

**Universidad Central de Costa Rica**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Estudio técnico sobre requisitos presentes en barras y alambres de  
acero para refuerzo de concreto y mampostería estructural de  
elementos sismorresistentes utilizados en Costa Rica**

Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

**Estudiante:**

**Jafeth Siles Calvo**

**Tutor:**

**Ing. Lincoln Sánchez Hernández**

Sede Central

Abril, 2022

## Tabla de Contenido

Capítulo 1 .....	1
Introducción .....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Pregunta de investigación .....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos .....	3
1.4 Justificación .....	3
1.5 Antecedentes .....	5
1.5.1 Documentos nacionales .....	5
1.5.2 Documentos internacionales .....	8
1.6 Proyecciones .....	10
1.6.1 Alcances .....	10
1.6.2 Limitaciones.....	15
1.6.2.1 Económica.....	15
1.6.2.2 Equipos de ensayo.....	16
1.6.2.3 Proveedores.....	16
1.6.2.4 Restricciones sanitarias y de salud.....	17
Capítulo 2 .....	18
Marco teórico .....	18
2.1.1 Propiedades de los materiales empleados en construcción.....	18
2.1.2 Tensión y deformación en los materiales.....	22
2.1.3 Generalidades del ensayo de tracción en los materiales metálicos.....	24
2.1.4. Propiedades mecánicas obtenidas del ensayo de tracción .....	28
2.2.1 Caracterización de los materiales mediante las pruebas de metalografía.....	32
2.2.2 Subdivisión de las pruebas en metalografía.....	33
2.2.3 Pasos del ensayo de metalografía .....	35
2.2.3.1 Corte y extracción de la muestra.....	36
2.2.3.2 Montaje metalográfico .....	37
2.2.3.3 Desbaste de las muestras.....	39
2.2.3.4 Pulido metalográfico.....	40

2.2.3.5 Ataque químico .....	41
2.2.3.6 Evaluación de los resultados metalográficos .....	41
Capítulo 3 .....	44
3.1 Marco metodológico .....	44
3.1.1 Enfoque de la investigación .....	44
3.1.2 Método de investigación .....	44
3.1.3 Sujetos y fuentes de información .....	45
3.1.3 Técnicas e instrumentos de recolección de la información .....	46
Capítulo 4 .....	51
4.1 Resultados experimentales y análisis .....	51
4.1.1 Mercado de producto .....	51
4.1.2 Variación de la masa .....	60
4.1.3 Requisitos de la corrugación .....	67
4.1.3.1 Espaciamiento de la corrugación .....	68
4.1.3.2 Altura promedio de la corrugación .....	73
4.1.3.3 Determinación de la suma máxima del cordón .....	79
4.1.4 Requisitos de tracción .....	85
4.1.5 Caracterización metalográfica .....	115
Capítulo 5 .....	129
5.1 Conclusiones .....	129
5.2 Recomendaciones .....	131
5.3 Bibliografía .....	132
5.4 Anexo .....	135
Reglamento Técnico Nacional .....	135

## Tabla de Imágenes

Imagen 1. Equipo de espectrometría bajo la técnica de descarga luminiscente, marca LECO, modelo GDS500A, para la determinación de la composición química de aleaciones ferrosas.....	20
Imagen 2. Durómetro de banco Marca Mitutoyo, modelo HR-522, para la determinación de los valores de las propiedades mecánicas de dureza mediante la técnica de la indentación.....	22
Imagen 3. Máquina de ensayos universales marca Zwick Roell, modelo Z250, de tipo mecánico.....	27
Imagen 4. Máquina de ensayos universales marca Zwick Roell, modelo SP1000, de tipo hidráulico.....	27
Imagen 5. Gráfica generada durante una prueba de tracción para una muestra de acero en donde es posible observar las líneas de estimación del esfuerzo de fluencia.....	30
Imagen 6. Gráfica generada durante una prueba de tracción para una muestra en donde se indica con un punto rojo el valor de resistencia máxima alcanzado por el material, el cual presenta un valor de 622,64 MPa, según el registro automático del equipo de ensayo.....	31
Imagen 7. Verificación y marcado de una longitud de control $L_0$ de 200 mm para la determinación del porcentaje de elongación en una muestra de barra de acero para refuerzo de concreto mediante una prueba de tracción.....	32
Imagen 8. Equipo tronzador con sistema de refrigeración para el corte de segmentos destinados a las pruebas metalográficas.....	37
Imagen 9. Equipo termoformador para el encapsulamiento de las muestras para las pruebas metalográficas.....	38
Imagen 10. Equipo de desbaste automático de las muestras para las pruebas metalográficas.....	39
Imagen 11. Equipo de pulido manual de las muestras para las pruebas metalográficas.....	40
Imagen 12 . Metalografía de una muestra de acero posterior a su ataque químico con Nital al 4 %.....	42
Imagen 13. Metalografía de una muestra de acero previo a su ataque químico.....	42
Imagen 14. Metalografía de una muestra de acero previo a su ataque químico.....	43

Imagen 15. Metalografía de una muestra de acero posterior a su ataque químico con Nital al 4 %.....	43
Imagen 16. Recepción de la primera compra de materiales para inspección en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales.....	48
Imagen 17. Fotografía de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #3, grado 40.....	52
Imagen 18. Fotografía de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #4, grado 40.....	53
Imagen 19. Fotografía de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #3, grado 60.....	54
Imagen 20. Fotografía de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #3, grado 60.....	55
Imagen 21. Fotografía de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor El Lagar, barra #3, grado 40.....	56
Imagen 22. Fotografía de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor El Lagar, barra #4, grado 40.....	57
Imagen 23. Fotografía correspondiente al marcado observado en el alambre evaluado de acero para refuerzo de concreto de 5,25 mm de diámetro.....	59
Imagen 24. Fotografía correspondiente al marcado observado en el alambre evaluado de acero para refuerzo de concreto de D6 (7,01 mm) de diámetro.....	59
Imagen 25. Fotografía correspondiente al proceso de corte de las muestras para la evaluación lineal de la variación de la masa.....	61
Imagen 26 . Fotografía correspondiente al proceso de pesaje de las muestras para la evaluación lineal de la variación de la masa.....	62
Imagen 27. Fotografía correspondiente a una lectura de masa efectuada a uno de los especímenes de barras de acero de refuerzo en evaluación.....	62
Imagen 28 Fotografía correspondiente al proceso medición del espaciamiento de la corrugación en una muestra de alambre de 5,25 mm de diámetro.....	68
Imagen 29. Fotografía correspondiente al proceso de preparación del instrumento (vernier) para ser utilizado en la medición de la altura de las corrugaciones.....	74

Imagen 30. Fotografía correspondiente al proceso de medición de la altura de la corrugación mediante la utilización de la sonda de profundidad del vernier.....	75
Imagen 31. Fotografía correspondiente al momento de tope de la base del vernier con la altura máxima de las corrugaciones para efectuar la medición directa.....	75
Imagen 32. Fotografía correspondiente al procedimiento de medición de la longitud del cordón efectuado para un determinado lado de un espécimen de prueba .....	80
Imagen 33. Fotografía correspondiente al momento de lectura del valor de medición de la longitud del cordón efectuado para un determinado lado de un espécimen de prueba.....	80
Imagen 34. Fotografía correspondiente a las diferencias de tamaño observadas en el cordón de los especímenes de barra designación 3 de los fabricantes evaluados.....	84
Imagen 35. Fotografía correspondiente al primer lote de compra precortado para la evaluación de las pruebas de tracción.....	87
Imagen 36. Fotografía correspondiente a la unidad de ensayos universales Zwick Roell, modelo Z250, utilizada para la ejecución de las pruebas de comprobación de los requisitos de tracción a los especímenes evaluados.....	88
Imagen 37. Fotografía correspondiente al procedimiento de marcado de longitud de control en los especímenes de ensayo para la evaluación del porcentaje de elongación.....	88
Imagen 38. Fotografía correspondiente a la falla de un espécimen dentro de la longitud de control.....	89
Imagen 39. Fotografía correspondiente a la falla de un espécimen fuera de la longitud de control.....	89
Imagen 40. Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de las barras #3, grado 40, fabricante AM.....	92
Imagen 41. Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de las barras #4, grado 40, fabricante AM.....	95
Imagen 42. Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de las barras #3, grado 60, fabricante AM.....	98

Imagen 43. Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de las barras #4, grado 60, fabricante AM.....	101
Imagen 44. Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de las barras #3, grado 40, fabricante KD.....	104
Imagen 45. Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de las barras #4, grado 40, fabricante KD.....	107
Imagen 46. Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de alambre D6 (7,01 mm), grado 75, fabricante Ferromax.....	109
Imagen 47. Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de alambre diámetro 5,25, grado 75, fabricante Bekaert .....	111
Imagen 48. Fotografía correspondiente a la unidad termo formadora utilizada en el encapsulamiento de la muestra para el análisis metalográfico.....	116
Imagen 49. Fotografía correspondiente a la metalografía formada posterior al proceso de polimerización de la resina en la termo formadora.....	117
Imagen 50. Fotografía correspondiente al proceso de desbaste metalográfico de las muestras para su análisis bajo el microscopio.....	118
Imagen 51. Fotografía correspondiente al proceso de pulido metalográfico de las muestras para su análisis bajo el microscopio.....	119
Imagen 52. Fotografía correspondiente al procedimiento de ataque químico de una de las muestras en análisis donde se logra observar claramente una zona de afectación térmica a nivel superficial.....	120
Imagen 53. Fotografía correspondiente al proceso de análisis de la muestra bajo microscopio y la toma de imagen metalográfica de las microestructuras observadas.....	121
Imagen 54. Fotografía correspondiente al total de muestras analizadas bajo la prueba metalográfica.....	121

Imagen 55. Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #3 Gr40 sin ataque químico. Magnificación 3,15X.....	122
Imagen 56. Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #3 Gr40 con ataque químico. Magnificación 12,6X.....	122
Imagen 57. Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #4 Gr 40 sin ataque químico. Magnificación 3,15X.....	123
Imagen 58. Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #4 Gr 40 con ataque químico. Magnificación 12,6X.....	123
Imagen 59. Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #3 Gr60 sin ataque químico. Magnificación 3,15X.....	124
Imagen 60. Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #3 Gr60 con ataque químico. Magnificación 6,3X.....	124
Imagen 61. Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #4 Gr 60 sin ataque químico. Magnificación 3,15X.....	125
Imagen 62. Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #4 Gr 60 con ataque químico. Magnificación 12,6X.....	125
Imagen 63. Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código KD-TR #3 Gr40 sin ataque químico 3,15X.....	126
Imagen 64. Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código KD-TR #3 Gr40 con ataque químico. Magnificación 3,15X.....	126
Imagen 65. Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código KD-TR #4 Gr 40 sin ataque químico. Magnificación 3,15X.....	127
Imagen 66. Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código KD-TR #4 Gr 40 con ataque químico. Magnificación 6,3X.....	127

## Tabla de Cuadros

Cuadro 1. Alcance de evaluación para el parámetro de marcado del producto.....	11
Cuadro 2. Alcance de evaluación para el parámetro de variación de masa.....	12
Cuadro 3. Alcance de evaluación para el parámetro de requisitos para corrugación.....	13
Cuadro 4. Alcance de evaluación para el parámetro de requisitos para tracción.....	14
Cuadro 5. Alcance de evaluación para caracterización metalográfica.....	14
Cuadro 6. Resultados de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #3, grado 40.....	51
Cuadro 7. Resultados de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #4, grado 40.....	52
Cuadro 8. Resultados de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #3, grado 60.....	53
Cuadro 9. Resultados de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #4, grado 60.....	54
Cuadro 10. Resultados de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor El Lagar, barra #3, grado 40.....	55
Cuadro 11. Resultados de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor El Lagar, barra #4, grado 40.....	56
Cuadro 12. Resultados de la evaluación del parámetro variación de masa para las barras #3 y #4, grado 40, fabricante AM.....	63
Cuadro 13. Resultados de la evaluación del parámetro variación de masa para las barras #3 y #4, grado 60, fabricante AM.....	64
Cuadro 14. Resultados de la evaluación del parámetro variación de masa para las barras #3 y #4, grado 40, fabricante KD.....	65
Cuadro 15. Resultados de la evaluación del parámetro variación de masa para un alambre de diámetro D6 (7,01 mm) y de 5,25 mm, grado 75.....	66
Cuadro 16. Resultados de la evaluación en la determinación del espaciamiento de las corrugas para las barras #3 y #4, grado 40, fabricante AM.....	69
Cuadro 17. Resultados de la evaluación en la determinación del espaciamiento de las corrugas para las barras # 3 y #4, grado 60, fabricante AM.....	70

Cuadro 18. Resultados de la evaluación en la determinación del espaciamiento de las corrugas para las barras #3 y #4, grado 40, fabricante KD.....	71
Cuadro 19. Resultados de la evaluación en la determinación del espaciamiento de las corrugas para alambre de diámetro D6 (7,01 mm) y 5,25 mm, grado 75.....	72
Cuadro 20. Resultados de la evaluación para la determinación de la altura promedio de las corrugaciones para las barras #4, grado 40 y 60, fabricante AM.....	76
Cuadro 21. Resultados de la evaluación para la determinación de la altura promedio de las corrugaciones para las barras #4, grado 40, fabricante KD.....	77
Cuadro 22. Resultados de la evaluación para la determinación de la altura promedio de las corrugaciones para alambre de diámetro D6 (7,01 mm), grado 75.....	77
Cuadro 23. Resultados de la evaluación para la determinación de la altura promedio de las corrugaciones para alambre de diámetro 5,25 mm, grado 75.....	78
Cuadro 24. Resultados de la evaluación para los requisitos del intervalo máximo del cordón para barras #3, grado 40, fabricante AM.....	81
Cuadro 25. Resultados de la evaluación para los requisitos del intervalo máximo del cordón para barras #4, grado 40, fabricante AM.....	81
Cuadro 26. Resultados de la evaluación para los requisitos del intervalo máximo del cordón para barras #3, grado 60, fabricante AM.....	82
Cuadro 27. Resultados de la evaluación para los requisitos del intervalo máximo del cordón para barras #4, grado 60, fabricante AM.....	82
Cuadro 28. Resultados de la evaluación para los requisitos del intervalo máximo del cordón para barras #3, grado 40, fabricante KD.....	83
Cuadro 29. Resultados de la evaluación para los requisitos del intervalo máximo del cordón para barras #4, grado 40, fabricante KD.....	83
Cuadro 30. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para las barras #3, grado 40, fabricante AM.....	90
Cuadro 31. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para las barras #3, grado 40, fabricante AM.....	90
Cuadro 32. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad porcentaje de elongación para las barras #3, grado 40, fabricante AM.....	91

Cuadro 33. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad relación Fu/Fy para las barras #3, grado 40, fabricante AM.....	91
Cuadro 34. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para las barras #4, grado 40, fabricante AM.....	93
Cuadro 35. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para las barras #4, grado 40, fabricante AM.....	93
Cuadro 36. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad porcentaje de elongación para las barras #4, grado 40, fabricante AM.....	94
Cuadro 37. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad relación Fu/Fy para las barras #4, grado 40, fabricante AM.....	94
Cuadro 38. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para las barras #3, grado 60, fabricante AM.....	96
Cuadro 39. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para las barras #3, grado 60, fabricante AM.....	96
Cuadro 40. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad porcentaje de elongación para las barras #3, grado 60, fabricante AM.....	97
Cuadro 41. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad relación Fu/Fy para las barras #3, grado 60, fabricante AM.....	97
Cuadro 42. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para las barras #4, grado 60, fabricante AM.....	99
Cuadro 43. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para las barras #4, grado 60, fabricante AM.....	99
Cuadro 44. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad porcentaje de elongación para las barras #4, grado 60, fabricante AM.....	100
Cuadro 45. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad relación Fu/Fy para las barras #4, grado 60, fabricante AM.....	100
Cuadro 46. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para las barras #3, grado 40, fabricante KD.....	102
Cuadro 47. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para las barras #3, grado 40, fabricante KD.....	102

Cuadro 48. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad porcentaje de elongación para las barras #3, grado 40, fabricante KD.....	103
Cuadro 49. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad relación $F_u/F_y$ para las barras #3, grado 40, fabricante KD.....	103
Cuadro 50. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para las barras #4, grado 40, fabricante KD.....	105
Cuadro 51. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para las barras #4, grado 40, fabricante KD.....	105
Cuadro 52. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad porcentaje de elongación para las barras #4, grado 40, fabricante KD.....	106
Cuadro 53. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad relación $F_u/F_y$ para las barras #4, grado 40, fabricante KD.....	106
Cuadro 54. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para alambre D6 (7,01 mm), grado 75, fabricante Ferromax.....	108
Cuadro 55. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para alambre D6 (7,01 mm), grado 75, fabricante.....	108
Cuadro 56. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para alambre diámetro 5,25, grado 75, fabricante Bekaert.....	110
Cuadro 57. Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para alambre diámetro 5,25, grado 75, fabricante Bekaert.....	110

***Agradecimientos:***

*Por este medio expreso mi agradecimiento al Laboratorio de Ensayo de Materiales del Instituto Nacional de Aprendizaje en particular a la encargada de Dirección de Calidad & Técnica Ing. Ana Elena Brenes Arias, así como al personal Ing. Álvaro E. Quesada Mendoza e Ing. Karina Oviedo Araya por su colaboración en el desarrollo del presente proyecto.*

*Al equipo docente de la Universidad Central, en especial a la Arq. Sharon Araya Diaz por su apoyo y conocimientos aportados a mi formación profesional y por supuesto a nuestros compañeros de carrera los cuales hicieron aún más amena nuestra estadía en el UC.*

***Joe Cocker - With a little help from my friends!!!***

***JSC.***

## Resumen

El presente trabajo titulado: *Estudio técnico sobre requisitos presentes en barras y alambres de acero para refuerzo de concreto y mampostería estructural de elementos sismorresistentes utilizados en Costa Rica* tiene como objetivo general realizar una evaluación del grado de cumplimiento de los requisitos normativos presentes en productos tanto de fabricación nacional como de importación, los cuales son comercializados en Costa Rica bajo los estándares: INTE C400:2020 (ASTM A615/A615M-20), INTE C401:2020 (ASTM A706/A706M-16) e INTE C402:2020 (ASTM A1064/A1064M-18), según el alcance y las limitaciones establecidas en el proyecto.

La metodología empleada en el desarrollo de la investigación se concentró principalmente en la ejecución de una serie de pruebas de ensayo para diferentes diámetros de barras con un grado declarado de 280 [40] y 420 [60], junto con alambres corrugados de grado 515 [75], y su posterior confrontación contra requisitos establecidos por la norma correspondiente para la verificación del cumplimiento de conformidad. Se obtuvieron diferentes datos experimentales, los cuales indicaron que algunos de los sujetos de prueba se encontraban fuera de los parámetros de tolerancia establecidos como elementos de control de calidad; situación que podría conllevar a opiniones divergentes respecto a la posible aceptación o el rechazo del producto.

