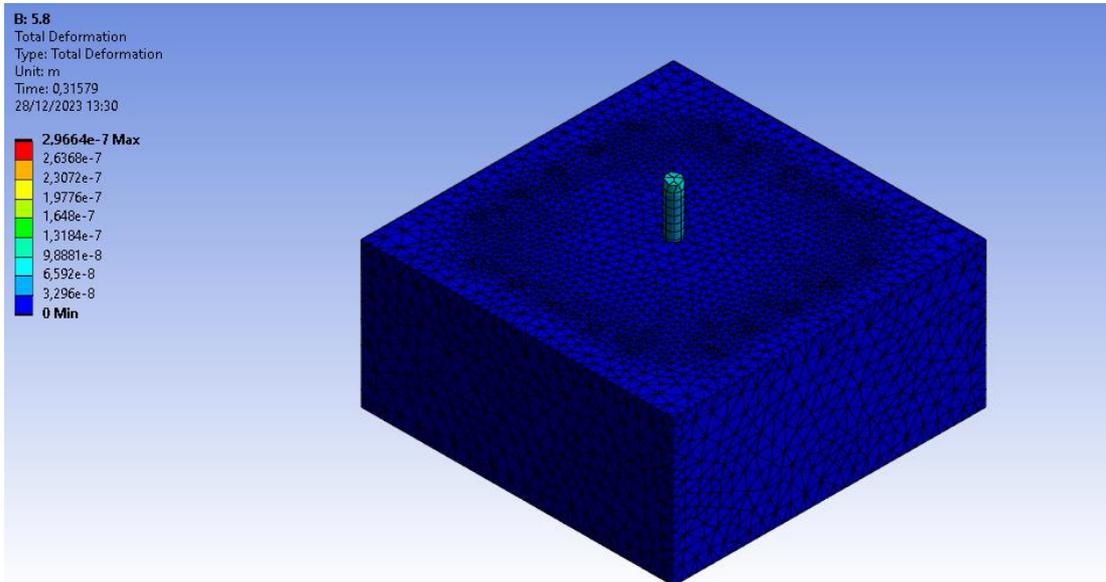


Ilustración 64. Estado inicial de simulación de esfuerzos en perno de 5/8 in

El final está basado en el coeficiente de seguridad ya que la simulación termina de parametrizar cuando la carga es tan fuerte que el coeficiente de seguridad es menor a uno lo que quiere decir que el concreto o el acero falló o se arrancó. Provocando un cono de concreto de aproximadamente 0.20 metros de diámetro al terminar de arrancarse [73].

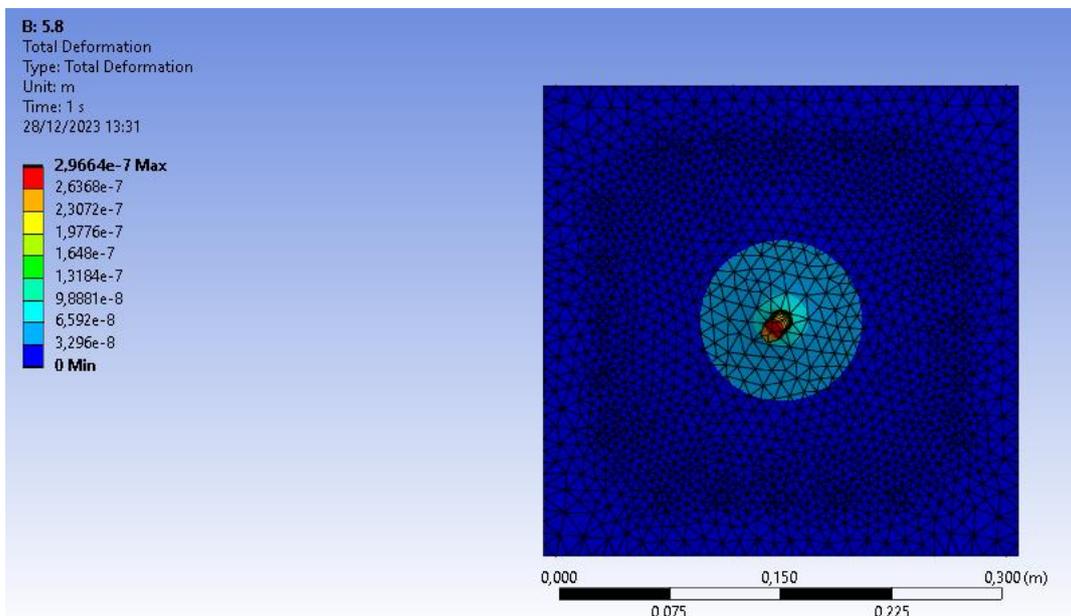


Ilustración 65. Estado final de simulación de esfuerzos en perno de 5/8 in

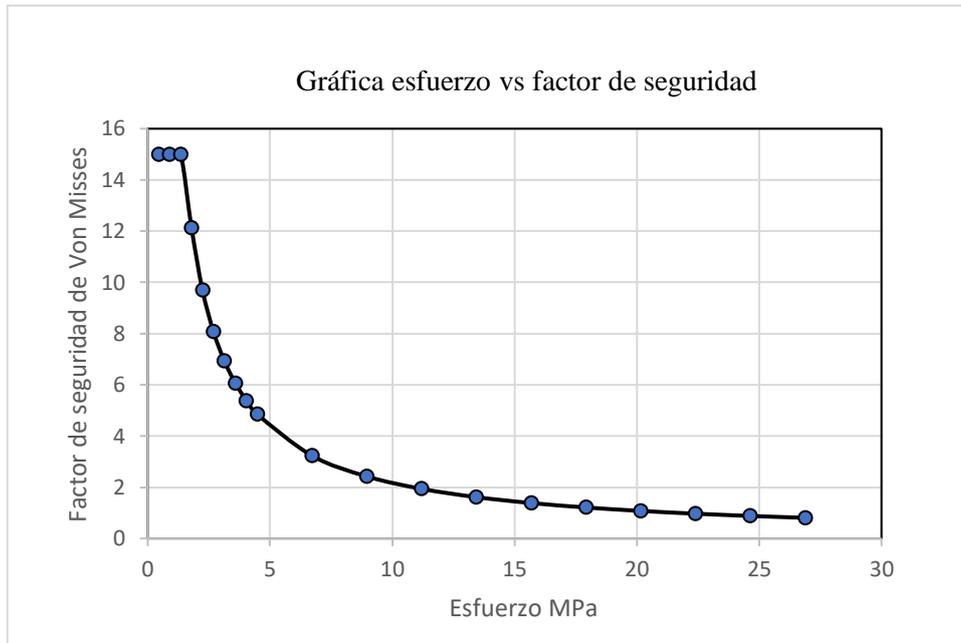


Ilustración 66. Gráfica esfuerzo vs Factor de seguridad en interfaz de 5/8 in

En la gráfica se detalla el comportamiento del interfaz perno-concreto desde que se aplica una carga de 100 N que va aumentando hasta provocar un esfuerzo de 20.16 MPa donde el concreto falla y al compararlo con los valores de [76] podemos sacar el porcentaje de errata con la siguiente formula.

$$\%error = \frac{|E - T|}{|T|} \times 100$$

**Donde:**

**E:** Valor simulado

**T:** Valor teórico

**%error:** Porcentaje de errata

$$\%error = \frac{|20.15 - 21|}{|21|} \times 100$$

$$\%error = 4.05\%$$

Y con lo mencionado anteriormente el porcentaje de error esta entre el 2.5% y 8% lo cual es aceptable para trabajos de investigación científica.

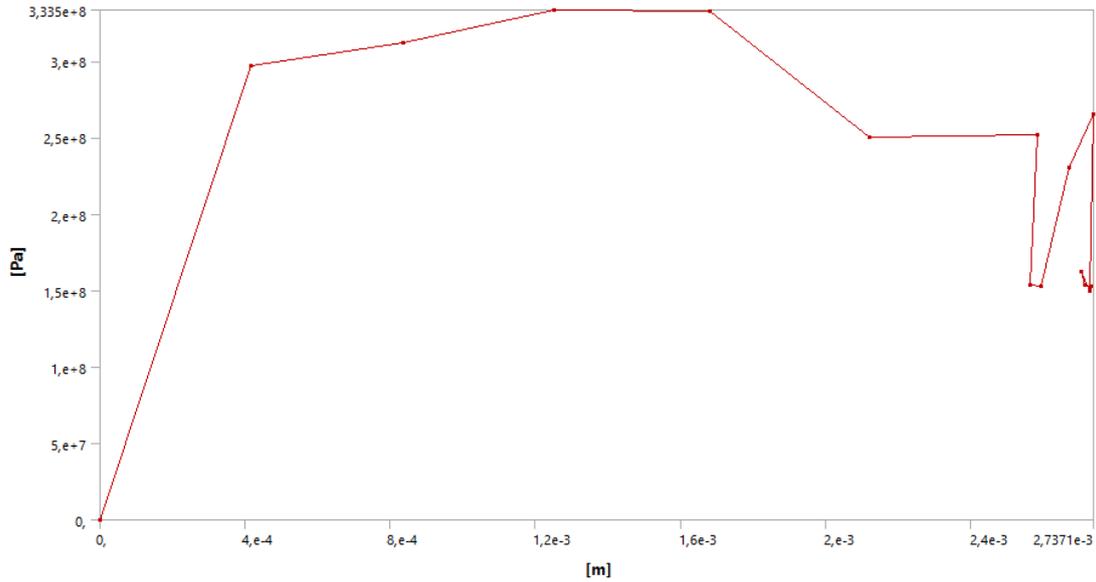


Ilustración 67. Diagrama de Esfuerzo Vs deformación de tracción de la junta concreto perno.

La Ilustración 68 muestra el comportamiento de la junta perno concreto donde podemos observar que la deformación máxima en el punto plástico es de 0.4 mm antes de que la junta falle completamente lo cual está acorde con el deslizamiento presente en la gráfica que presenta [76] y la gráfica tiene las zonas correspondientes a la gráfica esfuerzo deformación de materiales metálicos detalladas anteriormente en el marco teórico.

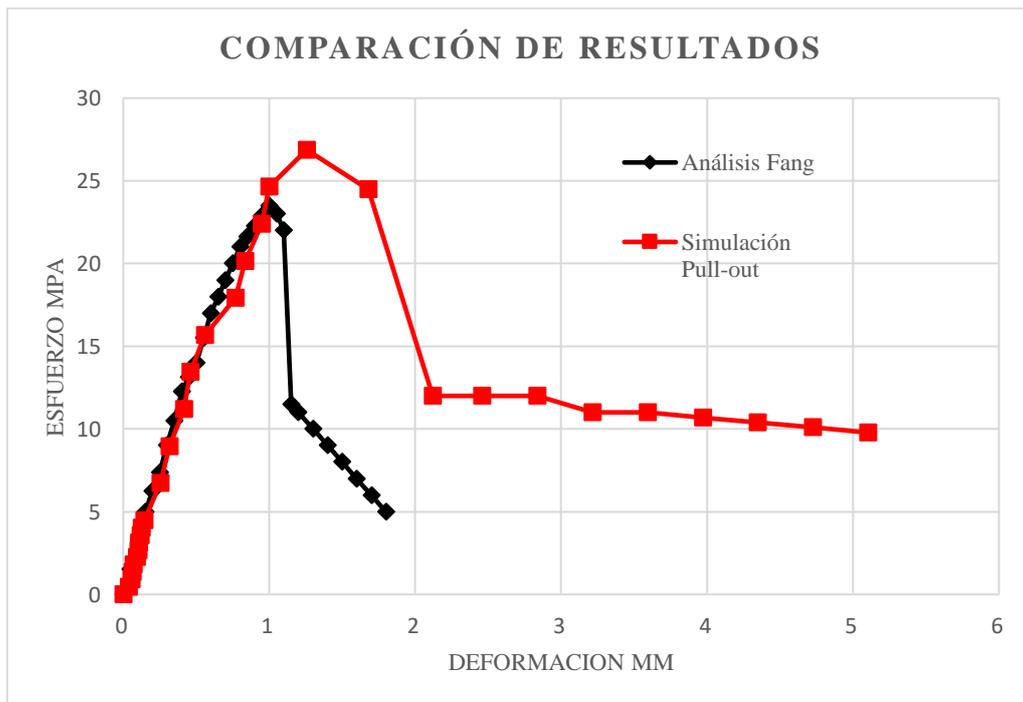


Ilustración 68. Gráfica comparativa de validación.

Al comparar las gráficas esfuerzo-deslizamiento obtenidas mediante método de elementos finitos, se observa que ambas presentan las mismas zonas características que la gráfica esfuerzo-deformación del acero, incluyendo la zona elástica, el límite elástico, la zona de deformación plástica, el esfuerzo máximo y la zona de estrechamiento después del esfuerzo máximo. Esta

similitud se debe a que ambos métodos numéricos capturan las características fundamentales del comportamiento del acero bajo carga, lo que indica que el análisis de interfaz es un método válido para estudiar el comportamiento de la interfaz entre materiales.

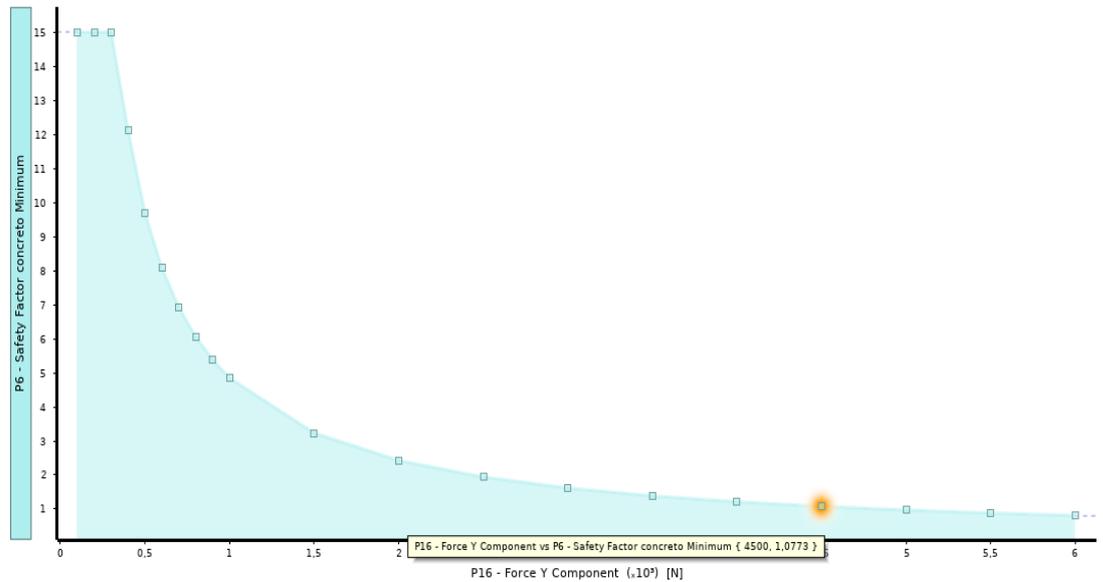


Ilustración 69. Fuerza vs Coeficiente de seguridad perno de anclaje de 3/4 in.

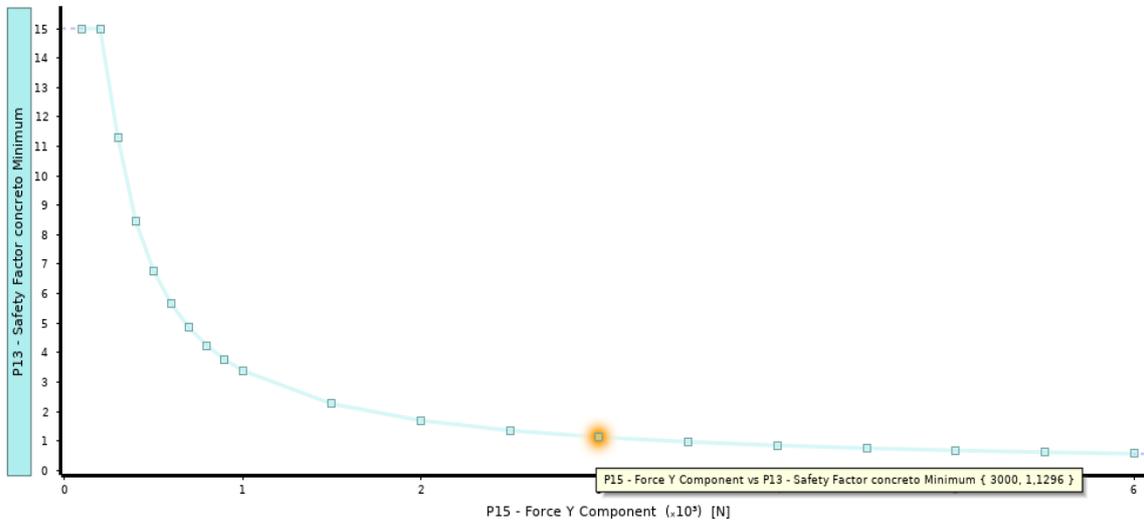


Ilustración 70. Fuerza vs Coeficiente de seguridad perno de anclaje de 5/8 in.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS

#### 6.1 Conclusiones

- El acero ASTM A615 al ser un acero de media y baja aleación en comparación con el acero que las normas AISC 360\_16 y Specification for Structural Joints Using High Strength Bolts recomiendan para el uso de conexiones tiene una resistencia mayor en esfuerzos de tracción.
- El acero ASTM A615 presenta un bajo porcentaje de elongación promediado de 3% entre los dos diámetros escogidos para este estudio y si lo comparamos con el acero que las normas de construcción actuales recomiendan que es de 23% podemos decir que su comportamiento bajo cargas que no sean homogéneas como es el caso donde la columna provoca un momento en el sentido horizontal a la placa base este podría provocar fallas antes de las condiciones de servicio de las estructuras.
- El Acero ASTM A615 no presenta problemas para ser roscado, ya que el proceso de maquinado no provoca cambios en su microestructura por lo que su comportamiento mecánico no se vería afectado y la rosca cumplirá con las condiciones de servicio, sin embargo, el roscado en varillas corrugadas de NOVACERO presenta inconvenientes debido a las inconsistencias en el diámetro de las mismas por lo que realizar el maquinado en equipos CNC representa un desafío para las herramientas tanto para garantizar los parámetros de la rosca como para la integridad de las herramientas de corte.
- Al analizar los esfuerzos de corte presentes tanto en los ensayos como en lo tabulado por la normativa AISC para placas base y varillas de anclaje se puede concluir que la propiedad mecánica que interfiere en el uso adecuado del acero ASTM A615 es la elasticidad del material, ya que la diferencia entre los aceros sugeridos por la normativa AISC para placas base y varillas de anclaje y las probetas ensayadas es significativa.
- La baja elasticidad del acero ASTM A615 podría incurrir en fallas por arrancamiento en la placa base de las estructuras que sean fijadas al suelo mediante el uso de este material cuando estas estén sometidas a cargas del régimen de fluencia.
- La simulación de esfuerzos estructurales en el interfaz perno concreto presenta desafíos en la programación APDL ya que al ser dos materiales completamente distintos en su comportamiento este interfaz requiere de personal especializado que pueda programar el comportamiento correcto del concreto.
- Las gráficas muestran que la falla del interfaz depende netamente del concreto y su capacidad en esfuerzos de tracción, ya que estos son diseñados a compresión debido a su naturaleza dura pero frágil.
- La norma Specification for Structural Joints Using High Strength Bolts menciona que existen aplicaciones en la que se requiera un material más resistente a tracción, que los denomina

como pernos de alta resistencia, los cuales son usados bajo condiciones especiales especificadas en las mismas, ubicando al acero ASTM A615 por sus propiedades mecánicas dentro del grupo B de diseño de conexiones pretensadas de alta resistencia. Sin embargo, la normativa no incluye a este acero dentro de sus recomendaciones.