Considerando el tamaño de muestra analizada y los resultados obtenidos, el estudio señaló dentro de sus recomendaciones principales ampliar la evaluación de los parámetros de control de calidad más allá de las variables tradicionales de inspección, que corresponden al esfuerzo de fluencia y el esfuerzo máximo para los materiales de acero de refuerzo. Así será posible realizar una evaluación más integral acorde a los requisitos de la norma.

## Capítulo 1

### Introducción

#### 1.1 Planteamiento del problema

Con la finalidad de determinar la calidad de los materiales metálicos en construcción, se emplean diferentes pruebas de control tanto, de materia prima como de productos terminados, en donde se realiza una evaluación de los resultados obtenidos de una manera integral. De esta forma, los valores de las variables en estudio se deben de apegar a los estándares declarados empleados en su fabricación.

En muchas ocasiones, dentro de las actividades a ejecutar en los procesos, específicamente en la etapa de presupuesto y compra de materiales para la construcción, la variable precio es la que, por excelencia, se considera como el elemento diferenciador o excluyente para su adquisición. Los encargados, ya sea como profesionales independientes o como parte de un grupo de trabajo, omiten o descartan la verificación y la comprobación de los requisitos de calidad, pues limitan dicha actividad al factor económico.

Cabe mencionar que limitar la compra de materiales con base únicamente en el factor precio puede llevar a la adquisición de productos que se encuentren fuera de sus especificaciones técnicas de calidad o que estén muy cercanos a sus valores límites. A su vez, esta situación puede llegar a cuestionar la integridad de la construcción en desarrollo donde se están utilizando los materiales, así como implicar litigios de reclamos de garantía de productos e imprevistos en la construcción.

Tradicionalmente, en Costa Rica, la evaluación de calidad de materiales constructivos se ha concentrado en cerámicos y compuestos (agregados, cementos, concretos, entre otros). Sin embargo, en los últimos años, el auge de utilización de materiales metálicos, mediante diferentes

formas y productos, es cada vez mayor debido a su versatilidad y disponibilidad tanto a nivel de producción nacional como de importación.

Resulta necesario que el profesional a cargo de la obra o asignado al control de materiales no solo adquiera productos constructivos al menor costo posible, sino que también garantice que son aptos y de calidad. Por lo tanto, este profesional debe poseer un conocimiento amplio y detallado de los requerimientos técnicos de los materiales con base en la legislación nacional y la normativa aplicable, las pruebas de laboratorio, las propiedades de los materiales, la interpretación de los resultados, entre otros aspectos. Dicho conocimiento es una competencia necesaria para, de manera técnica e ingenieril, emitir un criterio de aprobación o rechazo de los materiales.

## **1.2 Pregunta de investigación**

¿Cuál es el nivel de cumplimiento de los requisitos de calidad presentes en barras y alambres de acero para el refuerzo del concreto y la mampostería estructural de los elementos sismorresistentes utilizados en Costa Rica?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar el grado de cumplimiento de los requisitos de calidad presente en barras y alambres de acero de uso en Costa Rica mediante la comparación de especímenes de producción nacional versus de importación.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar los requisitos legales y de control de calidad aplicables a barras y alambres de acero para refuerzo mediante el estudio de estándares nacionales e internacionales de uso en Costa Rica.
- Analizar la calidad presente en barras de acero corrugado grado 280 [40] y grado 420 [60], así como en alambres corrugados de acero grado 515 [75] para refuerzo usados en la construcción nacional a partir de la valoración de los resultados obtenidos de sus propiedades mecánicas y físicas contra los requisitos de la normativa técnica.
- Caracterizar de manera microestructural las barras de acero para refuerzo empleadas en la construcción nacional como un medio de control de calidad de la materia prima que se utiliza en su fabricación mediante la aplicación de pruebas de metalografía.

### 1.4 Justificación

Actualmente, en Costa Rica se fabrican diferentes productos de acero para la construcción por parte de empresas radicadas en el país como las siderúrgicas Arcelor Mittal Costa Rica, Metales Flix, Metalco S.A., por citar algunas de ellas. También se da la importación de estos mismos productos por otros actores nacionales como las compañías Aceros Monge, Ferromax Costa Rica, Abonos Agro, entre otras, cuyo negocio principal es la venta, al por mayor o al detalle en algunos de los casos, de elementos terminados sin tener dentro de su actividad económica los procesos industriales de conformación metálica.

Las importaciones realizadas de materiales y productos tienen diferentes lugares de procedencia. Específicamente, la compraventa de las barras y los alambres de acero para refuerzo común incluye elementos de origen, turco, chino, guatemalteco o, en algunos casos, de dominica.

Dichos elementos, sumados a la producción nacional, ofrecen una gama importante de oferta al consumidor, por lo que es de gran relevancia conocer la calidad que presentan.

Para poder determinar la calidad que presentan estos materiales, en primera instancia, se pueden usar documentos tales como fichas técnicas o certificados de control de calidad dados por el vendedor o el fabricante del producto; sin embargo, es posible que la información contenida en dichos documentos no llegue a cubrir la totalidad de aspectos que se deben evaluar según un estándar específico de producción o que, por desconocimiento técnico, no se disponga de la pericia para la interpretación de esta información, la verificación de su validez o las pruebas que han de ser efectuadas para realizar una evaluación integral.

Garantizar el cumplimiento de la calidad de los materiales de construcción debe de ser visto no solo como la evaluación de sus propiedades y que estas se encuentren dentro de los límites de tolerancia establecidos en un estándar, sino también como un aspecto necesario en aras de proteger la vida y la integridad de las personas que lleguen a ser usuarias de las edificaciones creadas con dichos materiales (Ministerio de Economía Industria y Comercio de Costa Rica, 2010).

Como aporte general de este proyecto, se pretende generar conocimiento técnico en el área de las pruebas de calidad a elementos de acero para refuerzo de concreto y mampostería, los cuales actualmente no se evalúan o no son considerados por parte de los profesionales dedicados a la construcción costarricense. Además, la investigación propone que estos parámetros sean incluidos como elementos en la toma de decisión para adquirir un producto determinado.

## 1.5 Antecedentes

### 1.5.1 Documentos nacionales

Un primer antecedente nacional relacionado con la presente investigación está en el boletín informativo del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA), CFIA MAIL, y se trata del artículo denominado: “Actualización Profesional Código Sísmico de Costa Rica” (Acuña, 2013), en donde se realiza una explicación detallada sobre cómo la información contenida en el Código Sísmico de Costa Rica 2010 funge como complemento a los requisitos expuestos en la normativa de fabricación de las barras de acero para refuerzo de concreto.

Este artículo explica el caso particular del estándar sectorial ASTM A615, cuando se ampliaron los requisitos solicitados por parte de la Sociedad de América de Pruebas en Materiales (ASTM) para dicho producto, de manera que se asignó un parámetro máximo de evaluación el esfuerzo de fluencia en 122,58 MPa por encima del valor de referencia del estándar. Sumado a lo anterior, se expone el segundo requisito ampliado correspondiente a la relación de los valores obtenidos en una prueba de verificación de esfuerzo máximo a la tracción divididos entre el esfuerzo de fluencia, la cual debe de ser igual o mayor a 1,25, pues se trata de un medio de control ante la posible aparición de fallas por adherencia y cortante en la estructura.

Dicho documento guarda relación con la investigación por cuanto la evaluación integral de las propiedades de los materiales en estudio incluye la comparación de dichos puntos de control de calidad. Lo anterior es relevante debido a que, en algunas ocasiones, a nivel de interpretación de resultados por parte de los profesionales, es común que se omita dicha evaluación, lo que limita la aceptación únicamente a valores de magnitud del esfuerzo de fluencia y máximo por arriba del mínimo indicado en el estándar.

El segundo trabajo es de Castro Murillo y Moya Quiros (2015) y se denomina *Diagnóstico del mercado de materiales para la construcción (varilla, cemento y láminas de zinc)*, el cual fue

desarrollado para la Dirección de Investigaciones Económicas y de Mercados del Ministerio de Economía Industria y Comercio (MEIC). Se trata de una primera evaluación a nivel nacional de los materiales indicados en la búsqueda de las posibles causantes de distorsión del mercado para su evaluación y la atención de estas.

En dicho trabajo se realizó un análisis por separado de cada uno de los materiales contenidos en el diagnóstico a partir de la información suministrada por empresas nacionales y transnacionales dedicadas a la venta, la producción y la importación. De esta forma, los primeros apartados del informe se concentran en datos referentes al acero de refuerzo utilizado a nivel nacional, para lo cual se indican aspectos tales como la disminución de los costos de compra, el aumento de las importaciones y la disminución de la producción nacional. Luego, se establecen conclusiones y recomendaciones respecto a las líneas de trabajo a seguir para dicho material en específico.

El documento anterior se relaciona con la presente investigación, pues plasma la necesidad de aumentar el conocimiento en el control y la evaluación de materiales constructivos, ya que se identificaron distintos problemas para cada uno de los productos estudiados. En el caso específico de las barras de acero para refuerzo de concreto, se indica que, aunque a nivel nacional se dispone de reglamentación técnica en dicho campo, el cliente como tal no cuenta con un conocimiento apropiado o suficiente de los productos que está adquiriendo, sumado a los requisitos que estos deben cumplir, lo que conlleva a la posible compra de elementos que se encuentran por debajo de los niveles de calidad establecidos.

Un tercer trabajo correspondiente al reportaje noticioso de *El Mundo Cr* (2015), denominado: “Inteco denuncia que varillas importadas para construcción de Escuela Nacional de Policía no fueron certificadas”, el cual fue desarrollado por la unidad de información nacional de dicho medio de comunicación digital. En este reportaje se expone la denuncia presentada en su momento por un diputado del partido Unidad Social Cristiana respecto al incumplimiento de

requisitos para la importación de varillas. El denunciante expone el faltante de certificación del producto ingresado que garantice el cumplimiento de los requisitos estipulados en la reglamentación técnica vigente en el territorio nacional, específicamente el Reglamento Técnico de RTCR 452 y sus reformas. Lo anterior es una omisión a la evaluación de conformidad de producto y una falta al requisito de ley nacional.

Este reportaje complementa lo expuesto en la referencia nacional anteriormente citada con el mismo año de publicación, pues queda evidenciado el grado de desconocimiento nacional que existe por parte de empresas y personas sobre los requisitos de acatamiento obligatorio que deben cumplir los materiales de acero utilizados en la construcción, como lo es el caso específico de las barras de acero de refuerzo de concreto.

Asimismo, en noticias posteriores dadas por otros medios digitales (CRHoy, 2015) se expone cómo el incumplimiento de dicha evaluación y su solicitud motivan a que se deban de realizar procesos de confirmación de calidad de dichos materiales. La información brindada en estas noticias identifica la necesidad de crear un mayor conocimiento en el área del control de calidad del acero, lo cual se relaciona con los objetivos del presente trabajo de investigación.

Un quinta y última referencia nacional es el informe de práctica dirigida llevado a cabo por Quiros Leiva (2018), que se titula: *Verificación del Programa de Puntos de Inspección (PPI) Ejecutado para la Estructura Metálica del Nuevo Puente sobre el Río Virilla en la Ruta Nacional No. 147*. Este informe se centra en la evaluación de la calidad tanto del suministro de acero estructural para puentes ASTM A709 como de los procesos de soldadura empleados en la unión de dicho material. Con este objetivo, se realizaron varias comprobaciones de control a nivel de técnicas de ensayos destructivos para la determinación de propiedades mecánicas, para lo cual se aplicaron pruebas de resistencia al impacto Charpy, dureza en la escala Brinell y tensión, así como métodos de evaluación no destructiva como tintas penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido.

La metodología de aceptación de los materiales y los procesos de unión efectuados se dio mediante el estudio y la interpretación de los resultados obtenidos en los diferentes informes de los entes contratados para la ejecución de las pruebas. Además, se empleó la confrontación con los criterios de aceptación o rechazo establecidos en la normativa sectorial ASTM A709 para el metal base y en el Código de Soldadura de Puentes de la Sociedad Americana de Soldadura AWS D1.5

Si bien es cierto los materiales estudiados en dicho informe difieren de los contenidos de la presente investigación, la metodología utilizada por Quirós Leiva guarda una gran similitud con la empleada durante las actividades de comprobación de calidad de las barras de acero en estudio, donde se ratifica la importancia de la aplicación de dichos controles para garantizar la fabricación de una estructura que cumpla con la normativa de referencia.

### **1.5.2 Documentos internacionales**

Un primer trabajo corresponde a la tesis de grado en Ingeniería Civil de Gramajo Bámaca (2015), denominada: *Características físicas y propiedades mecánicas de las barras de acero para refuerzo, no certificadas, equivalentes al diámetro de 10 mm (3/8 pulg) en algunos sectores de la ciudad de Guatemala*. Esta tesis se centra en la evaluación y la comparación de la calidad que presentan las barras de acero de refuerzo considerando los parámetros de estudio dados por la normativa técnica del país y su equivalente, el estándar sectorial ASTM A615. De esta forma, se analiza si ciertos factores (el precio del producto o si este es certificado o no) influyen en la decisión de compra del material constructivo.

El estudio arrojó datos interesantes al realizar una comparación entre los productos que presentan una certificación de calidad frente a los materiales de venta libre que no disponen de esta. Para el caso específico del esfuerzo máximo, se dieron variaciones próximas al 30 % en uno de los diámetros de barra evaluados respecto al valor de carga máxima soportado. Se concluye que,

aun cuando el material no certificado se encuentra dentro de los rangos de tolerancia establecidos por normativa, los valores de las propiedades mecánicas se ubican próximos al límite inferior. Esto constituye un riesgo, ya que el campo de maniobra y la evaluación para declarar no conforme bajo especificación es muy bajo.

La tesis presentada por Gramajo guarda una importancia alta y se relaciona estrechamente con esta investigación, porque ambas tienen dentro sus actividades realizar una evaluación comparativa de la calidad de un producto mediante la valoración de sus propiedades y normativas de fabricación. Sin embargo, una de las diferencias es el enfoque, pues la tesis efectúa la comparación entre las barras no certificadas y las certificadas, mientras que el presente proyecto compara a los oferentes de producto, ya que, por reglamentación técnica, la venta de un producto no certificado no está permitida en Costa Rica.

Un segundo trabajo corresponde a la tesis de grado de Arcos Huilca (2020), titulada: *Estudio Comparativo de la Soldabilidad, Propiedades Mecánicas y Metalográficas de los Aceros Estructurales de Grado 60 bajo el estándar sectorial ASTM A615 y ASTM A706 Producidos En Perú*, en la cual se realiza una evaluación de la posible variación existente en cuanto a la calidad en procesos de unión de barras de acero para refuerzo mediante la aplicación de pruebas, tanto destructivas como no destructivas, para la obtención de resultados.

Dentro de las pruebas llevadas a cabo para evaluar y cuantificar el nivel de calidad, se efectuaron análisis de composición química, resistencia a la tracción y microestructurales para la determinación de la soldabilidad de dichos aceros, cuyo fin era establecer controles de calidad para cada uno de ellos a partir de los resultados obtenidos.

Esta tesis es relevante para la presente investigación al ratificar la importancia que conlleva la determinación de propiedades y la interpretación de los resultados como medios de control de

calidad en los procesos industriales y los que presentan los aceros utilizados en ellos, pues esta una de las actividades ejecutadas en este proyecto.

## **1.6 Proyecciones**

### **1.6.1 Alcances**

La investigación llevada a cabo en el presente trabajo pretende establecer si los materiales de acero para refuerzo de concreto y mampostería estructural de venta en Costa Rica cumplen con los requisitos de calidad establecidos en los diferentes documentos normativos, por lo cual, como parte de las actividades desarrolladas, fue necesario determinar una serie de alcances que se encontraran dentro de la posibilidad de ejecución, considerando aspectos económicos, de tiempo, disponibilidad de equipos, entre otros.

Por lo tanto, se plantearon las siguientes metas para el desarrollo del proyecto:

- Evaluar el grado de cumplimiento de los requisitos legales, según RTCR 452:2011 y CSCR 2010 revisión 2014, en sus apartados específicos 8.1.2 y 9.3.5, y los requisitos técnicos para barras de acero de refuerzo de concreto en su versión más reciente, de acuerdo con la designación del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (Inteco) INTE C400 e INTE C401 o su equivalente bajo el estándar sectorial, ASTM A615/A615M y ASTM A706/A706M.
- Evaluar el grado de cumplimiento de los requisitos legales, según RTCR 452:2011 y CSCR 2010 revisión 2014, en sus apartados específicos 8.1.2 y 9.3.5, y los requisitos técnicos para alambres de acero de refuerzo de concreto en su versión más reciente, de acuerdo con la designación del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (Inteco) INTE C402 o su equivalente bajo el estándar sectorial, ASTM A1064/A1064M.

- Realizar una caracterización microestructural como parámetro de control metalúrgico de la calidad del acero empleado para la producción de barras y alambres de acero.

Considerando los aspectos legales y de control de calidad contenidos en los documentos base citados en las metas a cumplir, así como en función de las posibilidades de evaluación de los parámetros solicitados en estos, se procedió a identificar los alcances de la evaluación de conformidad con los productos:

### **Cuadro 1**

*Alcance de evaluación para el parámetro de marcado del producto\**

<b>Documento de referencia</b>	<b>Apartado</b>	<b>Subapartados</b>
		7.1
		7.2
		7.2.1
		7.2.1
RTCR 452:2011	7. Requisitos de marcado	7.2.2.1
		7.2.2.2
		7.2.3
		7.2.4
		7.2.4.1
		7.2.4.2
		19.3
INTE C400 (ASTMA615/A615M)	19. Marcado	19.3.1
		19.3.2
		19.3.3
		19.3.4
		19.2
INTE C401 (ASTMA706/A706M)	19. Etiquetado y marcado	19.2.1
		19.2.2

\*Donde se asume la no existencia de requisitos complementarios o adicionales en los productos evaluados fuera de los solicitados por las normas de referencia .