## **6.2 Recomendaciones**

- Aumentar una medida de diámetro para el estudio del roscado del mismo, esto debido a que las inconsistencias en el diámetro provocan modificaciones en el tamaño de cabeza de rosca.
- Ensayar corte a dos caras de cizalla, esto debido a que la placa base cumple un papel esencial en el comportamiento de la junta y esta provoca dos planos de corte en el perno de anclaje.
- Estudiar los diferentes tipos de pernos de anclaje ya que según la forma de los mismos tienen diferentes comportamientos con el bloque de concreto.
- Realizar un estudio de los tratamientos térmicos que se le puede dar a los pernos de anclaje del material ASTM A615 con la finalidad de mejorar su ductilidad, esto debido a que sus propiedades mecánicas de tracción y corte son superiores a las recomendadas por las normas de construcción.
- Diseñar un ensayo destructivo experimental que someta la interfaz a las mismas condiciones estáticas y dinámicas simuladas en este documento.

### 6.3 Bibliografía

- [1] Y. M. Ruda Arias and D. F. Paez Moreno, “Anclajes posinstalados en concretos de alta resistencia,” *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 27, no. 2, pp. 137–156, Aug. 2017, doi: 10.18359/RCIN.2208.
- [2] C. J. Barros Ochoa, “Análisis de la Tensión de Adherencia del Hormigón con el Acero de refuerzo en diferentes estados de oxidación y diferentes tratamientos de pasivación y protección,” Universidad de Cuenca, Cuenca, 2021.
- [3] M. James Chen, “Concrete tensile breakout at fully developed deformed bar/wire anchors,” *ACI Struct J*, vol. 117, no. 6, pp. 45–57, Nov. 2020, doi: 10.14359/51728058.
- [4] N. López, R. Ugel, and I. Reyes, “Analysis of a joint base plate between concrete column-steel columns in the non-linear range,” *Revista Gaceta Técnica.*, vol. 20, no. 1, pp. 7–22, 2019, doi: 10.13140/RG.2.2.21271.83363.
- [5] C. A. Gansino Llanos and K. A. Tapia Mantilla, “Análisis de la resistencia mecánica en pernos de anclaje hasta 1/2 pulgada de diámetro, utilizados en Estructuras Metálicas.,” Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito, 2021.
- [6] G. Bylapudi, K. Mondal, A. J. Spearing, and A. Bhagwat, “Corrosion properties of ASTM A615 rock bolt steel in US underground coal mines,” *Mining Technology*, pp. 135–150, 2020, doi: 10.1080/25726668.2020.1788843.
- [7] S. Cho, J. Choi, H. Lee, and W. Chung, “Structural Behavior of Construction Joints in a Composite Rigid-Frame Bridge,” *International Journal of Concrete Structures and Materials 2023 17:1*, vol. 17, no. 1, pp. 1–19, Oct. 2023, doi: 10.1186/S40069-023-00614-3.
- [8] X. Ren, J. Li, and J. Chen, “Crack propagation, failure and ultimate load capacity of the grout layer in the prestressed anchor bolt foundation of wind turbine tower,” *Eng Fail Anal*, vol. 153, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.ENGFANAL.2023.107561.
- [9] A. Brencich, F. Hasweh, and D. Pera, “Calibration of Pull-Out tests on Historical-like Concrete,” *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, vol. 54, no. 2, Apr. 2021, doi: 10.1617/s11527-021-01645-6.
- [10] M. Marcon, K. Ninčević, I. Boumakis, L.-M. Czernuschka, and R. Wan-Wendner, “Aggregate Effect on the Concrete Cone Capacity of an Undercut Anchor under Quasi-Static Tensile Load,” *Materials*, vol. 11, no. 5, p. 711, May 2018, doi: 10.3390/ma11050711.
- [11] S. Chhetri and R. A. Chicchi, “Analytical Investigation of Tension Loaded Deformed Rebar Anchors in Concrete,” *CivilEng*, vol. 2, no. 2, pp. 442–458, Jun. 2021, doi: 10.3390/civileng2020025.

- [12] S. Al-Sabah, S. N. Alam Sourav, and C. McNally, “The post-installed screw pull-out test: Development of a method for assessing in-situ concrete compressive strength,” *Journal of Building Engineering*, vol. 33, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jobbe.2020.101658.
- [13] L. T. Ahmed and A. Braimah, “Tensile behaviour of adhesive anchors under different strain rates,” *Eng Struct*, vol. 192, pp. 113–125, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2019.04.072.
- [14] T. Wu, L. Sun, H. Wei, and X. Liu, “Uniaxial performance of circular hybrid fibre-reinforced lightweight aggregate concrete columns,” *Eng Struct*, vol. 238, p. 112263, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2021.112263.
- [15] S. Chhetri and R. A. Chicchi, “Analytical Investigation of Tension Loaded Deformed Rebar Anchors in Concrete,” *CivilEng*, vol. 2, no. 2, pp. 442–458, Jun. 2021, doi: 10.3390/civileng2020025.
- [16] V. Mahadik, A. Sharma, and J. Hofmann, “Cast-in and post-installed rebar anchorage systems in RC column foundation joints: Experimental investigations,” *Eng Struct*, vol. 238, p. 112208, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2021.112208.
- [17] Q. Yu, J. Le, M. H. Hubler, R. Wendner, G. Cusatis, and Z. P. Bažant, “Comparison of main models for size effect on shear strength of reinforced and prestressed concrete beams,” *Structural Concrete*, vol. 17, no. 5, pp. 778–789, Dec. 2016, doi: 10.1002/suco.201500126.
- [18] L. Hussein and L. Amleh, “Size effect of ultra-high performance fiber reinforced concrete composite beams in shear,” *Structural Concrete*, vol. 19, no. 1, pp. 141–151, Feb. 2018, doi: 10.1002/suco.201700078.
- [19] C. Mahrenholtz, R. Eligehausen, and H. W. Reinhardt, “Qualification and Design of Cast-in-Place and Post- Installed Reinforcing Bar Anchorages,” *Structural Journal*, vol. 117, no. 2, pp. 3–16, Mar. 2020, doi: 10.14359/51720192.
- [20] J. Lu, H. M. Afefy, H. Azimi, K. Sennah, and M. Sayed-Ahmed, “Bond performance of sand-coated and ribbed-surface glass fiber reinforced polymer bars in high-performance concrete,” *Structures*, vol. 34, pp. 10–19, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.istruc.2021.07.060.
- [21] R. Chicchi, A. H. Varma, J. Seo, and T. Bradt, “Experimental Testing of Tension-Loaded Deformed Anchors in Concrete,” *ACI Struct J*, vol. 117, no. 5, Sep. 2020, doi: 10.14359/51724670.
- [22] U. Dilek and E. M. Reis, “Evaluation and Load Testing of Posttensioned Concrete Structure Exhibiting Distress,” *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 30, no. 1, Feb. 2016, doi: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000695.
- [23] C. Fang, K. Lundgren, M. Plos, and K. Gylltoft, “Bond behaviour of corroded reinforcing steel bars in concrete,” *Cem Concr Res*, vol. 36, no. 10, pp. 1931–1938, Oct. 2006, doi: 10.1016/j.cemconres.2006.05.008.

- [24] W. Li, N. Yang, Y. Mei, Y. Zhang, L. Wang, and H. Ma, “Experimental investigation of the compression-bending property of the casing joints in a concrete filled steel tubular supporting arch for tunnel engineering,” *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 96, p. 103184, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.tust.2019.103184.
- [25] B. Bokor, A. Sharma, and J. Hofmann, “Experimental investigations on concrete cone failure of rectangular and non-rectangular anchor groups,” *Eng Struct*, vol. 188, pp. 202–217, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2019.03.019.
- [26] K. Ninčević, I. Boumakis, M. Marcon, and R. Wan-Wendner, “Aggregate effect on concrete cone capacity,” *Eng Struct*, vol. 191, pp. 358–369, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.engstruct.2019.04.028.
- [27] J. Feng, Y. Tan, S. Yao, H. Jiang, J. Zhang, and H. Li, “Study on stress variation of advance fiberglass anchor bolts during tunnel excavation process,” *Sci Rep*, vol. 13, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1038/S41598-023-31000-4.
- [28] S. Ren, Z. Tao, M. He, M. Li, and Q. Sui, “Numerical simulation study on shear resistance of anchorage joints considering tensile–shear fracture criterion of 2G-NPR bolt,” *Int J Coal Sci Technol*, vol. 10, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1007/S40789-023-00617-1.
- [29] S. K. Jain, M. S. Nusari, R. Shrestha, and A. K. Mandal, “Use of RCC pile, anchor bolt and geogrid for building construction on the unstable slope,” *Geoenvironmental Disasters*, vol. 10, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1186/S40677-023-00243-8.
- [30] S. A. (Atorsa) Anclajes y tornillos, “Perno de anclaje recto,” Anclajes y tornillos, S.A. (Atorsa). Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://anclajesytornillosa.jimdofree.com/pernos-de-anclaje/perno-de-anclaje-recto/>
- [31] K. Mohamed and G. Rashed, “Loading characteristics of mechanical rib bolts,” *2019 SME Annual Conference and Expo and CMA 121st National Western Mining Conference*, 2019.
- [32] L. Bartlett, “Applications of water-expanded bolts in France,” *Tunnels and Tunnelling International*, vol. 21, no. 4, pp. 84–85, Apr. 1989.
- [33] G. L. G. da Paz, M. G. Marques, and S. R. C. Ruas, “Numerical analysis of reinforced concrete columns strengthened with sleeve wedge bolts and a self compacting concrete layer,” *Structures*, vol. 43, pp. 726–737, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.ISTRUC.2022.06.066.
- [34] “Sistemas de anclaje”, Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: [www.hilti.com/colombia|018000942142](http://www.hilti.com/colombia|018000942142)
- [35] Njmk, “Anclajes químicos y las barras de plantación química ,” Njmk. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <http://www.glueanchorbolt.com/news/1127.html>
- [36] El Pradillo, “ Pernos de anclaje y varilla roscada,” Laminados Asensio . Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.laminadosa.com/>
- [37] Onix Underground, “Perno autoperforante ,” Onix Underground. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.onixunderground.com/es/pernos-autoperforantes/>