**Cuadro 2**

*Alcance de evaluación para el parámetro de variación de masa\**

<b>Documento de referencia</b>	<b>Apartado</b>	<b>Subapartados</b>
RTCR 452:2011	5. Especificaciones para evaluar la conformidad	<b>Tabla 1.</b> Especificaciones técnicas que deben cumplir las barras y alambres de acero para refuerzo de concreto  <b>Nombre de la especificación 7.</b> <b>Variación admisible en masa:</b>
INTE C400 (ASTMA615/A615M)	11. Variación admisible en masa	11.1
INTE C401 (ASTMA706/A706M)	11. Variación admisible en la masa	11.1
INTE C402 (ASTMA1064/A1064M)	7. Requisitos de propiedades mecánicas-alambre liso y corrugado	7.2 7.2.7 7.2.7.1

\*Donde, para el caso específico de redondeo de los valores obtenidos para la evaluación del parámetro de variación de masas, no se emplea el estándar sectorial ASTM E29 y se asume la no existencia de requisitos complementarios o adicionales en los productos evaluados fuera de los solicitados por las normas de referencia .

**Cuadro 3**

*Alcance de evaluación para el parámetro de requisitos para corrugación\**

<b>Documento de referencia</b>	<b>Apartado</b>	<b>Subapartados</b>
RTCR 452:2011	5. Especificaciones para evaluar la conformidad	<b>Tabla 1.</b> Especificaciones técnicas que deben cumplir las barras y alambres de acero para refuerzo de concreto <b>Nombre de la especificación 3. Requisitos para corrugaciones</b>
	6. Ensayos para evaluar la conformidad	<b>Tabla 2.</b> Métodos de ensayo para las barras y los alambres de acero para refuerzo de concreto
INTE C400 (ASTMA615/A615M)	7. Requisitos para corrugaciones	7.4 7.5
	8. Medición de corrugaciones	8.1 8.2
INTE C401 (ASTMA706/A706M)	7. Requisitos para corrugaciones	7.4 7.5
	8. Medición de corrugaciones	8.1 8.2
INTE C402 (ASTMA1064/A1064M)	7. Requisitos de propiedades mecánicas-alambre liso y corrugado	7.2.4
		7.2.4.3
		7.2.4.4
		7.2.4.6
		7.2.4.7

\*Donde, para todos los productos fabricados bajo los estándares INTE C400 (ASTMA615/A615M) y INTE C401 (ASTMA706/A706M) con una designación de barra 10 [3], se evalúa parcialmente el subapartado 7,5 y no es evaluado el apartado 8,2; además, se asume la no existencia de requisitos complementarios o adicionales en los productos evaluados fuera de los solicitados por las normas de referencia .

**Cuadro 4**

*Alcance de evaluación para el parámetro de requisitos para tracción\**

<b>Documento de referencia</b>	<b>Apartado</b>	<b>Subapartados</b>
RTCR 452:2011	5. Especificaciones para evaluar la conformidad	<b>Tabla 1.</b> Especificaciones técnicas que deben cumplir las barras y alambres de acero para refuerzo de concreto <b>Nombre de la especificación 5. Requisitos de tracción</b>
INTE C400 (ASTMA615/A615M)	9. Requisitos de tracción	9.1 9.4
INTE C401 (ASTMA706/A706M)	9. Requisitos de tracción	9.1 9.4
INTE C402 (ASTMA1064/A1064M)	7. Requisitos de propiedades mecánicas-alambre liso y corrugado	7.2 7.2.5 7.2.5.1

Donde se asume la no existencia de requisitos complementarios o adicionales en los productos evaluados fuera de los solicitados por las normas de referencia .

**Cuadro 5**

*Alcance de evaluación para caracterización metalográfica*

<b>Documento de referencia</b>	<b>Espécimen</b>	<b>Sección por evaluar</b>
INTE C400 (ASTMA615/A615M)	AM-CR #3 Gr 40	Transversal
	AM-CR #4 Gr 40	Transversal
	KD-TR #3 Gr 40	Transversal
	KD-TR #4 Gr 40	Transversal
INTE C401 (ASTMA706/A706M)	AM-CR #3 Gr 60	Transversal
	AM-CR #4 Gr 60	Transversal

Cabe hacer mención de que, para todos los resultados de ensayo obtenidos, no se declaran fuentes de incertidumbre o factor de cobertura.

## 1.6.2 Limitaciones

Durante las diferentes etapas del proyecto se generó una serie de limitantes, las cuales se lograron disminuir en su mayoría con la finalidad de afectar lo menos posible el desarrollo de la investigación. A continuación, se mencionan las limitantes más relevantes.

### 1.6.2.1 Económica

Al ser el proyecto desarrollado financiado por la persona encargado de la investigación, para la inspección se dispuso de un número limitado de muestras. De esta forma, la evaluación de los especímenes se asignó de la siguiente manera considerando únicamente el factor costo:

- Para barras INTE C400 (ASTM A615/A615M) grado 280 [40] se realizó la evaluación de 24 especímenes con designación de barra número 10 [3] y 24 especímenes con designación de barra número 13 [4] correspondientes a 2 fabricantes diferentes del producto.
- Para barras INTE C4001 (ASTM A706/A706M) grado 420 [60] se efectuó la evaluación de 12 especímenes con designación de barra número 10 [3] y 12 especímenes con designación de barra número 13 [4] correspondientes a un único fabricante del producto.
- Para alambre INTE C402 (ASTM A1064/A1064M) Grado 515 [75] se llevó a cabo la evaluación de 12 especímenes de 5,25 mm de diámetro y 12 especímenes de 7,01 mm de diámetro correspondientes a 2 fabricantes de producto diferentes.

Asimismo, no fue posible la adquisición de la totalidad de documentos de referencia citados en las normativas de los productos valorados, razón por la cual la conformidad se evaluó solamente de acuerdo con lo expresado en el alcance del proyecto

### **1.6.2.2 Equipos de ensayo**

Como segunda limitante de peso se consideró la disponibilidad de los equipos requeridos para efectuar las pruebas de conformidad del producto, pues estos constituyen los instrumentos base de los análisis. Por ello, resultó necesaria la solicitud de cooperación a entes externos a la universidad que dispusieran de los recursos requeridos para el desarrollo de la investigación.

Se obtuvo una respuesta positiva por parte del Laboratorio de Ensayo de Materiales del INA para la ejecución de las pruebas requeridas, bajo el condicionamiento de que estas fueran llevadas a cabo fuera de las jornadas de trabajo normal del laboratorio y así no afectar los servicios brindados a los clientes. Esto limitó el tiempo de ejecución de las pruebas y la disponibilidad de los equipos.

Asimismo, la selección de los posibles criterios de evaluación de conformidad con los productos quedó condicionada a los equipos de ensayo disponibles, su capacidad de efectuar el análisis requerido y sus características operacionales, en donde la más importante fueron los requisitos dimensionales de las muestras a ensayar.

Cabe mencionar que, al momento del desarrollo de las pruebas, se debió de suspender la posibilidad de evaluación de conformidad respecto a los requisitos de composición química debido a fallas en la estabilidad de la unidad de espectrometría. De esta forma, aunque se tenía programada la utilización de dicha unidad, su reparación por parte del proveedor se efectuó en un periodo posterior al desarrollo del presente proyecto.

### **1.6.2.3 Proveedores**

En la etapa inicial de lluvia de ideas para el planteamiento del proyecto, se estableció adquirir los materiales a evaluar directamente con los importadores y los fabricantes nacionales. No obstante, durante el proceso de contacto inicial, se logró comprobar la dificultad de comprar el producto al detalle, ya que algunos proveedores solo ofrecen la posibilidad de comprar por lotes.

De igual forma, otras limitantes detectadas fueron el transporte, la disponibilidad de producto y el corte muestras. Lo anterior provocó que se replanteara la adquisición de los productos a locales de venta de materiales (ferreterías), considerando principalmente la cercanía de estos con el lugar de ejecución de las pruebas y la facilidad de visita para el desarrollador del proyecto.

#### **1.6.2.4 Restricciones sanitarias y de salud**

Las diferentes restricciones sanitarias aplicadas a nivel país debido a la pandemia por la COVID-19 y las situaciones de salud constituyen la cuarta limitante en importancia presentada durante el desarrollo de este proyecto. Acciones como las limitaciones en los horarios de traslado, la imposibilidad del uso de instalaciones o equipos en periodos de desinfección, los protocolos de ingreso, los tiempos máximos de estadía en las instalaciones, entre otras, impidieron disponer de un mayor tiempo para trabajar en las distintas pruebas de laboratorio, así como obstruyeron la posibilidad de la investigación de campo. Lo anterior causó que en la evaluación del proyecto no se pudieran cubrir especímenes de un segundo proveedor para barras INTE C401 (ASTM A706/A706M) grado 420 [60].

## Capítulo 2

### Marco teórico

#### 2.1.1 Propiedades de los materiales empleados en construcción

Las propiedades que presentan los materiales pueden definirse de diferentes maneras, siendo una de ellas la reacción que ofrecen a diferentes estímulos o acciones externas que buscan modificar su estado natural de equilibrio. También constituyen una característica intrínseca o propia que distingue a un material de los otros (Alamán, 2016).

Existe un gran número de propiedades que pueden presentar los materiales, sin embargo, es común que, al analizarlas a nivel ingenieril, estas se enlisten en cuatro grandes tipos (Kalpakjian y Schmid, 2014), los cuales se mencionan a continuación:

- propiedades físicas;
- propiedades químicas;
- propiedades tecnológicas;
- propiedades mecánicas.

El primer grupo de propiedades son las físicas, en donde se incluyen todas aquellas respuestas que da un material o las manifestaciones de este a procesos de tipo físico. Dentro de dicho grupo es común el empleo de fenómenos eléctricos, térmico, ópticos, dimensionales, entre otros, para su determinación. La resistencia eléctrica, la conductividad térmica, el magnetismo, la reflexión de la luz y la densidad son solo algunos ejemplos, cuya determinación o evaluación dependerá en gran medida del uso final al que sea sometido o empleado el material.

Dentro de este primer grupo cabe hacer mención a las características dimensionales presentadas por las materias primas y los productos terminados necesarias para respetar los requisitos de tamaño, forma o posiciones. A su vez, estos requisitos son descritos por los estándares

empleados para su elaboración y han de ser comprobados como parte de las exigencias de calidad y conformidad. Un ejemplo de lo citado es el diámetro real que debe cumplir un alambre de acero fabricado bajo el estándar sectorial ASTM A1064/A1064M con una designación MW 25, la cual tendrá que estar situada dentro de una tolerancia de 0,08 mm por encima o por debajo del valor de 5,64 mm de diámetro nominal. Por ello, esta propiedad dimensional ha de ser evaluada utilizando un instrumento de medida para así declarar la conformidad o no del producto, según el criterio de evaluación establecido (American Society for Testing and Materials, 2018).

El comportamiento de los materiales frente a un fenómeno que produce una reacción química y afecta sus condiciones iniciales constituye la base de la definición de las propiedades químicas, estrechamente ligadas a la composición química (átomos presentes en la materia que constituye el material). A nivel de materiales constructivos metálicos, las propiedades de los materiales son de suma importancia ante la fuerte acción corrosiva a la que podrían verse expuestos en servicio, dependiendo del medio ambiente donde se encuentren, ya que causa la degradación de sus propiedades y su fallo a largo plazo (Pancorbo, 2013).

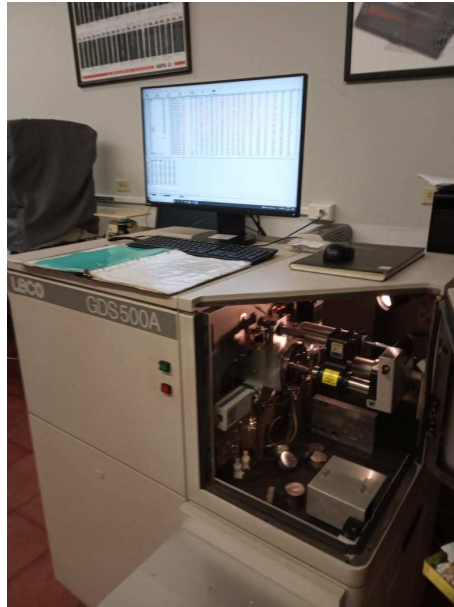
A nivel de materiales metálicos, un instrumento de laboratorio base para la determinación de la composición química son las denominadas unidades de espectrometría, las cuales, mediante técnicas físicas de excitación de los electrones externos, presentan los orbitales más alejados de los átomos que conforman el material, mientras que la respuesta de emisión o absorción que realizan estos electrones permite cuantificar la cantidad de un elemento específico en función de la cantidad de respuesta dada (Rufino y Napolitano, 2000).

En las normativas de fabricación de productos, dentro de los apartados de requisitos de composición química, es común que se indiquen los valores que deben tener las aleaciones empleadas en su constitución, diferenciando, en algunos casos, los requisitos para las pruebas a nivel de ensayo de planta (análisis de colada o en caliente) o las verificaciones del producto para

su confrontación contra los resultados obtenidos (American Society for Testing and Materials, 2019).

### **Imagen 1**

*Equipo de espectrometría bajo la técnica de descarga luminiscente, marca LECO, modelo GDS500A, para la determinación de la composición química de aleaciones ferrosas.*



Respecto a las propiedades tecnológicas, estas poseen un enfoque relacionado con el comportamiento que presentan los materiales al ser sometidos a diferentes procesos de conformación, maquinado o fabricación. Además, dichas propiedades pueden ser obtenidas mediante el análisis de las propiedades físicas, químicas, mecánicas o la combinación de estas.

Dentro de las propiedades tecnológicas de mayor importancia a nivel industrial para los materiales metálicos, se pueden citar las siguientes (Kalpakjian y Schmid, 2014):

- maleabilidad
- ductilidad
- colabilidad
- maquinabilidad

- soldabilidad

Finalmente, las propiedades mecánicas son aquellas inherentes a cada material. Estas se encuentran ligadas a la reacción de los materiales ante la aplicación de una determinada carga, fuerza o esfuerzo sobre estos mismos, de tal manera que permiten establecer su comportamiento frente a dichas acciones. Existe un gran número de propiedades mecánicas, las cuales, a su vez, son definidas mediante diferentes ensayos mecánicos, con la finalidad de evaluar la calidad que presenta un material en específico o un proceso industrial. A continuación, se mencionan las propiedades mecánicas más comunes (Martín Piris, 2012):

- dureza;
- resistencia al impacto o la tenacidad;
- resistencia a la compresión;
- resistencia a la torsión;
- fatiga;
- resiliencia.
- plasticidad;
- elongación;
- tenacidad;
- resistencia a la tracción, entre otras más.

Por excelencia, las propiedades mecánicas constituyen el tipo de propiedad empleado para la caracterización o el control de la calidad de los materiales empleados en la construcción, ya que estos han de ser utilizados para soportar diferentes esfuerzos requeridos en el diseño de las estructuras. Estas propiedades dependen de varios factores, siendo en primer nivel la constitución

atómica del material (enlaces atómicos, estructura cristalina, tamaño y forma microestructura cristalina) (Alamán, 2016).

## **Imagen 2**

*Durómetro de banco Marca Mitutoyo, modelo HR-522, para la determinación de los valores de las propiedades mecánicas de dureza mediante la técnica de la indentación*



### **2.1.2 Tensión y deformación en los materiales**

A nivel de ensayos a materiales, el concepto de “tensión” puede ser definido como la aplicación de una determinada fuerza por unidad de área específica o puntual de un cuerpo, un material o un elemento bajo estudio. Cuando dicha tensión es aplicada de tal forma que la fuerza posee direcciones opuestas sobre un eje uniaxial, se está en presencia de la generación de un esfuerzo de tracción (estiramiento); en cambio, si esta fuerza es aplicada en la misma dirección uniaxial, se genera el efecto contrario y el esfuerzo generado se denomina “compresión” (American Society for Metals, 2000).

La ecuación para ambos esfuerzos es la siguiente:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde los respectivos símbolos corresponden a los conceptos:

- $\sigma$  = esfuerzo (en tensión o compresión)
- F = fuerza
- A = área

Dentro del Sistema Internacional de Unidades (SI) se establece como unidad de medida de esfuerzo el pascal (Pa), definido a partir de la ecuación 1 en unidades de newton por metro cuadrado ( $\text{N/m}^2$ ), en donde es habitual el uso de submúltiplos en el orden de megapascuales (MPa) o gigapascuales (GPa) (Hidalgo Rodriguez *et al.*, 2013).

En la evaluación de materiales a nivel de ingeniería civil y otras áreas es común el empleo de unidades del sistema libra-pulgada para la expresión de valores de esfuerzo tales como libra-fuerza por pulgada cuadrada ( $\text{lbf/pulg}^2$ , expresado también como psi) y submúltiplos de este (ksi, correspondiente a 1000 psi). Otras unidades de medida de uso común para la expresión del esfuerzo que se asocian con unidades del SI corresponden al kilogramo por centímetro cuadrado ( $\text{kg/cm}^2$ ) o el kilogramo por milímetro cuadrado ( $\text{kg/mm}^2$ ). Sin embargo, es importante mencionar que la Ley de la República No. 5292 y sus reformas indican la adopción y el uso obligatorio y exigido del Sistema Internacional de Unidades en el país para todas las actividades relacionadas con mediciones, por lo cual se debería utilizar la unidad de pascales.

Respecto a los ensayos materiales, el concepto de “deformación” puede ser definido como el cambio que experimenta, ya sea temporal (elástica) o permanentemente (plástica), en su forma o sus dimensiones iniciales, el elemento sobre el cual actúan las distintas fuerzas aplicadas, ya sean en tensión o compresión. Estas deformaciones suelen ser expresadas por medio de un porcentaje

(%) o mediante las relaciones lineales que emplean diferentes unidades de longitud para una expresión de magnitud final adimensional (American Society for Metals, 2000).

### **2.1.3 Generalidades del ensayo de tracción en los materiales metálicos**

Cuando se requiere de la evaluación de propiedades mecánicas o de la caracterización de un material metálico o de otro tipo, estas actividades se realizan mediante la aplicación de diferentes ensayos en donde las pruebas de tracción constituyen una referencia. A nivel de industria, resulta común dar datos básicos del comportamiento del material ante posibles aplicaciones o usos en ingeniería.

Al darse la adquisición de materiales para la fabricación de estructuras (láminas de acero ASTM A36) o productos terminados para su uso inmediato (perfiles de acero ASTM A992 o barras de acero para refuerzo ASTM A615), en la evaluación de los diferentes certificados de producción o molino o, en su defecto, fichas técnicas, se observa que se hace referencia a valores de propiedades mecánicas obtenidos a partir de ensayos mecánicos, los cuales se deben de apegar a los estándares de producción declarados en su fabricación, por ejemplo, ASTM, GB, UE, JIS, GOST, entre otros, pues constituyen criterios para la definición de conformidad o no conformidad del material.

Las aplicaciones de ensayos de tracción no solo se limitan a evaluar la conformidad de un producto según un estándar de referencia, sino que, con frecuencia, son empleadas durante el desarrollo de nuevos materiales o productos para así conocer sus propiedades reales. Asimismo, mediante los resultados obtenidos de estas pruebas es posible hacer proyecciones del comportamiento que va a tener el material con respecto a otros esfuerzos o cargas a las que esté sometido diferentes a la tensión (Martín Piris, 2012).

En la ejecución de las pruebas mecánicas es necesario emplear varios equipos o máquinas de ensayo, las cuales —en la mayoría de los casos— son específicas para la magnitud que se desea determinar. En el caso de los ensayos de tracción se utilizan los equipos “máquinas de ensayos universales”, denominados de esta forma porque con ellos es posible la aplicación de diferentes esfuerzos sobre el espécimen o la muestra a ser analizada, tanto para la obtención de resultados cuantitativos de propiedades mecánicas como cualitativos de condiciones específicas que se desean evaluar.

A partir de dichas máquinas es posible la ejecución de pruebas respecto a los siguientes aspectos:

- tracción
- compresión
- flexión
- *creep*
- fatiga
- cizalladura
- aplastamiento (cualitativa)
- doblado guiado (cualitativa)

También existen otros aspectos como el esfuerzo de tensión, el cual es el aplicado durante el ensayo de tracción.

A nivel operativo, las máquinas de ensayo universales empleadas en la industria y los laboratorios de ensayo consisten en equipos de funcionamiento electromecánico o hidráulico; este último tipo se usa mayoritariamente en la evaluación de grandes valores de fuerza aplicada. Por lo general, los equipos están constituidos por dos elementos llamados “travesaños”, que, a su vez, cuentan con una mordaza para la sujeción de las muestras a ser ensayadas. De este forma, uno de

estos travesaños se mantiene fijo durante la prueba, mientras que el otro se desplaza a lo largo del eje de aplicación de la fuerza.

Además, uno de los travesaños posee un dispositivo denominado “transductor de fuerza”, el cual integra el elemento principal de la maquina universal, ya que es el encargado de medir la fuerza que se está aplicando al momento de darse el desplazamiento del travesano móvil.

Este transductor de fuerza está formado básicamente por dos elementos: el primero son las galgas extensiométricas, es decir, sensores capaces de medir deformación, presión o carga de un determinado material con base en el efecto piezoresistivo, que corresponde a una propiedad física que poseen ciertos materiales, la cual los hace capaces de generar cambios en su resistencia eléctrica al ser sometidos a esfuerzos mecánicos. El segundo elemento es el cuerpo o el resorte, pues sobre este se han de adherir las diferentes galgas extensiométricas y, además, es el encargado —a partir de su deformación— de transmitir dicha información a las galgas (Tioli Mora *et al.*, 2017).

Otra parte fundamental de las maquinas universales para la realización de las pruebas de tensión es el extensómetro, que puede ser de contacto o láser. Este permite establecer el alargamiento o la extensión que sufre la muestra de ensayo en dirección longitudinal a la aplicación del esfuerzo, el cual es de diferentes clase según la precisión del instrumento, y cuyo tipo a emplear se define por cada estándar de evaluación de material, pues su uso es obligatorio en la determinación de las propiedades referentes al esfuerzo de fluencia.

Las siguientes imágenes son dos máquinas de ensayos universales distintas, una de tipo electromecánico, en donde la fuerza aplicada se da mediante el empleo de motores que transmiten su fuerza, y otra de tipo hidráulico. En cada una se hace referencia a los elementos descritos anteriormente y las principales diferencias existentes entre estas.

### Imagen 3

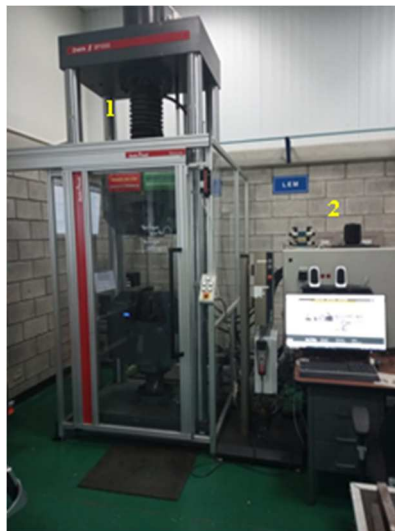
*Máquina de ensayos universales marca Zwick Roell, modelo Z250, de tipo mecánico*



*Nota.* Se indican los siguientes componentes: 1) celda de carga, 2) mordaza móvil, 3) mordaza fija, 4) extensómetro de contacto, 5) travesaño móvil y 6) tarjeta madre de control.

### Imagen 4

*Máquina de ensayos universales marca Zwick Roell, modelo SP1000, de tipo hidráulico*



*Nota.* Se indican los siguientes componentes diferenciadores con respecto a la unidad electromecánica: 1) pistón hidráulico y 2) bomba hidráulica y sistema de refrigeración.

#### 2.1.4. Propiedades mecánicas obtenidas del ensayo de tracción

A nivel de evaluación de aleaciones y materiales metálicos, en general, las pruebas de tracción ofrecen la posibilidad de estimar propiedades mecánicas específicas y de importancia en la ingeniería de control de calidad y diseño. Dentro de estas pruebas se citan las siguientes (American Society for Metals, 2000):

- módulo de elasticidad;
- límite elástico o de fluencia;
- límite de cedencia superior;
- límite de cedencia inferior;
- límite de proporcionalidad;
- resistencia a la tracción;
- resistencia de ruptura;
- porcentaje de elongación;
- porcentaje de reducción del área;
- tenacidad estática;
- resiliencia.

Respecto al control de calidad, estas pruebas evalúan las propiedades del límite elástico, el esfuerzo máximo a la tracción y el porcentaje de elongación, las cuales se explican a continuación.

Límite elástico ( $F_y$ ): es conocido como “límite de fluencia” en el América y “límite elástico” en Europa. Se trata del esfuerzo o la fuerza aplicada en la cual el material empieza a mostrar una deformación de tipo plástica significativa, que surge una vez superada la deformación elástica inicial. Dicho límite muestra la particularidad de que, a nivel de materiales, no existe un punto exacto en donde se dé la división entre el final de las deformaciones elásticas y el inicio de las

plásticas, de manera que se han establecido varios mecanismos para su estimación. Para ello, se hace uso de las gráficas de esfuerzo/fuerza frente a deformación, pues muestran el comportamiento que sufre el material al ser sometido a un estímulo externo, en este caso, una tensión.

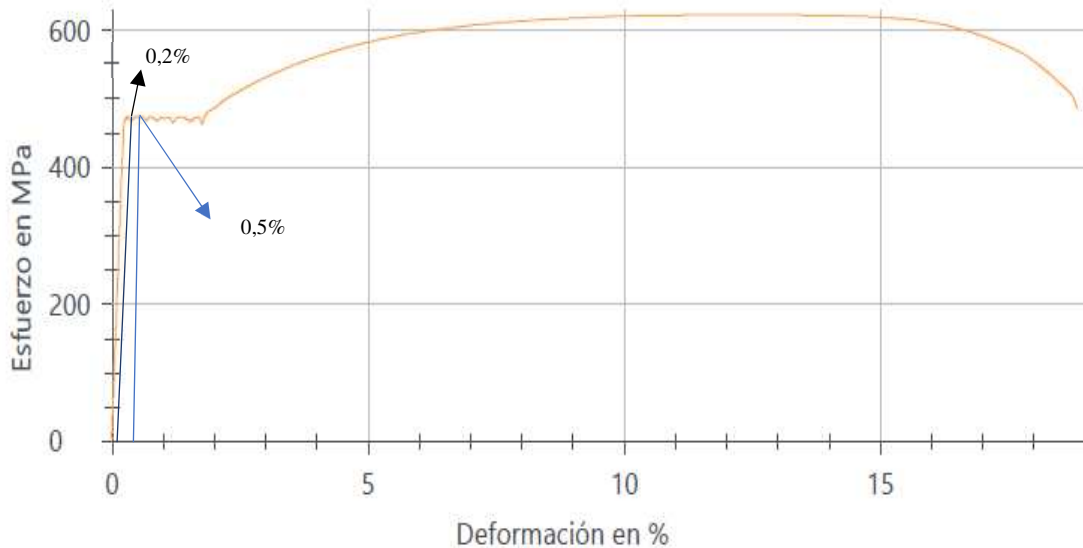
Dentro de las diferentes opciones para su estimación, una de ellas consiste en el denominado límite de fluencia convencional al 0,2 %, el cual es determinado mediante el trazado de una línea paralela a la deformación elástica presente en la gráfica, que se evidencia por la linealidad del segmento de la curva, partiendo de una deformación lineal del 0,0002 mm/mm, ya que este es el punto de intersección entre la recta paralela trazada y la curva de esfuerzo generada de la lectura de dicho esfuerzo (American Society for Metals, 2000). Cabe mencionar que en Europa es usual la estimación de dicho valor de fluencia a partir de la utilización de deformaciones lineales del 0,0001 mm/mm.

Otro mecanismo empleado es el trazo de una línea esta vez perpendicular al eje de deformación de la gráfica, lo que sitúa su origen a un 0,5 % (0,0005 mm/mm). De nuevo, la intersección entre la recta y la curva dará el punto de lectura para la estimación del valor de fluencia.

En la siguiente imagen se representan los mecanismos indicados anteriormente, donde es importante indicar el método utilizado en los reportes de ensayo, con el objetivo de su posterior repetición estandarizada para evaluaciones según los mismos parámetros de reproducibilidad.

### Imagen 5

Gráfica generada durante una prueba de tracción para una muestra de acero en donde es posible observar las líneas de estimación del esfuerzo de fluencia

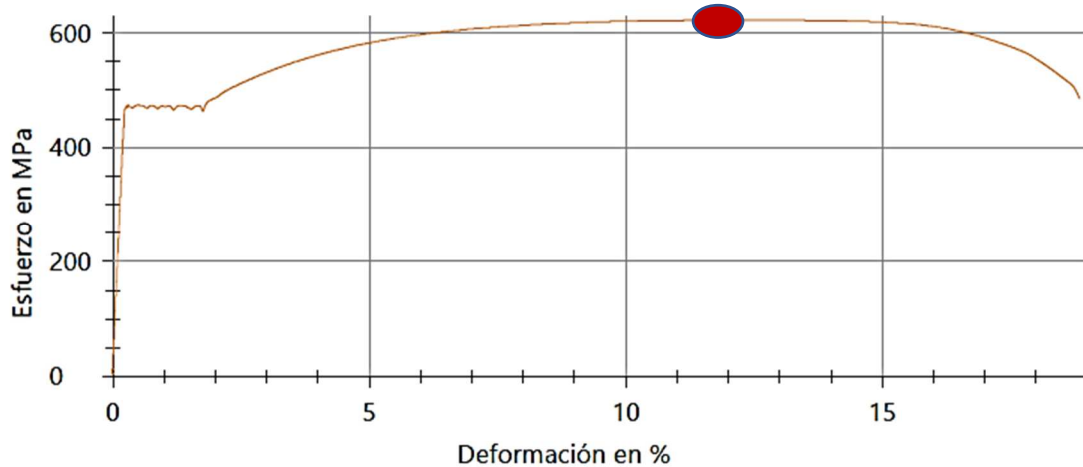


Resistencia máxima a la tracción ( $F_u$ ): corresponde al máximo valor de resistencia o esfuerzo soportado en el material, el cual es representado visualmente en el diagrama de esfuerzo contra deformación como el punto máximo alcanzado en la curva. Se da un decaimiento de la gráfica a partir de dicho punto debido a una disminución localizada del valor del área sobre la cual se da la aplicación de la fuerza, lo que da como resultado una disminución en el valor de esfuerzo registrado hasta la falla o el colapso del elemento evaluado (American Society for Metals, 2000). Cuanta mayor sea la ductilidad que presente el material evaluado, mayor será el decrecimiento observado en la gráfica posterior al esfuerzo máximo registrado.

Un aspecto relevante de la determinación del esfuerzo máximo es que este puede ser indicativo de la presencia de defectos a nivel interno del material tales como exceso de porosidades, laminaciones o indicaciones. Dichos defectos pueden llegar a causar variaciones importantes con respecto a los valores esperados para el tipo de material evaluado.

### Imagen 6

Gráfica generada durante una prueba de tracción para una muestra en donde se indica con un punto rojo el valor de resistencia máxima alcanzado por el material, el cual presenta un valor de 622,64 MPa, según el registro automático del equipo de ensayo



Porcentaje de elongación ( $\% \varepsilon$ ): es una medida de la ductilidad que puede presentar un material metálico, la cual expresa porcentualmente el grado de deformación, tanto plástica como elástica posterior, a la falla del elemento (American Society for Metals, 2000).

Para su estimación, se parte de una longitud inicial  $L_0$  de control ( $L_0$ ) marcada en la muestra de ensayo, que, dependiendo del estándar o la norma de evaluación de un determinado material, toma valores en el rango de 50 mm y 200 mm. Posterior a la falla, se procede a medir nuevamente la zona marcada como  $L_0$  con la finalidad de determinar la longitud de deformación que sufrió el material. Luego, se continúa con la estimación del porcentaje mediante la siguiente ecuación:

$$\% \varepsilon = \frac{(L_f - L_0)}{L_0} \times 100 \quad \text{Ecuación 02}$$

Los respectivos símbolos corresponden a los elementos:

- $\% \varepsilon$  = porcentaje de elongación
- $L_f$  = longitud final
- $L_o$  = longitud inicial o de control

Como indicativo de calidad, el porcentaje de elongación es fundamental, ya que el análisis de los valores obtenidos permite establecer por ejemplo posibles problemas de sobrecalentamiento al que fue expuesto el material por procesos de soldadura o tratamiento térmico, por ejemplo, así como inclusiones metálicas o no metálicas que causan una disminución considerable en el valor esperado de dicha propiedad.

### **Imagen 7**

*Verificación y marcado de una longitud de control  $L_o$  de 200 mm para la determinación del porcentaje de elongación en una muestra de barra de acero para refuerzo de concreto mediante una prueba de tracción*



### **2.2.1 Caracterización de los materiales mediante las pruebas de metalografía**

La ciencia y la ingeniería de los materiales han podido establecer que las propiedades que presentan todos los materiales se encuentran influenciadas tanto por la composición química como su constitución, entendiendo esta última como la forma física mediante la cual se ordenan los

átomos en las estructuras cristalinas. Por ejemplo, dos aceros pueden poseer una misma composición química, pero un ordenamiento espacial de sus átomos diferente en su constitución, expresado visualmente como microconstituyentes o microestructuras. Lo anterior provoca que los dos aceros tengan valores distintos respecto a una misma propiedad (Alamán, 2016).

La metalografía es la técnica que examina las características microestructurales o constitutivas de un material metálico, las cuales, a su vez, están íntimamente relacionadas con las propiedades físicas, químicas, mecánicas y tecnológicas, con base en la evaluación superficial o interna del metal mediante herramientas visuales como los microscopios. Esta herramienta básica en la caracterización de los metales también lo es para los materiales poliméricos, cerámicos y las diferentes combinaciones posibles en materiales compuestos, por lo que se le asigna el nombre de metalografía cuando dicho estudio abarca materiales distintos a los metálicos.

Es posible que algunas especificaciones de materiales contengan requisitos respecto a la microestructura que deben presentar, de manera que la evaluación a partir de técnicas metalográficas es importante como un medio de control microestructural e inspección con la finalidad de garantizar el cumplimiento de los requisitos. Los análisis de falla de materiales y de investigación y desarrollo de nuevos materiales son otros campos de aplicación de la metalografía como elemento de control.

### **2.2.2 Subdivisión de las pruebas en metalografía**

Como ensayo, la metalografía puede ser subdividida en dos tipos de análisis, clasificación que se basa en la magnificación utilizada para la ejecución de las pruebas, la cual es definida como el aumento en el que se observa la superficie del material a ser evaluado. Los instrumentos ópticos como lupa, espejos o estereoscopios se emplean para evaluaciones macroscópicas, mientras que los microscopios de clase óptica, láser o incluso electrónicos se destinan a los análisis

micrográficos debido a que cuentan con un alto poder de magnificación de la imagen. Sin embargo, durante las pruebas de laboratorio e industria es común referirse a estos instrumentos simplemente con el término de “ensayo metalográfico” (American Society for Metals, 2012).

Mediante el empleo de las pruebas macrográficas es posible realizar una evaluación de los siguientes aspectos:

- **Líneas de flujo de forja:** permiten establecer si un determinado producto fue fabricado mediante procesos de maquinado tradicionales (torneado o fresado) o conformado por metales (trefilado o estampado, por ejemplo).
- **Capas de recubrimientos o tratamientos superficiales:** sirven para determinar el nivel de profundidad aplicado de un recubrimiento específico e incrementar su resistencia al desgaste por corrosión o la modificación sufrida por algún tratamiento térmico de tipo físico o termoquímico, lo que significa un mejoramiento de sus propiedades mecánicas.
- **Zonas de soldadura:** en donde es posible determinar posibles llamas a nivel de falta de penetración, fusión y grietas, tanto del material de aporte como del metal base, sumado a la evaluación de la zona afectada por el calor ZAC como producto del proceso de unión.
- **Microestructuras a nivel macro:** mediante estas se evidencia si hay un tamaño de grano alto, el cual es producto de una falta de procesos de recosidos de recristalización para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del material.

Por su parte, las pruebas macrográficas permiten efectuar las evaluaciones descritas a continuación:

- **Microestructura presente en el material:** corresponde a la visualización del ordenamiento espacial de los átomos que conforman el material y se puede llevar a cabo mediante los instrumentos de magnificación. Dicha evaluación es fundamental, ya que los diferentes constituyentes de la microestructura han de poseer características propias a nivel

de enlace atómico y distribución, las cuales influyen en todas las propiedades que estos presentan. Para el caso particular de los materiales metálicos, a nivel de aceros, las microestructuras más comunes que los conforman corresponden a soluciones sólidas en estado de recocido o normalizado (ferrita alfa o austenita gamma), mezclas mecánicas (perlita) y compuestos químicos (carburo de hierro o cementita), aunque es posible que exista un sinnúmero de microestructuras en función del estado que muestre la aleación (American Society for Metals, 2012).

- **Tamaño y forma de grano:** el grano es la unidad base de conformación de la microestructura en estado de recocido o normalizado de un material metálico, cuya medida de tamaño y forma muestra el posible comportamiento mecánico del material.
- **Microfisuramientos:** son visualizados como grietas minúsculas que pueden bordear o atravesar los granos que integran la microestructura. Su presencia es indicativa de posibles fenómenos de corrosión por tensión o fragilización por hidrógeno, procesos de difusión de dicho gas dentro del material o resultado de la fatiga del material debido a la aplicación de cargas cíclicas.
- **Inclusiones:** evidencian un tamaño de grano alto, lo cual es producto de una falta de procesos de recocidos de recristalización para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del material.