- [38] Walraven Iberia, “Anclajes - Anclajes para cargas pesadas ,” Walraven Iberia. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.walraven.com/es/sistemas-de-fijacion/anclajes-para-cargas-pesadas/>
- [39] M. Liu *et al.*, “Experimental studies on thread-fixed one-side bolted endplate connection with internal strengthening structure,” *Eng Struct*, vol. 246, p. 112977, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2021.112977.
- [40] Y. You *et al.*, “Fire behavior of novel Thread-anchored One-side bolted connection with internal component,” *J Constr Steel Res*, vol. 194, p. 107337, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.JCSR.2022.107337.
- [41] P. Gregor, A. Mirzaghobanali, K. McDougall, N. Aziz, and B. Jodeiri Shokri, “Shear Behaviour of Fibreglass Rock Bolts for Various Pretension Loads,” *Rock Mech Rock Eng*, vol. 56, no. 11, pp. 8083–8113, Aug. 2023, doi: 10.1007/S00603-023-03474-1/FIGURES/30.
- [42] Q. Wang *et al.*, “Field Pull-Out Test and Analysis of Fiberglass Anchors in Sanshandao Gold Mine,” *Geofluids*, vol. 1, no. 1, 2022, doi: 10.1155/2022/5160876.
- [43] G. Sun, J. Hu, H. Wang, and D. Li, “Electrochemical Experiment to Evaluate the Impact of Multistage Load and Osmotic Pressure on Anchor Bolt,” *Geofluids*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/9405262.
- [44] K. L. Edra and G. B. Estores, “Influence of Basic Oxygen Furnace Slag (BOFS) as Partial Coarse Aggregate on the Pullout Strength of Cast-In-Place Anchor Bolt in Concrete,” *Civil Engineering and Architecture*, vol. 11, no. 5, pp. 3112–3124, Sep. 2023, doi: 10.13189/CEA.2023.110822.
- [45] M. H. B. Osman, L. Bin Imran, H. B. Tami, N. A. B. A. Rahman, and S. Bin Salim, “Anchor Bolt Position in Base Plate in Terms of T and J Anchor Bolt,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 97, Feb. 2017, doi: 10.1051/MATECCONF/20179701110.
- [46] C. D. Moen and S. R. Sharp, “Bond properties between concrete and corrosion-resistant reinforcing steels,” *ACI Struct J*, vol. 113, no. 2, pp. 383–392, Mar. 2016, doi: 10.14359/51688628.
- [47] X. Lv, “Corrosion behavior of ASTM A615 steel rebars embedded in concrete with ceramic waste dust as a partial replacement of portland cement,” *Int J Electrochem Sci*, vol. 15, pp. 7754–7762, 2020, doi: 10.20964/2020.08.36.
- [48] T. Qureshi *et al.*, “Graphene-based anti-corrosive coating on steel for reinforced concrete infrastructure applications: Challenges and potential,” *Constr Build Mater*, vol. 351, p. 128947, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128947.
- [49] B. Suquillo Ronquillo, E. Cabrera Álvarez, J. Chacón Sánchez, and M. Mayacela Rojas, “Implementación de un Software para el Diseño de Anclajes en Vigas y Columnas de

- Estructuras Metálicas,” *Investigación y Desarrollo*, vol. 16, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.31243/id.v16.2022.1803.
- [50] S. A. Pacheco Contreras, “Estudio analítico de placas base adaptadas con la Guía de diseño 1 del aisc, considerando columnas tubulares Huecas para el caso de un edificio de acero estructural De nueve niveles,” Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito, 2022.
- [51] D. Orozco Leon, “Programa para el diseño y revisión de placas base y anclas para columnas de acero,” Universidad de las Américas Puebla, Cholula, Puebla, 2009.
- [52] Y. H. Gan Li, M. weibin Si-ming, and H. Hai Long, “Analysis of deformation control mechanism of prestressed anchor on jointed soft rock in large cross-section tunnel,” *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 80, no. 12, pp. 9089–9103, Dec. 2021, doi: 10.1007/S10064-021-02470-5/METRICS.
- [53] E. L. Kreiger, M. A. Kreiger, and M. P. Case, “Development of the construction processes for reinforced additively constructed concrete,” *Addit Manuf*, vol. 28, pp. 39–49, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.ADDMA.2019.02.015.
- [54] V. Yepes Piqueras, “Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención,” *Colección Manual de referencia*, vol. 2, p. 480, 2020, Accessed: Nov. 07, 2023. [Online]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/11/criterios-basicos-de-eleccion-del-tipo-de-cimentacion/>
- [55] I. M. Sarmientos Cantos, “Propuesta alternativa de mampostería prefabricada en hormigón reforzado con fibras de plástico y acero, para paredes no estructurales en viviendas convencionales,” Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, 2021. Accessed: Nov. 07, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11893>
- [56] W. S. Pillajo Yugcha and W. A. Valdivieso Arcos, “Estudio teórico-experimental de las propiedades físico-mecánicas de la mampostería utilizando bloque de hormigón comercializado en la ciudad de Quito,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2022. Accessed: Nov. 07, 2023. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23512>
- [57] Servosis, “Máquina universal de ensayos, ¿qué es y por qué se llama así?,” Servosis. Accessed: Nov. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.servosis.com/maquina-universal-de-ensayos-que-es-y-por-que-se-llama-asi/>
- [58] J. Torres and J. Redondo, “Reparación y automatización de una máquina universal de ensayos Repairing and automation of a universal testing machine,” *Revista Ciencia e Ingeniería*, vol. 30, no. 2, pp. 171–179, 2009.
- [59] Metalinspec, “¿Qué es una máquina de pruebas universales?,” Metalinspec. Accessed: Nov. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/que-es-una-maquina-de-prueba-universal>

- [60] M. G. Altamirano-González, P. L. Rodríguez-Escobar, F. L. Manotoa-Balseca, and A. del P. Hidalgo-Calero, “Development of a control system for the automation of a universal testing machine,” *Ciencias Técnicas y Aplicadas*, vol. 8, no. 2, pp. 190–205, 2022.
- [61] Z. M. Hernández-Gómez, E. M. Castillo-Robles, J. A. Guerrero Narvaez, and D. A. Campo Ceballos, “Guía de usuario y mantenimiento-máquina universal de ensayos,” *Technical Report*, 2018, doi: 10.13140/RG.2.2.27382.42567.
- [62] F. Fuentes Espinoza, “Ensayos mecanicos en metales,” *UANL*, Mar. 1982.
- [63] A. M. Morán Menéndez, G. N. Parrales Cantos, and D. D. Carvajal Rivadeneira, “Bibliographic review on steel mill slag as a complement to Holcim Fuerte hydraulic cement,” *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 14, no. 2, pp. 219–232, Feb. 2021.
- [64] E. F. Aigaje Caiza, “Implementación de la norma ISO/IEC 17025:2017 aplicada a ensayos de tracción de la máquina Universal de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito,” Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito, 2020.
- [65] ASTM International, “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, E8/E8M,” *ASTM International*, 2019, doi: 10.1520/E0008\_E0008M-13A.
- [66] D. R. Askeland, P. P. Fulay, and W. J. Wright, “Ciencia e Ingenieria de materiales,” *Cengage Learning*, vol. 6, 2013.
- [67] I. Hernandez Negrin and E. A. Pérez Ruiz, “Análisis de simulación de esfuerzos y deformación plástica durante el contacto y deslizamiento de dos cuerpos,” *Scientia Et Technica*, vol. XIV, no. 39, pp. 147–152, 2008, Accessed: Dec. 12, 2023. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920503027>
- [68] E. E. Montijo Valenzuela and M. P. Martínez Rubio, “Cálculo de esfuerzos mediante simulación con elementos finitos: una herramienta para implementarse en ingeniería,” *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, vol. 4, no. 34, pp. 70–78, Jan. 2020, doi: 10.29018/ISSN.2588-1000VOL4ISS34.2020PP70-78.
- [69] V. P. Moran *et al.*, “Diseño de un Recipiente Toroidal de Fibra de Carbono para Automóviles a Hidrógeno usando el Método de Elementos Finitos y Deep Learning,” *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, vol. 2022-July, 2022, doi: 10.18687/LACCEI2022.1.1.602.
- [70] E. Arrieta, N. Romero, M. Torregroza, and I. Fuly, “Finite element method applied to magnetic flux analysis in large synchronous machines with short circuit faults in the rotor,” *Ingeniare*, vol. 30, no. 4, pp. 760–768, Dec. 2022, doi: 10.4067/S0718-33052022000400760.
- [71] Aragonesa, “Roscas unificadas (UNC/UNF/UNEF): Dimensiones y fórmulas,” *Machiningdoctor*. Accessed: Mar. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.machiningdoctor.com/es/charts/unified-inch-threads-charts/>