### 2.2.3 Pasos del ensayo de metalografía

En la realización de una prueba metalográfica es necesario seguir una serie de pasos que garantizan una correcta preparación de las muestras, lo que, a su vez, posibilita un diagnóstico visual adecuado de la constitución observada en las imágenes obtenidas. Una referencia útil es el estándar sectorial ASTM E3: Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens, que

detalla aspectos a seguir en cada paso requerido dentro de esta preparación de los especímenes para su análisis.

Basada en el estándar ASTM E3, la lista de pasos a seguir, una vez seleccionada la muestra de ensayo, consiste básicamente en procesos de corte, montaje, desbaste, pulido y ataque químico, los cuales se describen a continuación.

### **2.2.3.1 Corte y extracción de la muestra**

Constituye la primera etapa del análisis metalográfico y su fin es extraer aquella parte de la muestra que va a ser sometida a estudio bajo un microscopio o un análisis visual estructural. Para ello, se utilizan dispositivos tales como sierras de corte manual o tronzadoras de disco con sistemas de refrigeración, de manera que las muestras no experimenten choques térmicos que puedan causar modificaciones en los microconstituyentes y se logre extraer una parte cercana a la zona de estudio. En dicha etapa es usual que la extracción ocurra en los tres diferentes ejes de las muestras a nivel trasversal, lateral o planta, ya que es posible que los fenómenos que se desean analizar se presenten únicamente en un determinado plano de estudio.

## Imagen 8

*Equipo tronizador con sistema de refrigeración para el corte de segmentos destinados a las pruebas metalográficas*



### 2.2.3.2 Montaje metalográfico

Como segundo paso, se procede a realizar el montaje metalográfico del segmento de muestra extraído, el cual consiste en generar una pequeña probeta, cuya función primordial es facilitar la preparación de la muestra en las etapas posteriores de desbaste y pulido.

Existen varios tipos de montaje, de manera que este es seleccionado en función de parámetros tales como tipo y tamaño de material, afectación térmica, disponibilidad de equipo, entre otros. En un laboratorio, los montajes más comunes son los siguientes:

- **Montaje metalográfico mecánico:** consiste en un montaje sencillo que no requiere la utilización de un equipo especial de embutición. Se utilizan pequeñas abrazaderas metálicas o prensas de diferentes tipos y tamaños para lograr una adecuada sujeción de la muestra.
- **Montaje metalográfico en frío:** para este montaje se emplean dos tipos diferentes de resinas poliméricas, las cuales se mezclan en estado líquido vertiendo la mezcla sobre la

muestra contenida en un pequeño molde, en donde es común el uso de resinas de tipo epoxi, acrílicas o de poliéster. La solidificación de la mezcla se da a temperatura ambiente, luego de la reacción entre los polímeros que la constituyen; sin embargo, cuando la presencia de burbujas sea crítica en este tipo de montaje, se deben utilizar campanas de vacío para evitarlas.

- **Montaje metalográfico en caliente:** los equipos empleados pueden ser de tipo manual o automático, en cuyo caso deben suministrar la presión y la temperatura necesaria para la conformación y el curado de la resina polimérica, así como contar con un sistema de enfriamiento. Al igual que en el montaje en frío, existe una gran cantidad de resinas poliméricas que se seleccionan en función del tipo de análisis metalográfico que se le realizará a la muestra. Asimismo, cada una de estas tiene sus parámetros de conformación y curados establecidos.

### Imagen 9

*Equipo termoformador para el encapsulamiento de las muestras para las pruebas metalográficas*



### 2.2.3.3 Desbaste de las muestras

El desbaste o lijado consiste en la preparación de la muestra, luego de su montaje metalográfico, para su posterior análisis bajo el microscopio mediante el uso de discos o papel abrasivo de diferente granulometría. Así es como se efectúa un lapeado en la muestra hasta llevarla a un nivel de baja rugosidad previo a lograr una superficie especular.

Existen varios tipos de equipos para el desbaste de muestras: manuales, semiautomáticos o automáticos, junto con sus respectivos accesorios. Sin embargo, en todos estos equipos es importante el uso de sustancias removedores de partículas o dosificadores para mejorar la calidad de la superficie obtenida. El desbaste más sencillo consiste en la utilización de papeles de lija de granos decrecientes 240, 320, 400 y 600, aunque es posible emplear papeles de grano superior, mientras que, como medio de lubricación y remoción de partículas, el líquido aplicado es el agua.

#### **Imagen 10**

*Equipo de desbaste automático de las muestras para las pruebas metalográficas*



#### 2.2.3.4 Pulido metalográfico

Esta etapa del proceso tiene como objetivo crear una superficie especular sobre la muestra, que permita su posterior análisis bajo el microscopio mediante la eliminación de las marcas de desbaste. Para dicha eliminación de marcas se emplean polvos abrasivos, pastas o emulsiones a base de óxidos y diamantes. Además, se utilizan felpas y discos en las máquinas pulidoras, las cuales pueden ser tanto manuales como automáticas.

Es importante señalar que, inmediatamente finalizada esta etapa, se debe de realizar una evaluación visual de la superficie de la muestra, con el objetivo de observar indicaciones previas al ataque químico que también forma parte del análisis.

#### Imagen 11

*Equipo de pulido manual de las muestras para las pruebas metalográficas*



### **2.2.3.5 Ataque químico**

Como punto final de la preparación de la superficie, la muestra analizada es cubierta o sumergida en una disolución (reactivo químico) con la finalidad de que ataque selectivamente ciertas zonas y constituyentes de la aleación, para así revelar su microestructura (microcorrosión controlada). Otra técnica de ataque consiste en el proceso electroquímico, en donde, con la ayuda tanto del reactivo químico como el paso de una corriente eléctrica continua, se realiza la disolución de la superficie de manera separada, ya que esta misma actúa como un ánodo de desgaste.

### **2.2.3.6 Evaluación de los resultados metalográficos**

A nivel mundial, un referente en cuanto a la evaluación mediante técnicas metalográficas es la Sociedad Americana de Metales (ASM Internacional), institución que centra sus estudios en temas referentes a materiales, dando apoyo a través de la transferencia del conocimiento técnico, científico y tecnológico. En el caso específico de la metalografía, el desarrollo del ASM Handbook Volumen 9, Metallography and Microstructures, suministra una extensa base de imágenes comparativas a nivel metalográfico, que es muy útil para la identificación y el diagnóstico en esta clase de pruebas.

Dado que el ensayo metalográfico es, en primera instancia, una evaluación de tipo cualitativo de una imagen, la calidad técnica y profesional de la persona a cargo de la evaluación juega un papel preponderante, quien debe haber acumulado conocimiento y experiencia a lo largo de su carrera profesional, así como especialización en dicha técnica de análisis.

A continuación, se presenta una serie de imágenes producto de los análisis metalográficos de tipo micrográfico:

**Imagen 12**

*Metalografía de una muestra de acero posterior a su ataque químico con Nital al 4 %*



*Nota.* Se observa una zona marcada de segregación con concentración y alternancia de bandas de perlita, lo que aumenta la presencia del elemento carbono a nivel microestructural. La constitución de la matriz del material es de tipo ferrítico perlítica con evidencia de algunas inclusiones globulares de tamaño superior a los granos de dicha matriz. Magnificación 3,15 X.

**Imagen 13**

*Metalografía de una muestra de acero previo a su ataque químico*



*Nota.* Se observa la presencia y la distribución homogénea de inclusiones globulares del tipo posible óxido. También hay remanentes del proceso de desbaste sin que estos afecten la interpretación de los resultados. Magnificación 3,15 X.

**Imagen 14**

*Metalografía de una muestra de acero previo a su ataque químico*



*Nota.* Se observa la presencia y la concentración de inclusiones no metálicas del tipo posible base fósforo de geometrías variables con tamaños considerables de hasta un máximo de 2450 micrómetros. Además, se evidencian varias zonas de faltante de material producto del proceso de fabricación del material. Magnificación 3,15 X.

**Imagen 15**

*Metalografía de una muestra de acero posterior a su ataque químico con Nital al 4 %*



*Nota.* Se evidencia una gran cantidad de inclusiones alargadas no metálicas de distintas longitudes orientadas de manera paralela entre ellas. También, se logra apreciar con claridad un tamaño de grano no homogéneo en el material compuesto básicamente por una matriz de tipo ferrítica. Magnificación 6,3 X.

## Capítulo 3

### 3.1 Marco metodológico

#### 3.1.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de investigación del proyecto fue de tipo cuantitativo, pues se realizó una comparación directa y un análisis respectivo de los requisitos de las propiedades mecánicas y dimensionales presentes en los productos de acero a evaluar con los estándares de calidad, lo cual se llevó a cabo mediante la obtención de los resultados numéricos de las diferentes pruebas de ensayo efectuadas.

Dicha comparación directa de los resultados obtenidos contra los límites de aceptación o rechazo permitió determinar el grado de cumplimiento de los requisitos que deben tener dichos productos, tanto para su uso como su comercialización en el territorio nacional, y así definir si son de calidad o no, lo que dio respuesta al objetivo general de la investigación.

#### 3.1.2 Método de investigación

Existen diferentes métodos investigativos con características definidas según el enfoque seleccionado y cuyo propósito se centra en responder preguntas de investigación, cumplir objetivos, someter pruebas de hipótesis a comprobación, entre otros. Asimismo, las investigaciones del enfoque cuantitativo se pueden subdividir en dos tipos característicos: las no experimentales y las experimentales (Hernández Sampieri *et al.*, 2014).

Con base en lo expuesto en el párrafo anterior y para el caso particular de este estudio, se estableció un método de investigación de tipo experimental, por cuanto se llevó a cabo, bajo condiciones controladas (estandarización de pruebas de ensayo), la medición de variables para su posterior comparación y evaluación de conformidad.

### 3.1.3 Sujetos y fuentes de información

Los sujetos de investigación corresponden fueron los diferentes productos de barras y alambres de acero para refuerzo de concreto evaluados, los cuales se indicaron dentro del alcance de este proyecto. De esta forma, se optó por cuatro sujetos de estudio, cuyo elemento diferenciador fueron los fabricantes tanto a nivel nacional como internacional (molinos o laminadores).

Dichos productos se encuentran disponibles en el país y median su colocación en el mercado nacional en distintos establecimientos de compra de materiales constructivos (ferreterías). Debido a las limitantes, inicialmente, se definió un modelo de muestreo por conveniencia para la determinación del tamaño de la muestra y los criterios de evaluación de conformidad con los sujetos de estudio.

Como segundo elemento y fuente de información requerida en el estudio, se estableció la documentación tanto a nivel de legislación nacional como de calidad aplicable a los sujetos en estudio para la determinación de sus requisitos de empleo y evaluación de conformidad, de acuerdo con las características a cumplir señaladas en los alcances del proyecto. Por lo tanto, se definió un nivel de jerarquía en donde se consideran los siguientes documentos:

- Reglamento Técnico Nacional RTCR 452: 2011 Barras y alambres de Acero de Refuerzo para Concreto. Especificaciones;
- CSCR Código Sísmico de Costa Rica 2010 (Revisión 2014);
- Norma Nacional INTE C400:2020 Barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto. Requisitos;
- Norma Nacional INTE C401:2020 Barras de acero de bala aleación lisas y corrugadas para refuerzo de concreto. Requisitos;
- Norma Nacional INTE C402:2020 Alambre de acero al carbono liso y corrugado y mallas electrosoldadas para refuerzo de concreto. Requisitos;

- Norma Sectorial ASTM A615/A615M-20 Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement;
- Norma Sectorial ASTM A706/A706M-16 Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement;
- Norma Sectorial ASTM A1064/A1064M-18 Standard Specification for Carbon-Steel Wire and Welded Wire Reinforcement, Plain and Deformed, for Concrete.

Para toda la normativa citada anteriormente se empleó su versión vigente durante la realización del presente proyecto. También se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica en temas de ensayos de materiales como parte de las fuentes de información requeridas para la comprensión de los conceptos y los aspectos teóricos incluidos en el marco teórico. Dicha lista se encuentra en la bibliografía de este documento.

Finalmente, la última fuente de información y la más importante fue la utilización de diferentes equipos de ensayo de laboratorio y preparación de muestras, los cuales constituyeron el elemento principal para el desarrollo del presente proyecto. Estos equipos sirvieron para generar los respectivos resultados cuantitativos/cualitativos de los parámetros evaluados y comparados bajo los estándares de calidad definidos.

### **3.1.3 Técnicas e instrumentos de recolección de la información**

La primera técnica de recolección de la información fue una revisión documental con la finalidad de establecer los requisitos de evaluación de control de calidad aplicables para barras y alambres de acero a ser estudiados, para así valorar el alcance del proyecto según sus posibilidades reales de desarrollo. De esta forma, se procedió a efectuar una lectura detallada, en primera instancia, de la legislación nacional, tomando como base para el establecimiento de requisitos legales el documento RTCR 452: 2011 y sus reformas (Procuraduría General de la República,

2022), el cual fue consultado en su última versión electrónica mediante la página del Estado costarricense.

Como segundo elemento de información de legislación nacional se llevó a cabo una lectura puntual del CSCR 2010 (revisión 2014) para los apartados 8.1.2 Resistencia de Materiales y 9.3.5 Requisitos para el Refuerzo de la Mampostería. Cabe hacer mención que, al momento de dicha actividad, se constató que existe un cambio significativo en cuanto a los requisitos solicitados en ambos puntos entre la versión actual vigente CSCR 2010 (revisión 2014) y la versión anterior CSCR 2010, la cual sigue siendo utilizada como documento de consulta (Instituto Nacional de Normas Técnicas de Costa Rica, 2021).

Para establecer los requisitos de evaluación de conformidad del producto, también se efectuó un análisis detallado de la normativa nacional INTE C400:2020, INTE C401:2020 e INTE C402:2020, así como una revisión general de su contraparte, la normativa sectorial ASTM A615/A615M-2020 y ASTM A706/A706M-2016A1064/A1064M-2018. Adicional a esta revisión documental, se hizo una lectura bibliográfica sobre los ensayos en materiales metálicos y las propiedades de los materiales como base del marco teórico.

Finalizada la etapa de revisión documental, se procedió a contactar empresas nacionales de fabricación e importación de los diferentes productos bajo estudio mediante llamadas telefónicas, con el propósito de evaluar la disponibilidad de adquisición de estos. En total, se contactaron las siguientes ocho empresas:

- Arcelor Mittal Costa Rica
- Abonos Agro
- Aceros Monge
- Metales Flix
- Ferromax

- Intersteel
- Gerdaum Metaldom
- Corporación Matco

Realizada dicha consulta y a partir de los resultados expresados en las limitaciones del proyecto, se efectuó la cotización y la búsqueda de productos mediante su adquisición en comercios de venta de materiales constructivos (ferreterías). Además, se consideraron los siguientes aspectos para cumplir con la cantidad de especímenes de prueba: las posibilidades de transporte disponible, la ubicación, la disponibilidad del producto y las opciones de corte de muestras. De esta forma, se optó por la adquisición de los materiales requeridos en los siguientes tres establecimientos a partir de varias compras:

- Construplaza
- El Lagar
- Ferromax

### **Imagen 16**

*Recepción de la primera compra de materiales para inspección en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales*



Debido a que fue necesaria la utilización de técnicas de ensayo y preparación de muestras para la obtención de los resultados mediante instrumentos (equipos de ensayo) específicos, se gestionó la posibilidad de colaboración y autorización por parte del Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), ubicado en la Ciudad Tecnológica Mario Echandi, Alajuela, para la realización de dichas pruebas; petición que fue avalada.

Para el desarrollo de las pruebas, el LEM facilitó el empleo de los siguientes equipos:

- equipos de corte (tronzadoras, seguetas y esmeril de banco);
- equipos de preparación de metalografía (encapsuladoras, lijadoras y pulidoras de disco, microscopio metalográfico invertido y reactivos químicos);
- equipos de medición de masa (balanza granataria);
- equipos auxiliares de medición (flexómetro, caliper, regla, escuadra de nivel y termohigrómetro);
- máquina de ensayos universales;
- unidad de espectrometría;
- consumibles varios (líquidos de limpieza, pasta y paños de pulido, discos de desbaste y corte, resinas de encapsulamiento, desengrasantes, paños y toallas de limpieza).

Un aspecto importante referente a los equipos facilitados es que se encuentran bajo un control metrológico constante mediante actividades de confirmación tales como calibraciones y verificaciones con materiales de referencia certificados (MRC), los cuales dieron respaldo a los resultados obtenidos.

Una vez finalizada la etapa de pruebas experimentales y la respectiva obtención de la información, se efectuó el análisis de los datos mediante la técnica de comparación con los valores de control establecidos en los documentos de referencia citados. De esta forma, se declaró la

conformidad o no conformidad de producto y sus características microestructurales a partir de la interpretación de las imágenes obtenidas por un experto profesional.

## Capítulo 4

### 4.1 Resultados experimentales y análisis

#### 4.1.1 Marcado de producto

Como punto de partida a la fase experimental del proyecto, se procedió a realizar una inspección de todos los sujetos de prueba con la finalidad de dar cumplimiento a los requisitos descritos en la tabla Alcance de Evaluación para el Parámetro de Marcado del Producto mediante una inspección visual y recolecta de información en las tablas de registro.

Dicha operación se realiza como primera actividad debido a que posteriormente se ha de realizar diferentes cortes de los especímenes para ir adecuado los mismos a los diferentes ensayos subsecuentes de evaluación.

A continuación, se procede a presentar mediante tablas los resultados obtenidos en la actividad descrita anteriormente, así como imágenes representativas de la evaluación:

#### Cuadro 6

*Resultados de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #3, grado 40*

Barra #3 grado 40 espécimen	Punto de origen	Designación de tamaño	Tipo de acero (INTE C400 o INTE C401 o ambas)	Designación de resistencia a fluencia ( $F_y$ )
1	AM CR	3	S	No marcado
2	AM CR	3	S	No marcado
3	AM CR	3	S	No marcado
4	AM CR	3	S	No marcado
5	AM CR	3	S	No marcado
6	AM CR	3	S	No marcado
7	AM CR	3	S	No marcado
8	AM CR	3	S	No marcado
9	AM CR	3	S	No marcado
10	AM CR	3	S	No marcado
11	AM CR	3	S	No marcado
12	AM CR	3	S	No marcado

### Imagen 17

Fotografía de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #3, grado 40



Se ejemplifican el punto de origen (círculo color rojo), la designación del tamaño (círculo color azul) y el tipo de acero (círculo color amarillo).

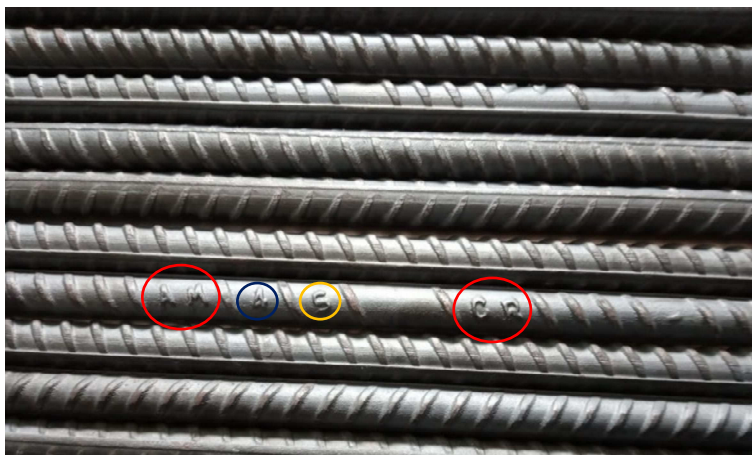
### Cuadro 7

Resultados de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #4, grado 40

Barra #4 grado 40 espécimen	Punto de origen	Designación de tamaño	Tipo de acero (INTE C400 o INTE C401 o ambas)	Designación de resistencia a fluencia (Fy)
1	AM CR	4	S	No marcado
2	AM CR	4	S	No marcado
3	AM CR	4	S	No marcado
4	AM CR	4	S	No marcado
5	AM CR	4	S	No marcado
6	AM CR	4	S	No marcado
7	AM CR	4	S	No marcado
8	AM CR	4	S	No marcado
9	AM CR	4	S	No marcado
10	AM CR	4	S	No marcado
11	AM CR	4	S	No marcado
12	AM CR	4	S	No marcado

### Imagen 18

Fotografía de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #4, grado 40



Nota. Se ejemplifican el punto de origen (círculo color rojo), la designación del tamaño (círculo color azul) y el tipo de acero (círculo color amarillo).

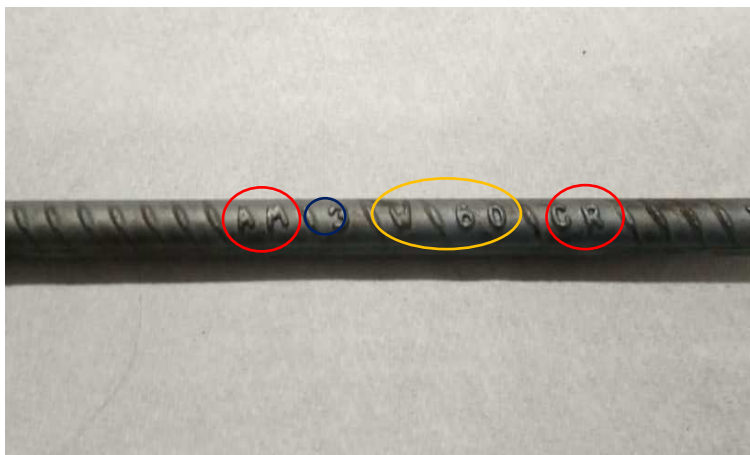
### Cuadro 8

Resultados de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #3, grado 60

Barra #3 grado 60 espécimen	Punto de origen	Designación de tamaño	Tipo de acero (INTE C400 o INTE C401 o ambas)	Designación de resistencia a fluencia (Fy)
1	AM CR	3	W	60
2	AM CR	3	W	60
3	AM CR	3	W	60
4	AM CR	3	W	60
5	AM CR	3	W	60
6	AM CR	3	W	60
7	AM CR	3	W	60
8	AM CR	3	W	60
9	AM CR	3	W	60
10	AM CR	3	W	60
11	AM CR	3	W	60
12	AM CR	3	W	60

### Imagen 19

Fotografía de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #3, grado 60



Nota. Se ejemplifican el punto de origen (círculo color rojo), la designación del tamaño (círculo color azul), el tipo de acero y la designación de la resistencia (círculo color amarillo).

### Cuadro 9

Resultados de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #4, grado 60

Barra #4 grado 60 espécimen	Punto de origen	Designación de tamaño	Tipo de acero (INTE C400 o INTE C401 o ambas)	Designación de resistencia a fluencia (Fy)
1	AM CR	4	W	60
2	AM CR	4	W	60
3	AM CR	4	W	60
4	AM CR	4	W	60
5	AM CR	4	W	60
6	AM CR	4	W	60
7	AM CR	4	W	60
8	AM CR	4	W	60
9	AM CR	4	W	60
10	AM CR	4	W	60
11	AM CR	4	W	60
12	AM CR	4	W	60

## Imagen 20

Fotografía de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor Construplaza, barra #3, grado 60



*Nota.* Se ejemplifica el punto de origen (círculo color rojo), la designación del tamaño (círculo color azul), el tipo de acero y la designación de resistencia (círculo color amarillo).

## Cuadro 10

Resultados de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor El Lagar, barra #3, grado 40

Barra #3 grado 40 espécimen	Punto de origen	Designación de tamaño	Tipo de acero (INTE C400 o INTE C401 o ambas)	Designación de resistencia a fluencia (Fy)
1	KD Turkey	3	S	No marcado
2	KD Turkey	3	S	No marcado
3	KD Turkey	3	S	No marcado
4	KD Turkey	3	S	No marcado
5	KD Turkey	3	S	No marcado
6	KD Turkey	3	S	No marcado
7	KD Turkey	3	S	No marcado
8	KD Turkey	3	S	No marcado
9	KD Turkey	3	S	No marcado
10	KD Turkey	3	S	No marcado
11	KD Turkey	3	S	No marcado
12	KD Turkey	3	S	No marcado

## Imagen 21

Fotografía de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor El Lagar, barra #3, grado 40



*Nota.* Se ejemplifican el punto de origen (círculo color rojo), la designación del tamaño (círculo color azul) y el tipo de acero (círculo color amarillo).

## Cuadro 11

Resultados de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor El Lagar, barra #4, grado 40

Barra #4 grado 40 espécimen	Punto de origen	Designación de tamaño	Tipo de acero (INTE C400 o INTE C401 o ambas)	Designación de resistencia a fluencia (Fy)
1	KD Turkey	4	S	No marcado
2	KD Turkey	4	S	No marcado
3	KD Turkey	4	S	No marcado
4	KD Turkey	4	S	No marcado
5	KD Turkey	4	S	No marcado
6	KD Turkey	4	S	No marcado
7	KD Turkey	4	S	No marcado
8	KD Turkey	4	S	No marcado
9	KD Turkey	4	S	No marcado
10	KD Turkey	4	S	No marcado
11	KD Turkey	4	S	No marcado
12	KD Turkey	4	S	No marcado

## Imagen 22

*Fotografía de la evaluación del parámetro marcado del producto para el proveedor El Lagar, barra #4, grado 40*



*Nota.* Se ejemplifican el punto de origen (círculo color rojo), la designación del tamaño (círculo color azul) y el tipo de acero (círculo color amarillo).

Para todos los especímenes evaluados, en primera instancia, se logró comprobar que se realizó un adecuado marcado del producto, según los parámetros establecidos en los documentos de referencia. Sin embargo, la evaluación posterior de las pruebas mecánicas para los especímenes correspondientes al fabricante con código KD-TR #3 Gr 40 indicaron una no congruencia con la información inicialmente marcada en el producto. Por lo tanto, al final de la evaluación, también se dio una indica un incumplimiento de requisitos para dicho producto en específico.

Los productos con la indicación de punto de origen AM CR corresponden al fabricante Arcelor Mittal y su planta de fabricación ubicada en Anita Grande, Guápiles, provincia de Limón, Costa Rica. Los cubiertos bajo la indicación KD Turkey son productos elaborados en el molino de origen turco Kaptan Demir Çelik.

En ambos fabricantes se observó el marcado de designación del diámetro de la barra de refuerzo con los números 3 y 4, que hacen referencia a unidades de pulgada-libra (número 10 y número 13 bajo unidades del Sistema Internacional, SI). También se dio el marcado del tipo de

acero correspondiente con la letra ese (S) para indicar las barras de refuerzo cubiertas bajo el estándar nacional INTE C400 o con la letra doble u (W) para señalar las barras de refuerzo cubiertas bajo el estándar nacional INTE C401. En ninguno de los casos evaluados hubo la indicación SW, destinada a las barras que cumplen con ambos estándares de acero.

Respecto a la designación de resistencia de fluencia ( $F_y$ ), se siguieron las recomendaciones de la norma sobre la posibilidad de no utilizar símbolos o marcados para barras que presenten un grado de referencia de 280 MPa (40 ksi). Por su parte, para las barras con un grado de mínimo de 420 MPa (60 ksi), sí se realizó el marcado correcto empleando el número 60 en referencia al sistema de marcado en unidades pulgada-libra.

En el caso específico de los productos fabricados bajo el estándar INTE C402, no se llevó a cabo la evaluación del marcado, pues no es una obligación impuesta por la norma. No obstante, es importante señalar que, de acuerdo con los requisitos, la identificación de este tipo de productos se efectúa en el etiquetado, lo cual es un punto que no estaba dentro del alcance del proyecto. Pese a no ser un requisito, las muestras evidenciaron cierta información que sirvió para una primera identificación de las características del producto. Particularmente, en el alambre de diámetro nominal de 5,25 mm de diámetro, se observó el marcado comercial correspondiente al producto Armex del fabricante Bekaert. Dicho producto no poseía una indicación de marcado que hiciera referencia al diámetro nominal o el grado de resistencia a la fluencia, por lo que se partió de los valores indicados por el vendedor del producto al momento de cotización del alambre, el cual señaló dicho diámetro y un grado 515 (75).

**Imagen 23**

*Fotografía correspondiente al marcado observado en el alambre evaluado de acero para refuerzo de concreto de 5,25 mm de diámetro*



Asimismo, para el alambre de tamaño D6 (correspondiente a 7,01 mm), adicional a la marca comercial del producto (Ferromax), se encontró información sobre el diámetro nominal de la muestra y el grado de resistencia mecánica al esfuerzo de fluencia. Este producto es fabricado por la corporación empresarial Grupo Ferromax de capital y origen salvadoreño.

**Imagen 24**

*Fotografía correspondiente al marcado observado en el alambre evaluado de acero para refuerzo de concreto de D6 (7,01 mm) de diámetro*



#### 4.1.2 Variación de la masa

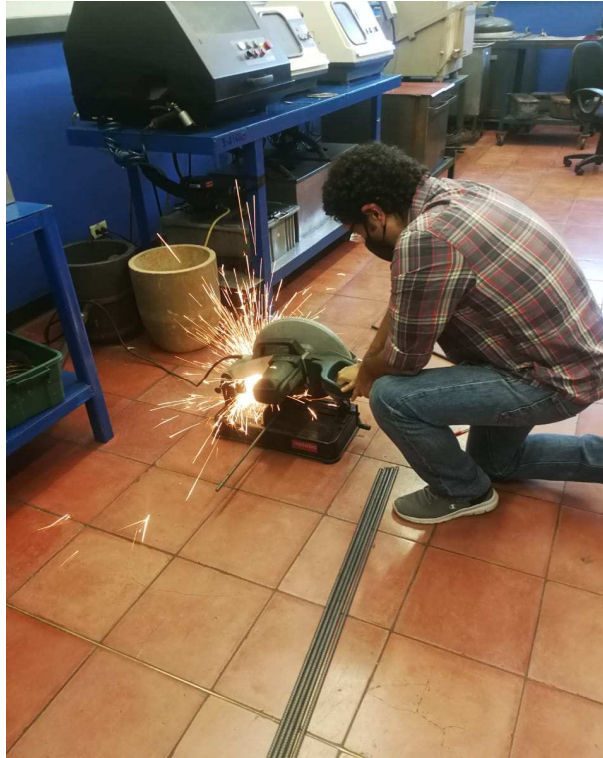
Como segundo punto de la evaluación de la fase experimental del proyecto, se realizó una inspección de todos los sujetos de prueba, con la finalidad de cumplir con los requisitos de la evaluación descritos en el cuadro: *Alcance de evaluación para el parámetro de variación de masa*. Por ello, resultó fundamental hacer previamente el corte de los especímenes, su medición de longitud y, finalmente, su pesaje, para así determinar la masa experimental presente en cada uno de estos de manera lineal (kg/m).

Por lo tanto, se procedió a efectuar el corte con la ayuda de un tronizador manual de disco abrasivo marca Metabo, modelo CS23-355, para lo cual se dispuso que cada elemento tuviera una longitud aproximada de un metro. Se hizo el corte por lote de proveedor con el objetivo de evitar el mezclado de las muestras, ya que no todos los tramos quedaron cortados con las codificaciones de marca de producto evaluadas anteriormente. Luego, se llevó a cabo la medición final del elemento cortado en cinco ocasiones con la ayuda de un flexómetro, así se dio la obtención representativa de un valor promedio, y se anotaron estos valores en los cuadros de recolección de datos creados para tal fin.

Debido al proceso de corte efectuado, los especímenes presentaron rebabas de material sobrante, lo cual constituyó un elemento de precaución al ser cortantes. De esta forma, como medida de seguridad, estos fueron removidos mediante la utilización de un esmeril de banco, junto con un proceso de eliminación de óxidos superficiales para algunos especímenes, en donde se empleó un cepillo de cerdas de bronce.

**Imagen 25**

*Fotografía correspondiente al proceso de corte de las muestras para la evaluación lineal de la variación de la masa*



Una vez realizado el corte y la medición de longitud, se efectuó el pesaje de cada muestra utilizando una balanza granataria digital marca Ohaus, modelo SJX6201/E, con una capacidad máxima de 6,2 kg y una resolución de 0,1 gramos. En total fueron cinco mediciones por muestra con la finalidad de obtener un valor promedio representativo, para lo cual se colocaron las muestras en el centro del plato de la balanza de manera transversal y así evitar posibles variaciones de medición por excentricidad. De forma similar a la actividad de registro de la longitud de los segmentos cortados, se registraron manualmente los valores obtenidos para su posterior digitación.

**Imagen 26**

*Fotografía correspondiente al proceso de pesaje de las muestras para la evaluación lineal de la variación de la masa*

**Imagen 27**

*Fotografía correspondiente a una lectura de masa efectuada a uno de los especímenes de barras de acero de refuerzo en evaluación*



A continuación, se procedió a presentar mediante cuadros los resultados obtenidos en la actividad descrita anteriormente, así como las imágenes representativas de la evaluación:

## Cuadro 12

*Resultados de la evaluación del parámetro variación de masa para las barras #3 y #4, grado 40, fabricante AM*

Barras #3 y #4 grado 40 espécimen	Longitud en mm					Masa gr					Masa unitaria experimental (kg/m)	Masa nominal INTE C400 - ASTM A615 (kg/m)	Porcentaje de masa real respecto al teórico (mín. 94 %)	Condición de masa
	X1	X2	X3	X4	X5	X1	X2	X3	X4	X5				
AM CR #3 Gr 40-1	998	998	998	998	998	529,6	529,5	529,6	529,6	529,6	0,531	0,560	94,8	Conforme
AM CR #3 Gr 40-2	999	999	999	999	999	530,6	530,7	530,7	530,7	530,6	0,531	0,560	94,9	Conforme
AM CR #3 Gr 40-3	997	997	997	997	997	528,5	528,5	528,5	528,5	528,5	0,530	0,560	94,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-4	1000	1000	1000	1000	1000	530,9	530,9	530,9	530,9	530,9	0,531	0,560	94,8	Conforme
AM CR #3 Gr 40-5	997	997	997	997	997	529,0	529,0	529,0	529,0	529,0	0,531	0,560	94,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-6	999	999	999	999	999	529,5	529,6	529,6	529,5	529,5	0,530	0,560	94,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-7	997	997	997	997	997	529,4	529,4	529,4	529,5	529,5	0,531	0,560	94,8	Conforme
AM CR #3 Gr 40-8	992	992	992	992	992	525,8	525,8	525,7	525,7	525,7	0,530	0,560	94,6	Conforme
AM CR #3 Gr 40-9	997	997	997	997	997	528,3	528,2	528,3	528,3	528,4	0,530	0,560	94,6	Conforme
AM CR #3 Gr 40-10	999	999	999	999	999	530,1	530,2	530,2	530,1	530,1	0,531	0,560	94,8	Conforme
AM CR #3 Gr 40-11	1000	1000	1000	1000	1000	530,2	530,2	530,2	530,2	530,2	0,530	0,560	94,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-12	997	997	997	997	997	529,1	529,2	529,1	529,2	529,1	0,531	0,560	94,8	Conforme
AM CR #4 Gr 40-1	997	997	997	997	997	945,4	945,4	945,5	945,4	945,4	0,948	0,994	95,4	Conforme
AM CR #4 Gr 40-2	1009	1009	1009	1009	1009	955,3	955,4	955,4	955,4	955,4	0,947	0,994	95,3	Conforme
AM CR #4 Gr 40-3	999	999	999	999	999	946,8	946,8	946,8	946,9	946,8	0,948	0,994	95,3	Conforme
AM CR #4 Gr 40-4	996	996	996	996	996	944,4	944,4	944,4	944,5	944,5	0,948	0,994	95,4	Conforme
AM CR #4 Gr 40-5	999	999	999	999	999	946,4	946,3	946,4	946,4	946,4	0,947	0,994	95,3	Conforme
AM CR #4 Gr 40-6	996	996	996	996	996	945,0	945,0	944,9	945,0	945,0	0,949	0,994	95,5	Conforme
AM CR #4 Gr 40-7	1004	1004	1004	1004	1004	951,8	951,9	951,9	951,9	951,9	0,948	0,994	95,4	Conforme
AM CR #4 Gr 40-8	999	999	999	999	999	947,5	947,5	947,5	947,4	947,5	0,948	0,994	95,4	Conforme
AM CR #4 Gr 40-9	998	998	998	998	998	947,6	947,6	947,7	947,6	947,7	0,950	0,994	95,5	Conforme
AM CR #4 Gr 40-10	995	995	995	995	995	944,3	944,3	944,3	944,2	944,3	0,949	0,994	95,5	Conforme
AM CR #4 Gr 40-11	1000	1000	1000	1000	1000	946,8	946,9	946,9	946,8	946,9	0,947	0,994	95,3	Conforme
AM CR #4 Gr 40-12	1002	1002	1002	1002	1002	949,8	949,9	949,8	949,8	949,8	0,948	0,994	95,4	Conforme

**Cuadro 13**

*Resultados de la evaluación del parámetro variación de masa para las barras #3 y #4, grado 60, fabricante AM*