- [72] E. L. Kreiger, M. A. Kreiger, and M. P. Case, “Development of the construction processes for reinforced additively constructed concrete,” *Addit Manuf*, vol. 28, pp. 39–49, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.ADDMA.2019.02.015.
- [73] E. I. Villagrán Arroyo, C. Vera Mendoza, and A. E. Posada Sánchez, “Modelo esfuerzo - deformación para elementos de concretos reforzado que cumple con las hipótesis de las NTC RCDF 2004.,” *Concreto y cemento: Investigación y desarrollo*, ISSN 2395-809X, ISSN-e 2007-3011, Vol. 5, N°. 1, 2013, págs. 32-39, vol. 5, no. 1, pp. 32–39, 2013, Accessed: Mar. 13, 2024. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4934740&info=resumen&idioma=EN>
- [74] K. Ninčević and R. Wan-Wendner, “On the dependence of concrete edge breakout on concrete age and coarse aggregate type,” *Structural Concrete*, vol. 22, no. 5, pp. 2952–2966, Oct. 2021, doi: 10.1002/SUCO.202000653.
- [75] J. A. Pichardo Corpus, J. G. Contreras Nuño, and J. A. de la Peña, “Proporción y distribución de erratas en publicaciones científicas,” *Investigación bibliotecológica*, ISSN 0187-358X, ISSN-e 2448-8321, Vol. 33, N°. 80, 2019, págs. 97-116, vol. 33, no. 80, pp. 97–116, 2019, Accessed: Mar. 13, 2024. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7487196&info=resumen&idioma=EN>
- [76] C. Fang, K. Lundgren, M. Plos, and K. Gylltoft, “Bond behaviour of corroded reinforcing steel bars in concrete,” *Cem Concr Res*, vol. 36, no. 10, pp. 1931–1938, Oct. 2006, doi: 10.1016/J.CEMCONRES.2006.05.008.

## 6.4 Anexos

### Ensayos de corte



## UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2 522-655 CASILLA: 17-03-1650  
Quito

### RESULTADOS DE LOS ENSAYOS POR CORTE SIMPLE REALIZADOS SOBRE VARILLA CORRUGADA ROSCADA

INFORME: 16594

HOJA : 1 DE 1

| DATOS INFORMATIVOS:  |                                   |            |            |            |
|--|-----------------------------------|------------|------------|------------|
| OBRA:  | SOLICITADO POR:                   | FECHAS:    |            |            |
|  |                                   | RECEPCION  | ENSAYO     | INFORME    |
| ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA VARILLA ASTM A615 COMO PERNO DE ANCLAJE EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS | ING. LUIS JAIME FERNANDEZ SANCHEZ | 11/12/2023 | 06/12/2023 | 11/12/2023 |

| DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS: |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| MATERIAL:                    | ACERO                                |
| DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:   | VARILLA CORRUGADA, CORTADA Y ROSCADA |
| MARCA:                       | VARIOS                               |
| FECHA DE MUESTREO:           | NO ESPECIFICADA                      |
| LUGAR DE MUESTREO:           | NO ESPECIFICADO                      |

| No. | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | DIAMETRO PROMEDIO (mm) |               | ÁREA (mm <sup>2</sup> ) | CARGA (N) | RESIST. A CORTE (Mpa) |
|-----|------------------------------|------------------------|---------------|-------------------------|-----------|-----------------------|
|     |                              | COMERCIAL              | ROSCA INTERNA |                         |           |                       |
| 1   | MUESTRA 01 NOVACERO          | 16,0                   | 13,4          | 141,0                   | 73570,6   | 521,7                 |
| 2   | MUESTRA 02 NOVACERO          | 16,0                   | 13,1          | 134,8                   | 76661,9   | 566,0                 |
| 3   | MUESTRA 03 NOVACERO          | 16,0                   | 13,6          | 143,3                   | 76664,8   | 529,1                 |
| 4   | MUESTRA 04 ADELCA            | 16,0                   | 13,2          | 135,8                   | 67265,1   | 495,4                 |
| 5   | MUESTRA 05 NOVACERO          | 16,0                   | 13,4          | 140,0                   | 64142,4   | 456,2                 |
| 6   | MUESTRA 06 NOVACERO          | 20,0                   | 16,7          | 216,4                   | 112956,9  | 517,2                 |
| 7   | MUESTRA 07 NOVACERO          | 20,0                   | 15,6          | 191,1                   | 111064,3  | 581,1                 |
| 8   | MUESTRA 08 NOVACERO          | 20,0                   | 15,9          | 197,9                   | 121332,9  | 613,0                 |
| 9   | MUESTRA 09 NOVACERO          | 20,0                   | 16,6          | 215,1                   | 112580,0  | 523,3                 |
| 10  | MUESTRA 10 NOVACERO          | 20,0                   | 16,0          | 200,4                   | 111481,1  | 556,2                 |

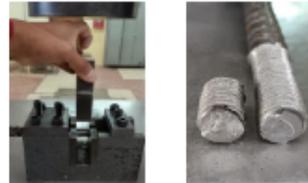
#### OBSERVACIONES:

- La sección resistente a la carga es calculada promediando 4 lecturas de diámetro, en la zona de falla
- Técnico encargado del ensayo: Ing. Daniel Amaguaña

#### ESQUEMA DE CARGA



#### FOTOGRAFÍA "TIPO" DEL ENSAYO



ING. JORGE FRAGA MSC.  
DIRECTOR DE LABORATORIO (E)

\*Documento válido únicamente con el sello seco de la institución. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total del documento

# Ensayos de tracción



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

| INFORME DE RESULTADOS                  |  |               |                         |               |               |
|--|--|---------------|-------------------------|---------------|---------------|
| ENSAYO DE TRACCIÓN                     |  |               | Denominación: RG 18 - 1 |               |               |
| N° 01                                  |  |               |                         |               |               |
| SOLICITADO POR:                        | Ing. Luis Fernández  |               |                         |               |               |
| PROYECTO DE TESIS:                     | "ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA VARILLA ASTM A615 COMO PERNO DE ANCLAJE EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS" |               |                         |               |               |
| DIRECCION:                             | UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA UNIDAD DE POSTGRADOS  |               |                         |               |               |
| TIPO DE MATERIAL:                      | VARILLA CORRUGADA - ROSCADA  |               |                         |               |               |
| MATERIAL:                              | ACERO ASTM A615  |               |                         |               |               |
| NORMA UTILIZADA:                       | ASTM E8  |               |                         |               |               |
| FECHA DE ENSAYO:                       | 30-nov-23  |               |                         |               |               |
| EQUIPO UTILIZADO:                      | MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B   |               |                         |               |               |
| MARCA:                                 | JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD   |               |                         |               |               |
| SERIE: 7136                            | CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D   |               |                         | CÓD IDENT: M2 |               |
| NÚMERO DE LA MUESTRA                   | 01   | 02            | 03                      | 04            | 05            |
| DESIGNACIÓN DEL MATERIAL               | P1-D5/8  | P2-D5/8       | P3-D5/8                 | P4-D5/8       | P5-D5/8       |
| CARACTERÍSTICA                         | barra roscada  | barra roscada | barra roscada           | barra roscada | barra roscada |
| DIÁMETRO [mm]                          | 12,95  | 13,41         | 13,5                    | 13,07         | 13,72         |
| LONGITUD INICIAL [mm]                  | 50   | 50            | 50                      | 50            | 50            |
| SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ] | 131,71   | 141,24        | 143,14                  | 134,17        | 147,84        |
| MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]            | 2,709,E+02   | 2,484,E+02    | 2,582,E+02              | 1,949,E+02    | 2,045,E+02    |
| CARGA DE FLUENCIA [kN]                 | 71,34  | 69,72         | 77,00                   | 69,46         | 71,42         |
| ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]             | 541,63   | 493,64        | 537,94                  | 517,72        | 483,08        |
| CARGA MAXIMA [kN]                      | 88,66  | 93,06         | 90,54                   | 89,94         | 94,20         |
| ESFUERZO MAXIMO [MPa]                  | 673,13   | 658,89        | 632,53                  | 670,36        | 637,16        |
| PORCENTAJE DE ELONGACION [%]           | 2,00   | 4,50          | 3,00                    | 3,00          | 4,00          |
| TIPO DE FRACTURA                       | H  | H             | P.T.C                   | H             | H             |
| OBSERVACIONES:                         | P.T.C = PARCIAL DE TAZA Y CONO<br>H = HORIZONTAL   |               |                         |               |               |

Aprobado por:

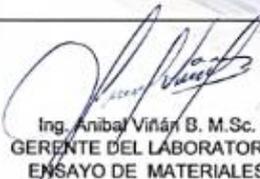
  
**Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.**  
**GERENTE DEL LABORATORIO**  
**ENSAYO DE MATERIALES**

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

| INFORME DE RESULTADOS                  |  |               |                         |               |               |
|--|--|---------------|-------------------------|---------------|---------------|
| ENSAYO DE TRACCIÓN                     |  |               | Denominación: RG 18 - 1 |               |               |
| N° 02                                  |  |               |                         |               |               |
| SOLICITADO POR:                        | Ing. Luis Fernández  |               |                         |               |               |
| PROYECTO DE TESIS:                     | "ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA VARILLA ASTM A615 COMO PERNO DE ANCLAJE EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS" |               |                         |               |               |
| DIRECCION:                             | UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA UNIDAD DE POSTGRADOS  |               |                         |               |               |
| TIPO DE MATERIAL:                      | VARILLA CORRUGADA - ROSCADA  |               |                         |               |               |
| MATERIAL:                              | ACERO ASTM A615  |               |                         |               |               |
| NORMA UTILIZADA:                       | ASTM E8  |               |                         |               |               |
| FECHA DE ENSAYO:                       | 30-nov-23  |               |                         |               |               |
| EQUIPO UTILIZADO:                      | MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B   |               |                         |               |               |
| MARCA:                                 | JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD   |               |                         |               |               |
| SERIE: 7136                            | CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D   |               |                         | CÓD IDENT: M2 |               |
| NÚMERO DE LA MUESTRA                   | 06   | 07            | 08                      | 09            | 10            |
| DESIGNACIÓN DEL MATERIAL               | P6-D3/4  | P7-D3/4       | P8-D3/4                 | P9-D3/4       | P10-D3/4      |
| CARACTERÍSTICA                         | barra roscada  | barra roscada | barra roscada           | barra roscada | barra roscada |
| DIÁMETRO [mm]                          | 15,68  | 15,44         | 15,6                    | 15,47         | 16,58         |
| LONGITUD INICIAL [mm]                  | 50   | 50            | 50                      | 50            | 50            |
| SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ] | 193,10   | 187,23        | 191,13                  | 187,96        | 215,90        |
| MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]            | 2,684,E+02   | 2,486,E+02    | 1,965,E+02              | 1,876,E+02    | 1,872,E+02    |
| CARGA DE FLUENCIA [kN]                 | 89,70  | 143,92        | 129,16                  | 90,42         | 99,32         |
| ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]             | 464,53   | 768,66        | 675,75                  | 481,05        | 460,02        |
| CARGA MAXIMA [kN]                      | 129,70   | 152,92        | 130,54                  | 134,76        | 148,30        |
| ESFUERZO MAXIMO [MPa]                  | 671,67   | 816,73        | 682,97                  | 716,95        | 686,88        |
| PORCENTAJE DE ELONGACION [%]           | 2,00   | 3,50          | 4,00                    | 2,50          | 2,00          |
| TIPO DE FRACTURA                       | D  | P.T.C         | H                       | D             | D             |
| OBSERVACIONES:                         | P.T.C = PARCIAL DE TAZA Y CONO<br>H = HORIZONTAL      D = DIAGONAL   |               |                         |               |               |

Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñan B. MsC.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

## **Ensayos metalográficos**

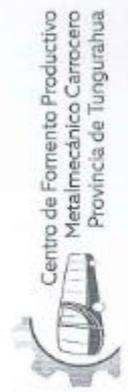


HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Centro CF-AR-AM-183-009  
Fecha de Elaboración: 2014-05-22  
Fecha de última aprobación: 2022-02-09  
Revisión: 2

Las muestras ensayadas por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMCPT no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

|   |   |
|---|---|
|                          |  |
| <b>Elaborado por:</b><br>Ing. Fernando Tibán R.<br>Analista Técnico Area de Ensayos e Inspecciones CFPMCPT. | <b>Aprobado por:</b><br>Ing. Lúis Mayorga G. Meng.<br>Administrador CFPMCPT.        |
| Cliente   |   |



HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

**HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

**Informe N°:** 176112185220231212-AMI.

**DATOS DEL CLIENTE**

**Empresa/Cliente:** Luis Jaime Fernández Sánchez.

**Dirección:** Juan Benigno Vela y Gueyaquil.

**Núm. de cédula/RUC:** 1761121852.

**Teléfono:** +593983487656.

**E-mail:** kaskempa83@gmail.com.

**DATOS INFORMATIVOS**

**Laboratorio:** Análisis Metalográfico

**Designación del material:**

**Material metálico:** ASTM A615.

**Método de ensayo:**

ASTM E3-2011: Guía estándar para la preparación de muestras metalográficas.  
 ASTM E407-2007: Ataque químico. Práctica estándar para metales y aleaciones.

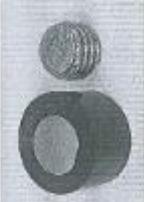
| N° | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA INGRESO | FECHA ELIMINACIÓN | RESPONSABLE | OBSERVACIONES          | EVIDENCIAS  |
|----|------------------------------|---------------|-------------------|-------------|------------------------|---|
| 1  | 176112185220231212-AMI 01    | 2023/12/12    | 2023/12/18        | Cliente     | Se entrega al cliente. |   |
| 2  | 176112185220231212-AMI 02    | 2023/12/12    | 2023/12/18        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |

Figura 3. Microestructura magnificada a 500X, NITAL al 4%, 50 seg.

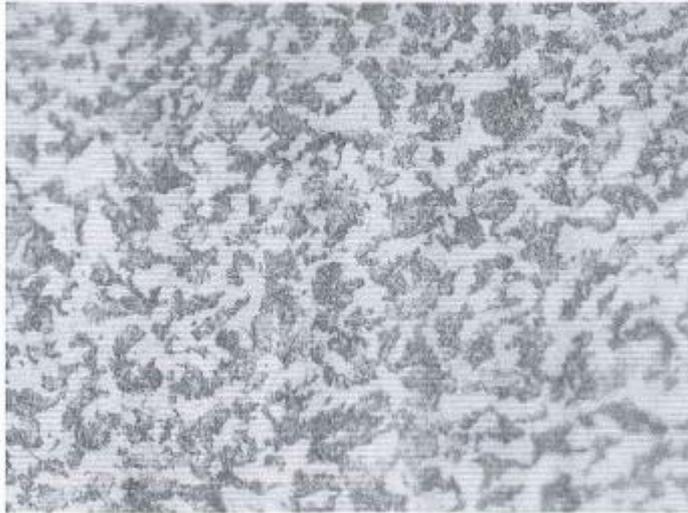


Figura 4. Microestructura magnificada a 1000X, NITAL al 4%, 50 seg.



Observaciones del ensayo: Ninguna

176112185220231212-AMI 02

Figura 1. Microestructura magnificada a 100X, NITAL al 4%, 50 seg.

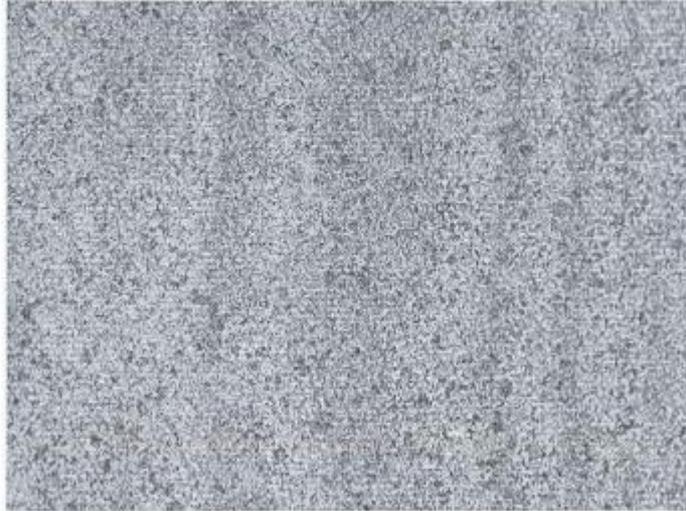


Figura 2. Microestructura magnificada a 200X, NITAL al 4%, 50 seg.

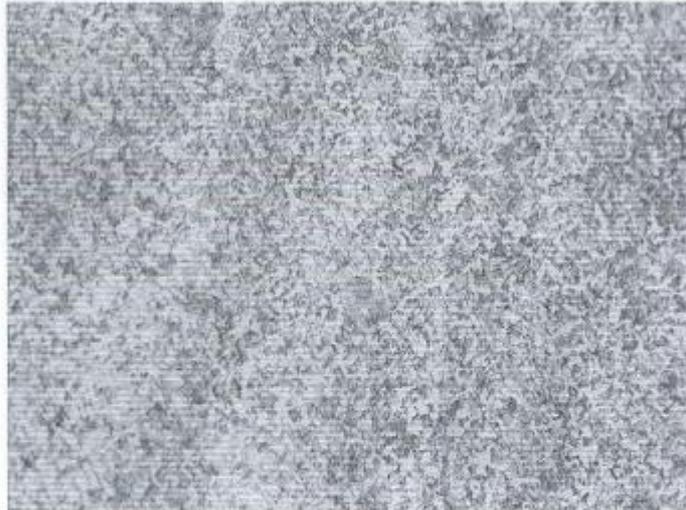


Figura 3. Microestructura magnificada a 500X, NITAL al 4%, 50 seg.

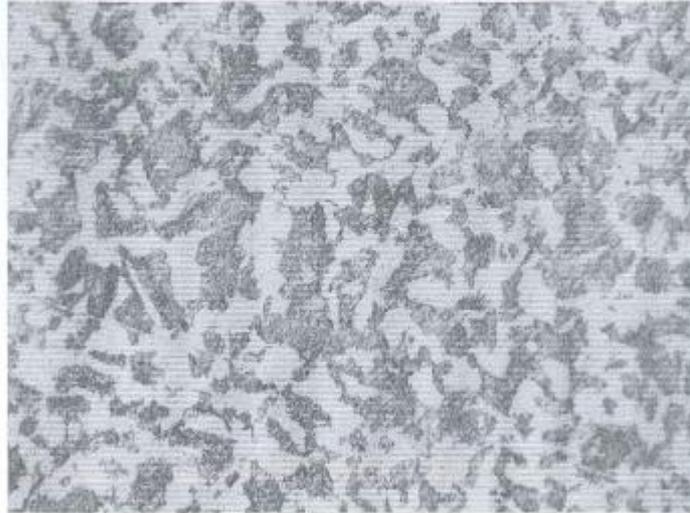
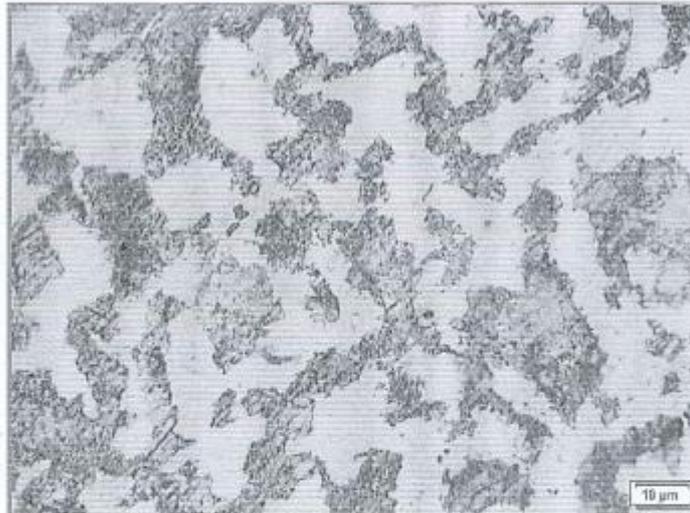