Barras #3 y #4 grado 60 espécimen	Longitud en mm					Masa gr					Masa unitaria experimental (kg/m)	Masa nominal INTE C401 - ASTM A706 (kg/m)	Porcentaje de masa real respecto al teórico (mín. 94 %)	Condición de masa
	X1	X2	X3	X4	X5	X1	X2	X3	X4	X5				
AM CR #3 Gr 60-1	999	999	999	999	999	530,2	530,3	530,2	530,2	530,2	0,531	0,560	94,8	Conforme
AM CR #3 Gr 60-2	997	997	997	997	997	529,7	529,7	529,7	529,7	529,7	0,531	0,560	94,9	Conforme
AM CR #3 Gr 60-3	991	991	991	991	991	527,2	527,2	527,2	527,2	527,3	0,532	0,560	95,0	Conforme
AM CR #3 Gr 60-4	998	998	998	998	998	529,2	529,2	529,2	529,2	529,2	0,530	0,560	94,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-5	999	999	999	999	999	530,5	530,5	530,6	530,6	530,6	0,531	0,560	94,8	Conforme
AM CR #3 Gr 60-6	1000	1000	1000	1000	1000	529,0	529,0	529,0	529,0	529,0	0,529	0,560	94,5	Conforme
AM CR #3 Gr 60-7	999	999	999	999	999	535,5	535,4	535,5	535,5	535,4	0,536	0,560	95,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-8	992	992	992	992	992	532,1	532,0	532,1	532,1	532,1	0,536	0,560	95,8	Conforme
AM CR #3 Gr 60-9	997	997	997	997	997	532,4	532,5	532,5	532,5	532,5	0,534	0,560	95,4	Conforme
AM CR #3 Gr 60-10	999	999	999	999	999	533,4	533,4	533,4	533,4	533,4	0,534	0,560	95,3	Conforme
AM CR #3 Gr 60-11	998	998	998	998	998	535,0	535,0	535,0	535,0	535,1	0,536	0,560	95,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-12	1009	1009	1009	1009	1009	541,2	541,3	541,2	541,3	541,3	0,536	0,560	95,8	Conforme
AM CR #4 Gr 60-1	1020	1020	1020	1020	1020	978,3	978,2	978,3	978,3	978,3	0,959	0,994	96,5	Conforme
AM CR #4 Gr 60-2	998	998	998	998	998	957,2	957,2	957,2	957,3	957,3	0,959	0,994	96,5	Conforme
AM CR #4 Gr 60-3	995	995	995	995	995	953,2	953,2	953,2	953,2	953,2	0,958	0,994	96,4	Conforme
AM CR #4 Gr 60-4	997	997	997	997	997	957,2	957,2	957,2	957,2	957,3	0,960	0,994	96,6	Conforme
AM CR #4 Gr 60-5	997	997	997	997	997	955,3	955,3	955,3	955,3	955,3	0,958	0,994	96,4	Conforme
AM CR #4 Gr 60-6	996	996	996	996	996	955,7	955,7	955,8	955,8	955,8	0,960	0,994	96,5	Conforme
AM CR #4 Gr 60-7	999	999	999	999	999	962,2	962,2	962,2	962,2	962,2	0,963	0,994	96,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-8	1015	1015	1015	1015	1015	978,2	978,3	978,2	978,2	978,3	0,964	0,994	97,0	Conforme
AM CR #4 Gr 60-9	999	999	999	999	999	963,0	963,0	963,0	963,0	963,0	0,964	0,994	97,0	Conforme
AM CR #4 Gr 60-10	998	998	998	998	998	963,0	963,0	963,0	963,0	963,0	0,965	0,994	97,1	Conforme
AM CR #4 Gr 60-11	996	996	996	996	996	958,7	958,7	958,7	958,8	958,8	0,963	0,994	96,8	Conforme
AM CR #4 Gr 60-12	999	999	999	999	999	964,3	964,3	964,3	964,3	964,2	0,982	0,994	98,8	Conforme

**Cuadro 14**

*Resultados de la evaluación del parámetro variación de masa para las barras #3 y #4, grado 40, fabricante KD*

Barras #3 y #4 grado 40 espécimen	Longitud en mm					Masa gr					Masa unitaria experimental (kg/m)	Masa nominal INTE C400 - ASTM A615 (kg/m)	Porcentaje de masa real respecto al teórico (mín. 94 %)	Condición de masa
	X1	X2	X3	X4	X5	X1	X2	X3	X4	X5				
KD TR #3 Gr 40-1	1000	1000	1000	1000	1000	540,2	540,2	540,2	540,1	540,2	0,540	0,560	96,5	Conforme
KD TR #3 Gr 40-2	995	995	995	995	995	536,9	537,0	536,9	536,9	539,9	0,540	0,560	96,5	Conforme
KD TR #3 Gr 40-3	1000	1000	1000	1000	1000	538,5	538,5	538,5	538,5	538,5	0,539	0,560	96,2	Conforme
KD TR #3 Gr 40-4	993	993	993	993	993	534,0	533,9	533,9	534,0	533,9	0,538	0,560	96,0	Conforme
KD TR #3 Gr 40-5	998	998	998	998	998	539,7	539,7	539,6	539,6	539,6	0,541	0,560	96,6	Conforme
KD TR #3 Gr 40-6	993	993	993	993	993	535,2	535,2	535,2	535,3	535,3	0,539	0,560	96,3	Conforme
KD TR #3 Gr 40-7	997	997	997	997	997	538,4	538,4	538,3	538,4	538,4	0,540	0,560	96,4	Conforme
KD TR #3 Gr 40-8	997	997	997	997	997	538,6	538,6	538,6	538,5	538,5	0,540	0,560	96,5	Conforme
KD TR #3 Gr 40-9	997	997	997	997	997	538,2	538,2	538,1	538,2	538,2	0,540	0,560	96,4	Conforme
KD TR #3 Gr 40-10	998	998	998	998	998	539,9	539,9	539,9	539,9	539,9	0,541	0,560	96,6	Conforme
KD TR #3 Gr 40-11	999	999	999	999	999	540,0	540,0	540,0	540,0	540,0	0,541	0,560	96,5	Conforme
KD TR #3 Gr 40-12	1001	1001	1001	1001	1001	540,1	540,1	540,1	540,1	540,1	0,540	0,560	96,4	Conforme
KD TR #4 Gr 40-1	1001	1001	1001	1001	1001	947,8	947,8	947,8	947,9	947,8	0,947	0,994	95,3	Conforme
KD TR #4 Gr 40-2	999	999	999	999	999	940,0	940,1	940,0	940,0	940,0	0,941	0,994	94,7	Conforme
KD TR #4 Gr 40-3	965	965	965	965	965	908,8	908,8	908,8	908,8	908,9	0,942	0,994	94,7	Conforme
KD TR #4 Gr 40-4	1004	1004	1004	1004	1004	945,0	945,1	945,1	945,1	945,1	0,941	0,994	94,7	Conforme
KD TR #4 Gr 40-5	1004	1004	1004	1004	1004	944,6	944,6	944,6	944,6	944,6	0,941	0,994	94,7	Conforme
KD TR #4 Gr 40-6	998	998	998	998	998	938,9	939,0	939,0	939,0	939,0	0,941	0,994	94,7	Conforme
KD TR #4 Gr 40-7	997	997	997	997	997	936,8	936,8	936,8	936,8	936,9	0,940	0,994	94,5	Conforme
KD TR #4 Gr 40-8	1000	1000	1000	1000	1000	944,8	944,8	944,8	944,8	944,8	0,945	0,994	95,1	Conforme
KD TR #4 Gr 40-9	1000	1000	1000	1000	1000	942,9	942,9	942,9	942,9	942,9	0,943	0,994	94,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-10	992	992	992	992	992	933,2	933,1	933,1	933,1	933,2	0,941	0,994	94,6	Conforme
KD TR #4 Gr 40-11	998	998	998	998	998	939,6	939,6	939,6	939,6	939,6	0,941	0,994	94,7	Conforme
KD TR #4 Gr 40-12	1001	1001	1001	1001	1001	946,8	946,8	946,8	946,8	946,8	0,946	0,994	95,2	Conforme

**Cuadro 15**

*Resultados de la evaluación del parámetro variación de masa para un alambre de diámetro D6 (7,01 mm) y de 5,25 mm, grado 75*

Alambre D6 y 5,25 grado 75 espécimen	Longitud en mm					Masa gr					Masa unitaria experimental (kg/m)	Masa nominal INTE C402 - ASTM A1064 (kg/m)	Variación del porcentaje de masa real respecto al teórico (Max $\pm 6$ %)	Condición de masa
	X1	X2	X3	X4	X5	X1	X2	X3	X4	X5				
BT CR #5,25 Gr 75 - 01	996	996	996	996	996	162,3	162,3	162,3	162,4	162,3	0,163	0,170	4,1	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 02	999	999	999	999	999	164,3	164,3	164,3	164,3	164,3	0,164	0,170	3,3	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 03	998	998	998	998	998	163,4	163,3	163,4	163,3	163,4	0,164	0,170	3,7	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 04	999	999	999	999	999	162,2	162,2	162,2	162,2	162,2	0,162	0,170	4,5	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 05	993	993	993	993	993	161,9	162,0	162,0	161,9	161,9	0,163	0,170	4,1	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 06	1007	1007	1007	1007	1007	164,7	164,7	164,6	164,7	164,6	0,164	0,170	3,8	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 07	1005	1005	1005	1005	1005	164,0	164,0	164,0	163,9	164,0	0,163	0,170	4,0	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 08	997	997	997	997	997	164,3	164,3	164,3	164,3	164,3	0,165	0,170	3,1	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 09	999	999	999	999	999	163,9	163,8	163,9	163,9	163,9	0,164	0,170	3,5	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 10	998	998	998	998	998	163,1	163,1	163,1	163,1	163,2	0,163	0,170	3,9	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 11	997	997	997	997	997	163,2	163,2	163,2	163,1	163,1	0,164	0,170	3,7	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 12	998	998	998	998	998	164,0	163,9	163,9	163,9	163,9	0,164	0,170	3,4	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-01	1002	1002	1002	1002	1002	297,0	296,9	297,0	296,9	297,0	0,296	0,304	2,5	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-02	1004	1004	1004	1004	1004	297,3	297,3	297,3	297,3	297,3	0,296	0,304	2,6	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-03	1002	1002	1002	1002	1002	297,7	297,7	297,7	297,7	297,7	0,297	0,304	2,3	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-04	985	985	985	985	985	291,3	291,3	291,4	291,3	291,3	0,296	0,304	2,7	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-05	1002	1002	1002	1002	1002	296,9	296,8	296,8	296,9	296,9	0,296	0,304	2,5	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-06	1001	1001	1001	1001	1001	296,5	296,5	296,5	296,5	296,5	0,296	0,304	2,6	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-07	1002	1002	1002	1002	1002	297,0	297,0	297,0	297,0	297,0	0,296	0,304	2,5	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-08	1002	1002	1002	1002	1002	297,3	297,3	297,3	297,3	297,3	0,297	0,304	2,4	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-09	1002	1002	1002	1002	1002	296,9	296,9	296,9	296,9	296,9	0,296	0,304	2,5	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-10	981	981	981	981	981	291,1	291,2	291,2	291,2	291,2	0,297	0,304	2,4	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-11	1001	1001	1001	1001	1001	296,9	296,9	296,9	296,9	296,9	0,297	0,304	2,4	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-12	1002	1002	1002	1002	1002	297,5	297,5	297,5	297,4	297,4	0,297	0,304	2,3	Conforme

En todos los especímenes evaluados, tanto a nivel de alambre como de barras de acero para refuerzo de concreto, se comprobó el cumplimiento de los requisitos de variación máxima permitida de masa en el producto. Además, se observó experimentalmente que la pérdida de masa era mayor en los productos de acero correspondientes a barras, lo que —como una posible hipótesis— podría haber sido causado por la naturaleza del proceso de laminación en caliente, al

cual es sometido el material para la conformación de las barras, y la consecuente pérdida de producto como efecto de la corrosión superficial en el material; esta situación no se presentó en los procesos de laminación por trefilado (grafilado), el cual se asocia al desarrollo de los alambres.

Se debió prestar atención a dicho aspecto, ya que, si bien los materiales de refuerzo evaluados eran conformes, se podría haber dado una pérdida importante de masa por un inadecuado almacenamiento, el cual permitiera la exposición a ambientes altamente corrosivos; esto, a su vez, daría como resultado la generación de productos de corrosión (óxidos, hidróxidos, etc.). Al ser eliminados por medios mecánicos para una reinspección, según lo permite la normativa, estos productos causarían que no se llegue a los valores mínimos requeridos, lo que implicaría su no aprobación bajo el mencionado parámetro de control.

#### **4.1.3 Requisitos de la corrugación**

Como tercer punto de evaluación de la fase experimental del proyecto, se efectuó una inspección de los sujetos sometidos a prueba, con la finalidad de dar cumplimiento a los requisitos descritos en el cuadro: *Alcance de evaluación para el parámetro de requisitos de corrugación*, que se subdivide en tres actividades diferentes:

- determinación del espaciamiento de las corrugas;
- determinación de la altura promedio de corrugación:
- determinación de la suma máxima del cordón (aplicable solamente para elementos correspondientes a barras de acero para refuerzo).

#### 4.1.3.1 Espaciamiento de la corrugación

Respecto al espaciamiento de las corrugas, este fue aplicado a todos los especímenes de ensayo, para lo cual se procedió —en el caso de las barras de acero para refuerzo— a realizar una medición a lo largo de ambos lados corrugados de la barra a una distancia comprendida entre 10 espacios, iniciando en el centro de una corrugación y finalizando en la corruga inmediata al espacio número diez en su centro. Los datos obtenidos se registraron en los cuadros de registro correspondientes.

Después de haber efectuado las mediciones, se procedió a estimar el espaciamiento promedio máximo, denominado “experimental”, a partir del promedio obtenido de ambos lados de las barras ensayadas. Con el fin de estimar el valor de espaciamiento de las corrugaciones para los alambres de refuerzo, se dio una variación en el procedimiento por normativa, ya que se midió una longitud de 250 mm en ambos lados corrugados del alambre. Además, se procedió a contar la cantidad de espacios presentes dentro de dicha medición, la cual, de manera similar a la efectuada en las barras, inició en el centro de una corrugación y finalizó en el centro de otra.

#### Imagen 28

*Fotografía correspondiente al proceso medición del espaciamiento de la corrugación en una muestra de alambre de 5,25 mm de diámetro*



A continuación, se presentan en cuadros los resultados obtenidos en la actividad descrita anteriormente.

### Cuadro 16

*Resultados de la evaluación en la determinación del espaciamiento de las corrugas para las barras #3 y #4, grado 40, fabricante AM*

Barra #3 y #4 grado 40 espécimen	Lado A longitud de espaciamiento de 10 espacios (mm)	Lado A espaciamiento experimental (mm)	Lado B longitud de espaciamiento de 10 espacios (mm)	Lado B espaciamiento experimental (mm)	Espaciamiento promedio experimental (mm)	Espaciamiento promedio máximo teórico INTE C400 - ASTM A615 (mm)	Condición de espaciamiento
AM CR #3 Gr 40-1	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-2	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-3	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-4	65	6,5	64	6,4	6,5	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-5	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-6	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-7	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-8	64	6,4	65	6,5	6,5	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-9	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-10	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-11	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 40-12	65	6,5	64	6,4	6,5	6,7	Conforme
AM CR #4 Gr 40-1	84	8,4	83	8,3	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-2	84	8,4	83	8,3	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-3	83	8,3	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-4	84	8,4	83	8,3	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-5	83	8,3	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-6	83	8,3	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-7	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-8	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-9	84	8,4	83	8,3	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-10	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-11	83	8,3	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-12	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme

**Cuadro 17**

*Resultados de la evaluación en la determinación del espaciamiento de las corrugas para las barras # 3 y #4, grado 60, fabricante AM*

Barra #3 y #4 grado 60 espécimen	Lado A longitud de espaciamiento de 10 espacios (mm)	Lado A espaciamiento experimental (mm)	Lado B longitud de espaciamiento de 10 espacios (mm)	Lado B espaciamiento experimental (mm)	Espaciamiento promedio experimental (mm)	Espaciamiento promedio máximo teórico INTE C401 - ASTM A706 (mm)	Condición de espaciamiento
AM CR #3 Gr 60-1	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-2	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-3	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-4	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-5	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-6	63	6,3	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-7	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-8	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-9	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-10	64	6,4	63	6,3	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-11	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #3 Gr 60-12	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
AM CR #4 Gr 60-1	85	8,5	84	8,4	8,5	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-2	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-3	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-4	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-5	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-6	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-7	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-8	85	8,5	84	8,4	8,5	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-9	84	8,4	85	8,5	8,5	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-10	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-11	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-12	84	8,4	85	8,5	8,5	8,9	Conforme

**Cuadro 18**

*Resultados de la evaluación en la determinación del espaciamiento de las corrugas para las barras #3 y #4, grado 40, fabricante KD*

Barra #3 y #4 grado 40 espécimen	Lado A longitud de espaciamiento de 10 espacios (mm)	Lado A espaciamiento experimental (mm)	Lado B longitud de espaciamiento de 10 espacios (mm)	Lado B espaciamiento experimental (mm)	Espaciamiento promedio experimental (mm)	Espaciamiento promedio máximo Teórico INTE C400 - ASTM A615 (mm)	Condición de espaciamiento
KD TR #3 Gr 40-1	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
KD TR #3 Gr 40-2	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
KD TR #3 Gr 40-3	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
KD TR #3 Gr 40-4	65	6,5	64	6,4	6,5	6,7	Conforme
KD TR #3 Gr 40-5	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
KD TR #3 Gr 40-6	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
KD TR #3 Gr 40-7	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
KD TR #3 Gr 40-8	64	6,4	65	6,5	6,5	6,7	Conforme
KD TR #3 Gr 40-9	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
KD TR #3 Gr 40-10	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
KD TR #3 Gr 40-11	64	6,4	64	6,4	6,4	6,7	Conforme
KD TR #3 Gr 40-12	65	6,5	64	6,4	6,5	6,7	Conforme
KD TR #4 Gr 40-1	84	8,4	83	8,3	8,4	8,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-2	84	8,4	83	8,3	8,4	8,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-3	83	8,3	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-4	84	8,4	83	8,3	8,4	8,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-5	83	8,3	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-6	83	8,3	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-7	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-8	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-9	84	8,4	83	8,3	8,4	8,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-10	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-11	83	8,3	84	8,4	8,4	8,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-12	84	8,4	84	8,4	8,4	8,9	Conforme

## Cuadro 19

*Resultados de la evaluación en la determinación del espaciamiento de las corrugas para alambre de diámetro D6 (7,01 mm) y 5,25 mm, grado 75*