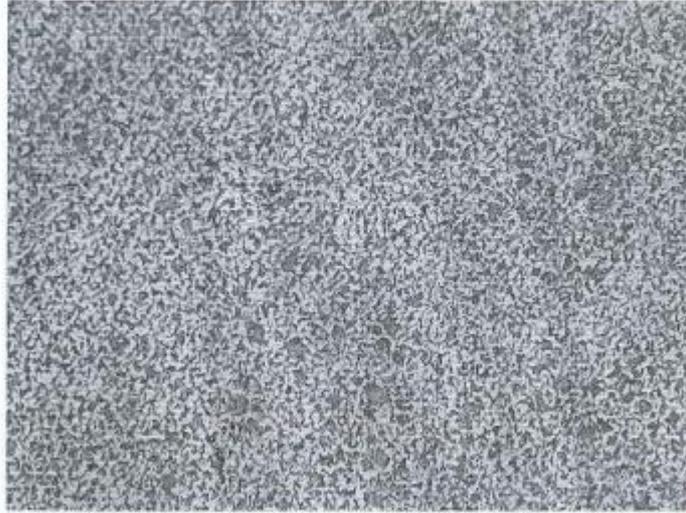
Figura 4. Microestructura magnificada a 1000X, NITAL al 4%, 50 seg.



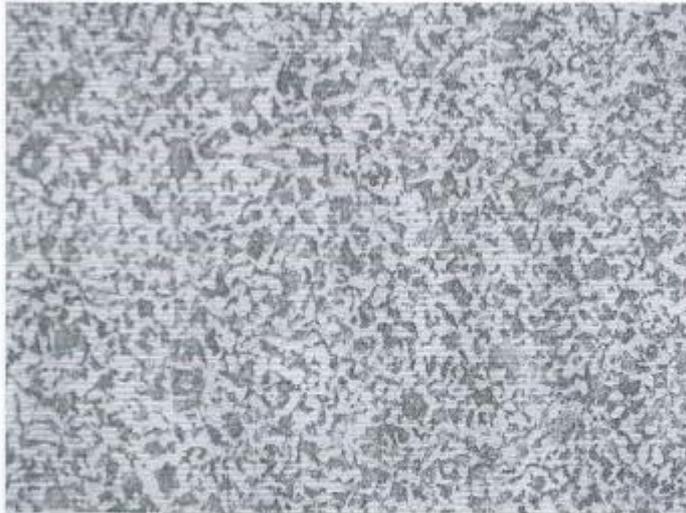
**RESULTADOS OBTENIDOS**

176112185220231212-AMI 01

**Figura 1.** Microestructura magnificada a 100X, NITAL al 4%, 50 seg.



**Figura 2.** Microestructura magnificada a 200X, NITAL al 4%, 50 seg.



401#

**LABORATORIO DE ANÁLISIS METALGRÁFICO**  
**INFORME DE PREPARACIÓN Y ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL**  
**INFORME DE RESULTADOS N°: 176112185220231212-AMI.**

**DATOS GENERALES**

**N° de proforma:** AM\_2023\_013.  
**Empresa/Cliente:** Luis Jaime Fernández Sánchez.  
**RUC/C.I.:** 1761121852. **Teléfono:** +593983487656.  
**Dirección:** Juan Benigno Vela y Guayaquil.  
**E-mail:** kaskempa93@gmail.com.  
**DATOS DEL ENSAYO:**  
**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Análisis Metalográfico.  
**Dirección:** Santo Domingo y Río de Janeiro. Catiglata/Ambato.  
**Métodos de ensayos:**  
ASTM E3-2011: Guía estándar para la preparación de muestras metalográficas.  
ASTM E407-2007: Ataque químico. Práctica estándar para metales y aleaciones.  
**Equipo utilizado:** Microscopio Metalográfico Olympus.  
**Modelo:** BX41M-LED. **Serie:** 4A42787  
**Ataque químico de la superficie con:** Nital al 4%.  
**Tiempo de ataque:** 50 seg.  
**Fecha Inicio de Ensayo:** 2023/12/15. **Fecha Finalización de Ensayo:** 2023/12/18.  
Las imágenes obtenidas en el presente informe corresponden al ensayo realizado en **probetas de metálico: ASTM A615**. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Análisis Metalográfico del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero de la Provincia de Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas**

| N°           | Identificación de probetas | Material   | Probetas a ensayar |
|--------------|----------------------------|------------|--------------------|
| 1            | 176112185220231212-AMI 01  | ASTM A615. | 1                  |
| 2            | 176112185220231212-AMI 02  | ASTM A615. | 1                  |
| <b>Total</b> |                            |            | <b>2</b>           |

**Observaciones:** La fabricación de las probetas en tipo, cantidad y configuración es declarada por el cliente.  
**Nota:** Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser reproducido total ni parcialmente.

|   |  |   |
|---|--|---|
|   |  |   |
| <b>Elaborado por:</b><br>Ing. Fernando Tibán R.<br>Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPT. | <b>Revisado por:</b><br>Ing. David Romero C.<br>Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPT. | <b>Aprobado por:</b><br>Ing. Luis Mayorga MEng.<br>Administrador CFPMCPT. |

**Lugar y fecha de emisión de informe:** Ambato, 18 de diciembre de 2023.  
**N° de factura:** 001-001-000000068.

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 176112185220231212-AMI.

**DATOS DEL CLIENTE**

Empresa/Cliente: Luis Jaime Fernández Sánchez.

Dirección: Juan Benigno Vela y Guayaquil.

Núm. de cédula/RUC: 1761121852. Teléfono: +593983487658.

E-mail: kaskempa93@gmail.com.

**DATOS INFORMATIVOS**

Laboratorio: Análisis Metalográfico

Designación del material:  
Material metálico: ASTM A615.

Método de ensayo:  
ASTM E3-2011: Guía estándar para la preparación de muestras metalográficas.  
ASTM E407-2007: Ataque químico. Práctica estándar para metales y aleaciones.

Número de Probetas cuantificadas:

| N°           | Identificación de probetas | Material   | Probetas a ensayar |
|--------------|----------------------------|------------|--------------------|
| 1            | 176112185220231212-AMI 01  | ASTM A615. | 1                  |
| 2            | 176112185220231212-AMI 02  | ASTM A615. | 1                  |
| <b>Total</b> |                            |            | <b>2</b>           |

Nota: La fabricación de las probetas en tipo, configuración y cantidad es declarada por el cliente.

## CAPÍTULO VI

### PROPUESTA

#### 7.1 Título

Optimización de los tratamientos térmicos para mejorar la ductilidad de los pernos de anclaje fabricados con material ASTM A615.

#### 7.2 Descripción

Esta propuesta se centrará en investigar y desarrollar técnicas de tratamiento térmico que permitan mejorar las propiedades mecánicas de los pernos de anclaje, específicamente su ductilidad, dado que estos pernos de anclaje son elementos esenciales en diversas estructuras de construcción, que proporcionan estabilidad y resistencia a las cargas aplicadas. El material ASTM A615, utilizado comúnmente en la fabricación de estos pernos, se caracteriza por sus propiedades mecánicas superiores en términos de tracción y corte, sin embargo, su ductilidad puede ser un factor limitante.

Esta investigación se enfocará en estudiar las técnicas de tratamiento térmico que pueden ser aplicadas a los pernos de anclaje de material ASTM A615, con el objetivo de mejorar su ductilidad sin comprometer otras propiedades mecánicas importantes. Se analizarán diferentes parámetros de tratamiento térmico, como la temperatura, el tiempo de tratamiento, la velocidad de enfriamiento, entre otros, con el fin de determinar la combinación óptima que maximice la ductilidad del material.

El estudio incluirá la revisión exhaustiva de literatura técnica y normativa relacionada con los tratamientos térmicos, las propiedades del material ASTM A615 y los requisitos de ductilidad en aplicaciones de anclaje. Además, se llevarán a cabo pruebas experimentales para evaluar el efecto de los tratamientos térmicos en la ductilidad de los pernos de anclaje, utilizando técnicas de caracterización mecánica y metalográfica.

Los resultados obtenidos de esta investigación proporcionarán una comprensión más profunda de cómo los tratamientos térmicos pueden influir en la ductilidad de los pernos de anclaje fabricados con material ASTM A615, y permitirán desarrollar recomendaciones prácticas para la optimización de estos tratamientos, contribuyendo así a mejorar la calidad y la seguridad en la construcción de estructuras.

##### 7.2.1 Problemática

La preocupación en la industria de la construcción se centra en la ductilidad limitada de los pernos de anclaje fabricados con material ASTM A615. A pesar de las propiedades mecánicas superiores en tracción y corte de este material, su falta de ductilidad podría restringir la integridad estructural y la resistencia a diversas cargas, incluidas las sísmicas. La baja ductilidad de estos pernos puede afectar su capacidad para absorber energía durante eventos de carga extrema, lo que aumenta el

riesgo de fallos estructurales graves, amenazando la seguridad tanto de los edificios como de sus ocupantes.

La falta de ductilidad en los pernos de anclaje de material ASTM A615 constituye una inquietud relevante en la industria de la construcción. Aunque este material destaca por sus propiedades mecánicas superiores en tracción y corte, su limitada ductilidad plantea desafíos para la integridad estructural y la resistencia a cargas sísmicas y otras fuerzas. Esta carencia puede comprometer la capacidad de absorber energía durante eventos de carga extrema, aumentando así el riesgo de fallos estructurales graves y poniendo en peligro la seguridad de los edificios y sus ocupantes.

### **7.2.2 Justificación**

La optimización de los tratamientos térmicos para mejorar la ductilidad de los pernos de anclaje fabricados con material ASTM A615 es esencial para abordar esta problemática. Estos pernos son elementos fundamentales en la estabilidad y la resistencia de diversas estructuras de construcción. Al mejorar su ductilidad sin comprometer otras propiedades mecánicas importantes, se puede garantizar una mayor capacidad de absorción de energía durante eventos de carga extrema, lo que a su vez mejora la resistencia a la fatiga y a las cargas sísmicas, contribuyendo a la seguridad estructural y al cumplimiento de normativas de construcción vigentes.

Este estudio, además de ofrecer una comprensión más profunda sobre la influencia de los tratamientos térmicos en la ductilidad de los pernos de anclaje, facilitará la formulación de recomendaciones prácticas para mejorar estos procesos. Estas sugerencias no solo mejorarán la calidad de los pernos, sino que también fortalecerán la seguridad en la construcción de estructuras. La investigación permitirá comprender los efectos de los tratamientos térmicos en la ductilidad, y también se propone proporcionar soluciones tangibles y efectivas que puedan aplicarse en la práctica, beneficiando así a la industria de la construcción en su conjunto.

### **7.2.3 Antecedente**

Según Gansino Llanos y Tapia Mantilla [77] en su estudio proporciona información valiosa sobre la resistencia mecánica de pernos de anclaje utilizados en estructuras metálicas. Se observa que se han llevado a cabo ensayos a tracción en diferentes tipos de pernos, incluidos aquellos fabricados mediante procesos de mecanizado y laminado, así como aquellos sometidos a procesos de galvanizado tropicalizado. Los resultados de las pruebas muestran que los pernos de 3/8" mecanizados sin recubrimiento, 1/2" laminados galvanizados, M8 laminados galvanizados y M10 laminados galvanizados exhiben los valores más altos en carga máxima, resistencia a la tracción y límite elástico.

Estos hallazgos son relevantes para la propuesta debido que destacan la importancia de considerar no solo el material base de los pernos de anclaje, sino también los procesos de fabricación y tratamiento superficial en la determinación de sus propiedades mecánicas. Además, sugieren que los tratamientos térmicos podrían ser una herramienta efectiva para mejorar la ductilidad de los

pernos de anclaje, especialmente cuando se combinan con otros procesos de fabricación como el laminado galvanizado [77].

Sin embargo, es importante tener en cuenta que este estudio se centró en pernos de anclaje de hasta 1/2" de diámetro, lo que puede limitar la generalización de los resultados a pernos de mayores dimensiones. Además, la ausencia de pernos de 3/8" en rosca completa en el mercado puede plantear limitaciones en la aplicación directa de estos resultados. Por lo tanto, la presente investigación debe abordar estas consideraciones adicionales al diseñar y llevar a cabo sus experimentos para optimizar los tratamientos térmicos de los pernos de anclaje ASTM A615.

Este estudio de acero proporciona información valiosa para la investigación sobre la optimización de tratamientos térmicos para mejorar la ductilidad de los pernos de anclaje fabricados con material ASTM A615. En el análisis previo, se destaca la importancia crítica del sistema de anclaje en las estructuras de acero para la disipación de energía y la prevención de daños graves. Se identifica una necesidad de garantizar que los anclajes alcancen un comportamiento no lineal para cumplir eficazmente su función de disipación de energía [78].

Esto resalta la relevancia directa de la investigación propuesta, que busca mejorar la ductilidad de los pernos de anclaje mediante tratamientos térmicos optimizados. Al aumentar la ductilidad de los pernos de anclaje, se puede mejorar su capacidad para absorber energía durante eventos de carga extrema, como terremotos o cargas de viento, lo que contribuye a una mayor resistencia y seguridad estructural. Además, el enfoque en la optimización de tratamientos térmicos específicamente para el material ASTM A615 es fundamental, pues este material es comúnmente utilizado en la fabricación de pernos de anclaje. Al mejorar la ductilidad de estos pernos, se puede mejorar significativamente su desempeño en estructuras de acero, contribuyendo así a la seguridad y la calidad de las construcciones [78].

Asimismo, Sola Marcillo [79] en su investigación destaca la importancia de conceptualizar las propiedades de los materiales en tres aspectos fundamentales: físico, químico y mecánico. Estos aspectos ayudan a caracterizar cada clase de material mediante diferentes pruebas, considerando la rigurosidad del ensayo, la naturaleza del ensayo, la utilidad de la pieza después de ser sometida al ensayo y la velocidad de aplicación de los esfuerzos. La investigación de las tendencias tecnológicas actuales en materiales es crucial tanto a nivel mundial como en el Ecuador. El uso de materiales está vinculado a la producción industrial nacional contemporánea, donde se busca desarrollar productos con propiedades específicas que se adapten al éxito económico del país.

La selección de materiales se realiza considerando parámetros fundamentales como el diseño, el costo y el impacto ambiental, bajo normas establecidas por entidades rectoras del mundo. Se destaca la aparición de paquetes informáticos que facilitan la selección óptima y rápida de materiales. El control de materiales se lleva a cabo mediante ensayos o pruebas que determinan el rendimiento de un material bajo ciertos parámetros de carga, regidos por normas específicas que establecen el proceso del ensayo en particular. Esta investigación proporciona una base sólida

para comprender la importancia de la optimización de tratamientos térmicos en la mejora de la ductilidad de los pernos de anclaje fabricados con material ASTM A615. Al entender las propiedades y características de los materiales, se pueden desarrollar técnicas de tratamiento térmico que maximicen la ductilidad sin comprometer otras propiedades mecánicas importantes, contribuyendo así a la seguridad y calidad de las estructuras de construcción [79].

Finalmente, Vélez Manrique y Villacrés, aborda el análisis y evaluación de los principales errores presentes en estructuras de acero, con el objetivo de ofrecer soluciones específicas para cada uno de ellos. Se destaca la falta de conocimiento en la fabricación y montaje de estas estructuras, así como la falta de aplicación de suplementos sísmicos, lo que constituye la base del problema. Además, se menciona que la Norma Ecuatoriana de la Construcción no es seguida adecuadamente por todos los agentes involucrados en la obra, debido a diversas razones como la falta de formación adecuada o la consideración de restricciones de tiempo y presupuesto [80].

Con esto se obtuvo una base relevante para la investigación sobre la optimización de tratamientos térmicos para mejorar la ductilidad de los pernos de anclaje fabricados con material ASTM A615 en estructuras de acero. La falta de conocimiento y cumplimiento de normativas en la construcción de estructuras de acero puede llevar a la aparición de errores y problemas, incluidos aquellos relacionados con la integridad y seguridad de los pernos de anclaje. Por lo tanto, el análisis detallado de estos errores y la propuesta de soluciones específicas contribuirá al desarrollo de prácticas más seguras y eficientes en la construcción de estructuras de acero, incluyendo la mejora de la ductilidad de los pernos de anclaje mediante tratamientos térmicos optimizados [80].

### **7.3 Objetivos**

#### **7.3.1 Objetivo general**

Realizar un estudio de los tratamientos térmicos aplicables a los pernos de anclaje fabricados con material ASTM A615, con el propósito de mejorar su ductilidad y cumplir con las normas de construcción vigentes.

#### **7.3.2 Objetivos específicos**

- Investigar las propiedades mecánicas y características del material ASTM A615 utilizado en la fabricación de pernos de anclaje.
- Analizar los requisitos y normativas relacionadas con la ductilidad de los pernos de anclaje en la industria de la construcción.
- Identificar y evaluar diferentes técnicas de tratamientos térmicos aplicables a los pernos de anclaje de material ASTM A615.
- Realizar pruebas experimentales para determinar el efecto de los tratamientos térmicos en la ductilidad de los pernos de anclaje.

## **7.4 Desarrollo de la propuesta**

El desarrollo de la propuesta de optimización de tratamientos térmicos para mejorar la ductilidad de los pernos de anclaje fabricados con material ASTM A615 se llevará a cabo en varias etapas:

### **7.4.1 Investigación Preliminar**

Para el desarrollo de la presente propuesta se realizará una revisión de la literatura técnica y normativa que se acoplen con los tratamientos térmicos del acero ASTM A615 y los requisitos de ductilidad en aplicaciones de anclaje. Esta investigación aportará una base sólida para entender el estado actual e identificar las áreas que requieren investigación adicional.

### **7.4.2 Diseño Experimental**

Seguidamente, se diseñarán y planificarán los experimentos que ayuden en la evaluación de los efectos que tienen los tratamientos térmicos en la ductilidad de los pernos de anclaje, aquí se analizará la temperatura, el tiempo de tratamiento y la velocidad de enfriamiento, como también se investigaran las técnicas de caracterización mecánica necesarias para evaluar la ductilidad del material.

### **7.4.3 Pruebas Experimentales**

Se llevarán a cabo experimentos prácticos con el uso de pernos de anclaje fabricados con acero ASTM A615 en entornos controlados para evaluar los impactos de los diversos tratamientos térmicos en su ductilidad. Se emplearán técnicas de análisis mecánico y metalográfico para examinar las modificaciones en las propiedades del material antes y después de la aplicación de los tratamientos térmicos.

### **7.4.4 Análisis de Resultados**

Los resultados obtenidos del estudio se analizarán de manera minuciosa y así determinar el impacto de los tratamientos térmicos en la ductilidad de los pernos de anclaje, con ello se identificarán posibles combinaciones para un correcto tratamiento térmico que no comprometa las propiedades mecánicas de los materiales.

### **7.4.5 Desarrollo de Recomendaciones**

En base a los resultados obtenidos de análisis se desarrollarán las recomendaciones prácticas que servirán para la optimización de los tratamientos térmicos en la elaboración de los pernos de anclaje con el acero ASTM A615, esto contribuirá para tener una mejor calidad y seguridad en la construcción y así prevenir fallas estructurales y garantizar la integridad y resistencia de la construcción