Alambre 7,01 y 5,25 grado 75 espécimen	Lado A cantidad de espacios en 250 mm	Lado A espaciamiento experimental (mm)	Lado B cantidad de espacios en 250 mm	Lado B espaciamiento experimental (mm)	Espaciamiento promedio experimental (mm)	Espaciamiento promedio rango teórico INTE C402 - ASTM A1064	Condición de espaciamiento
FX SV #7,01 Gr 75-01	41	4,1	41	4,1	4,1	(3,5 - 5,5)	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-02	41	4,1	41	4,1	4,1	(3,5 - 5,5)	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-03	41	4,1	41	4,1	4,1	(3,5 - 5,5)	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-04	41	4,1	41	4,1	4,1	(3,5 - 5,5)	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-05	41	4,1	41	4,1	4,1	(3,5 - 5,5)	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-06	41	4,1	41	4,1	4,1	(3,5 - 5,5)	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-07	41	4,1	41	4,1	4,1	(3,5 - 5,5)	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-08	41	4,1	41	4,1	4,1	(3,5 - 5,5)	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-09	41	4,1	41	4,1	4,1	(3,5 - 5,5)	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-10	41	4,1	41	4,1	4,1	(3,5 - 5,5)	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-11	41	4,1	41	4,1	4,1	(3,5 - 5,5)	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-12	41	4,1	41	4,1	4,1	(3,5 - 5,5)	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 01	42	4,2	42	4,2	4,2	(3,5 - 5,5)	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 02	42	4,2	42	4,2	4,2	(3,5 - 5,5)	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 03	42	4,2	41	4,1	4,2	(3,5 - 5,5)	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 04	42	4,2	41	4,1	4,2	(3,5 - 5,5)	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 05	42	4,2	41	4,1	4,2	(3,5 - 5,5)	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 06	42	4,2	41	4,1	4,2	(3,5 - 5,5)	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 07	42	4,2	42	4,2	4,2	(3,5 - 5,5)	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 08	42	4,2	41	4,1	4,2	(3,5 - 5,5)	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 09	42	4,2	41	4,1	4,2	(3,5 - 5,5)	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 10	42	4,2	41	4,1	4,2	(3,5 - 5,5)	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 11	42	4,2	41	4,1	4,2	(3,5 - 5,5)	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 12	42	4,2	42	4,2	4,2	(3,5 - 5,5)	Conforme

Para todos los especímenes correspondientes a barras de designación 3, se observó que los valores promedio de espaciamiento se ubicaron por debajo del valor máximo permitido por normativa de 6,7. Respecto a los especímenes correspondientes a barras de designación 4, los valores promedio de espaciamiento estuvieron por debajo del valor máximo autorizado de 8,9. Finalmente, los valores experimentales promedio de espaciamiento obtenidos para las muestras de

alambre evaluados se encontraron dentro del intervalo citado por la normativa, de manera que se logró comprobar, con base en los resultados obtenidos para todos los especímenes evaluados, el cumplimiento de los requisitos de espaciamiento máximo permitidos según la normativa del producto.

#### **4.1.3.2 Altura promedio de la corrugación**

Seguidamente, se procedió a la evaluación de la altura promedio mínima presente en los especímenes del ensayo, en donde se excluyeron todas las muestras de barras correspondientes a la designación del tamaño 3. Lo anterior debido a que las barras de tal denominación presentaban un tamaño no apto, ya que las corrugas y las barras eran muy pequeñas, lo que no permitía una adecuada colocación del instrumento de medición (vernier) sobre estas mismas para efectuar las mediciones requeridas.

Los requisitos de medición fueron diferentes tanto para las barras como para los alambres, ya que, en el primero de los casos, la normativa establece que se había de estimar un promedio de medición a partir de tres mediciones realizadas en cada corruga: una efectuada en el centro y las otras dos a una distancia de un cuarto del mismo centro. Por el contrario, en el caso de los alambres, la normativa exige la medición solamente en el centro de la corruga para así estimar su valor.

Tomando en cuenta los requisitos mencionados anteriormente, se efectuaron las mediciones correspondientes según las indicaciones de cada producto. Para ello, se utilizó la sonda de profundidad de un vernier digital marca Mitutoyo, modelo CD-8" AX, con una resolución de 0,01 mm.

El procedimiento de medición consistió en la colocación de la sonda en el espacio existente entre dos corrugaciones y, posteriormente, el deslizamiento del nonio del instrumento hasta el contacto de su base con las alturas de corrugación. De esta manera, se llevó a cabo la medición a

través de una lectura directa en el instrumento. Dicha operación de medida de altura se hizo en un solo punto por cada línea de corrugación; además, se percibió cómo pequeñas variaciones en el posicionamiento del instrumento causaron cambios significativos en los valores de medición, por lo que se realizaron varias mediciones de prueba con la finalidad de lograr una repetibilidad adecuada para la toma de los datos.

Las siguientes tres imágenes representan de manera visual el procedimiento efectuado:

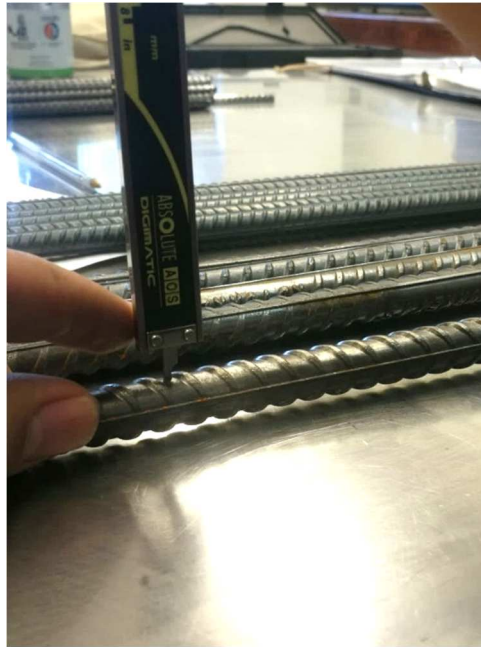
### **Imagen 29**

*Fotografía correspondiente al proceso de preparación del instrumento (vernier) para ser utilizado en la medición de la altura de las corrugaciones*



**Imagen 30**

*Fotografía correspondiente al proceso de medición de la altura de la corrugación mediante la utilización de la sonda de profundidad del vernier*

**Imagen 31**

*Fotografía correspondiente al momento de tope de la base del vernier con la altura máxima de las corrugaciones para efectuar la medición directa*



En los siguientes cuadros se presentan los resultados experimentales obtenidos para los especímenes evaluados.

## Cuadro 20

*Resultados de la evaluación para la determinación de la altura promedio de las corrugaciones para las barras #4, grado 40 y 60, fabricante AM*

Barra #4 grado 40 y grado 60 especímen	Corrugado lado A			Corrugado lado B			Altura promedio experimental (mm)	Altura promedio teórica mínima INTE C400 - ASTM A615 e INTE C401 - ASTM A706 (mm)	Condición de altura promedio
	Altura punto 1 (mm)	Altura punto 2 (mm)	Altura punto 3 (mm)	Altura punto 1 (mm)	Altura punto 2 (mm)	Altura punto 3 (mm)			
AM CR #4 Gr 40-1	0,41	0,97	0,39	0,42	0,90	0,35	0,57	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 40-2	0,40	0,99	0,33	0,31	0,92	0,33	0,55	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 40-3	0,37	0,89	0,32	0,39	0,99	0,40	0,56	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 40-4	0,43	0,92	0,31	0,41	1,02	0,39	0,58	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 40-5	0,43	1,03	0,37	0,43	0,94	0,27	0,58	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 40-6	0,40	0,98	0,35	0,28	0,91	0,35	0,55	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 40-7	0,41	0,97	0,50	0,36	0,93	0,27	0,57	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 40-8	0,34	0,98	0,36	0,29	0,94	0,32	0,54	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 40-9	0,33	0,99	0,42	0,35	0,94	0,43	0,58	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 40-10	0,49	0,91	0,40	0,32	0,99	0,39	0,58	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 40-11	0,43	0,94	0,36	0,33	1,03	0,37	0,58	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 40-12	0,40	1,10	0,42	0,28	0,95	0,38	0,59	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 60-1	0,36	0,83	0,37	0,41	0,86	0,38	0,54	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 60-2	0,37	0,85	0,33	0,35	0,8	0,48	0,53	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 60-3	0,5	0,84	0,33	0,41	0,86	0,56	0,58	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 60-4	0,3	0,84	0,42	0,34	0,84	0,43	0,53	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 60-5	0,35	0,84	0,33	0,32	0,85	0,42	0,52	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 60-6	0,31	0,85	0,3	0,51	0,91	0,37	0,54	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 60-7	0,42	0,9	0,36	0,32	0,87	0,39	0,54	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 60-8	0,42	0,88	0,39	0,37	0,89	0,36	0,55	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 60-9	0,34	0,92	0,38	0,59	0,87	0,26	0,56	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 60-10	0,44	0,85	0,52	0,52	0,89	0,5	0,62	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 60-11	0,44	0,92	0,33	0,59	0,82	0,49	0,6	0,51	Conforme
AM CR #4 Gr 60-12	0,52	0,84	0,42	0,59	0,89	0,36	0,6	0,51	Conforme

**Cuadro 21**

*Resultados de la evaluación para la determinación de la altura promedio de las corrugaciones para las barras #4, grado 40, fabricante KD*

Barra #4 grado 40 espécimen	Corrugado lado A			Corrugado lado B			Altura promedio experimental (mm)	Altura promedio teórica mínima INTE C400 - ASTM A615 e INTE C401 - ASTM A706 (mm)	Condición de altura promedio
	Altura punto 1 (mm)	Altura punto 2 (mm)	Altura punto 3 (mm)	Altura punto 1 (mm)	Altura punto 2 (mm)	Altura punto 3 (mm)			
KD TR #4 Gr 40-1	0,41	0,97	0,39	0,42	0,9	0,35	0,57	0,51	Conforme
KD TR #4 Gr 40-2	0,4	0,99	0,33	0,31	0,92	0,33	0,55	0,51	Conforme
KD TR #4 Gr 40-3	0,37	0,89	0,32	0,39	0,99	0,4	0,56	0,51	Conforme
KD TR #4 Gr 40-4	0,43	0,92	0,31	0,41	1,02	0,39	0,58	0,51	Conforme
KD TR #4 Gr 40-5	0,43	1,03	0,37	0,43	0,94	0,27	0,58	0,51	Conforme
KD TR #4 Gr 40-6	0,4	0,98	0,35	0,28	0,91	0,35	0,55	0,51	Conforme
KD TR #4 Gr 40-7	0,41	0,97	0,5	0,36	0,93	0,27	0,57	0,51	Conforme
KD TR #4 Gr 40-8	0,34	0,98	0,36	0,29	0,94	0,32	0,54	0,51	Conforme
KD TR #4 Gr 40-9	0,33	0,99	0,42	0,35	0,94	0,43	0,58	0,51	Conforme
KD TR #4 Gr 40-10	0,49	0,91	0,4	0,32	0,99	0,39	0,58	0,51	Conforme
KD TR #4 Gr 40-11	0,43	0,94	0,36	0,33	1,03	0,37	0,58	0,51	Conforme
KD TR #4 Gr 40-12	0,4	1,1	0,42	0,28	0,95	0,38	0,59	0,51	Conforme

**Cuadro 22**

*Resultados de la evaluación para la determinación de la altura promedio de las corrugaciones para alambre de diámetro D6 (7,01 mm), grado 75*

Alambre 7,01 grado 75 espécimen	Altura promedio experimental lado A (mm)	Altura promedio experimental lado B (mm)	Altura promedio experimental total (mm)	Altura promedio mínima INTE C402-2020 - ASTM A1064-18 (mm)	Condición de espaciamiento
FX SV #7,01 Gr 75-01	0,41	0,42	0,42	0,31	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-02	0,36	0,45	0,41	0,31	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-03	0,33	0,41	0,37	0,31	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-04	0,33	0,38	0,36	0,31	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-05	0,34	0,35	0,35	0,31	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-06	0,35	0,34	0,35	0,31	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-07	0,31	0,33	0,32	0,31	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-08	0,43	0,31	0,37	0,31	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-09	0,38	0,44	0,41	0,31	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-10	0,44	0,31	0,38	0,31	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-11	0,36	0,35	0,36	0,31	Conforme
FX SV #7,01 Gr 75-12	0,45	0,31	0,38	0,31	Conforme

**Cuadro 23**

*Resultados de la evaluación para la determinación de la altura promedio de las corrugaciones para alambre de diámetro 5,25 mm, grado 75*

<b>Alambre 5,25 grado 75 espécimen</b>	<b>Altura promedio experimental lado A (mm)</b>	<b>Altura promedio experimental lado B (mm)</b>	<b>Altura promedio experimental total (mm)</b>	<b>Altura promedio mínima INTE C402-2020 - ASTM A1064-18 (mm)</b>	<b>Condición de espaciamiento</b>
BT CR #5,25 Gr 75 - 01	0,25	0,27	0,26	0,21	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 02	0,33	0,27	0,30	0,21	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 03	0,26	0,3	0,28	0,21	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 04	0,29	0,22	0,26	0,21	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 05	0,24	0,28	0,26	0,21	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 06	0,26	0,29	0,28	0,21	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 07	0,32	0,3	0,31	0,21	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 08	0,32	0,33	0,33	0,21	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 09	0,29	0,31	0,30	0,21	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 10	0,26	0,27	0,27	0,21	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 11	0,29	0,24	0,27	0,21	Conforme
BT CR #5,25 Gr 75 - 12	0,24	0,25	0,25	0,21	Conforme

A partir de las pruebas realizadas, se observó que, para todos los especímenes correspondientes a barras de acero para refuerzo con designación de número 4, los valores promedio experimentales sobre la altura mínima de corrugación se ubicaron por encima del valor mínimo permitido por la normativa de 0,51 mm. En el caso de los especímenes asociados a alambres de acero para refuerzo con designación diámetro D6 (7,01 mm), los valores promedio estimados estuvieron por arriba del valor mínimo del 4,5 por ciento del valor del diámetro nominal (0,31 mm).

Asimismo, respecto a los especímenes correspondientes a alambres de acero para refuerzo con designación diámetro 5,25 mm, los valores promedio estimados se encontraron por arriba del valor mínimo del 4 por ciento del valor del diámetro nominal (0,21 mm).

Con base en los resultados obtenidos para todos los especímenes evaluados, se declaró la conformidad en el cumplimiento de los requisitos de la altura mínima de corrugación permitida, según la normativa aplicable para cada producto en particular.

#### **4.1.3.3 Determinación de la suma máxima del cordón**

Como última actividad de las tres definidas en la valoración de los requisitos de corrugación, se procedió a estimar la suma máxima del cordón para la evaluación de la altura promedio mínima presente en los especímenes de ensayo, donde, debido a la naturaleza de producción de los elementos, se excluyeron todas las muestras correspondientes a alambres de acero para refuerzo.

En la medición de dicho parámetro se empleó el mismo instrumento utilizado en la actividad anterior (vernier digital marca Mitutoyo, modelo CD-8" AX, con una resolución de 0,01 mm), junto con sus caras de medición externas. El procedimiento consistió en la colocación de la punta fija de medición del instrumento en un extremo lateral del cordón a medir y, posteriormente, el deslizamiento del nonio del instrumento hasta el contacto de la punta móvil con el otro extremo paralelo del cordón. De esta forma, la medición se llevó a cabo a partir de una lectura directa en el instrumento. Además, dicha operación se efectuó en un solo punto por cada línea paralela de cordón presente en los especímenes, de manera que el valor experimental del cordón correspondió a la suma de ambos datos obtenidos. Durante la evaluación se observó claramente una diferencia significativa en cuanto al tamaño del cordón para las barras designación 3 de ambos proveedores

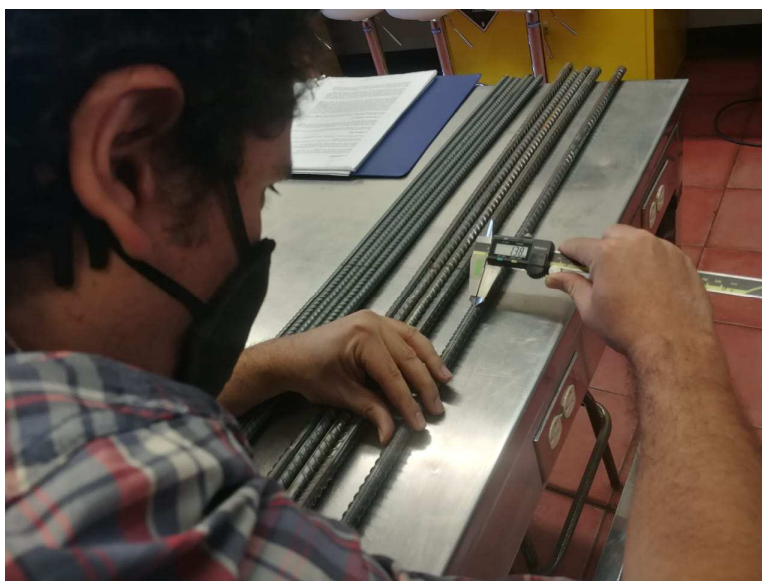
A continuación, se muestra una serie de imágenes que ejemplifican el procedimiento efectuado, así como los resultados experimentales obtenidos.

**Imagen 32**

*Fotografía correspondiente al procedimiento de medición de la longitud del cordón efectuado para un determinado lado de un espécimen de prueba*

**Imagen 33**

*Fotografía correspondiente al momento de lectura del valor de medición de la longitud del cordón efectuado para un determinado lado de un espécimen de prueba*



**Cuadro 24**

*Resultados de la evaluación para los requisitos del intervalo máximo del cordón para barras #3, grado 40, fabricante AM*

Barra #3 grado 40 espécimen	Longitud de cordón		Suma experimental intervalo del cordón (mm)	Suma máxima cordón INTE C400 - ASTM A615 (mm)	Condición de suma de cordón
	Intervalo lado A (mm)	Intervalo lado B (mm)			
AM CR #3 Gr 40-1	2,01	2,06	4,07	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 40-2	2,02	2,04	4,06	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 40-3	1,98	2,02	4,00	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 40-4	2,07	1,99	4,06	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 40-5	2,05	2,03	4,08	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 40-6	2,05	2,05	4,10	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 40-7	2,14	1,88	4,02	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 40-8	2,07	2,12	4,19	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 40-9	1,93	1,94	3,87	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 40-10	1,98	2,02	4,00	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 40-11	1,93	2,08	4,01	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 40-12	2,12	2,02	4,14	3,6	No Conforme

**Cuadro 25**

*Resultados de la evaluación para los requisitos del intervalo máximo del cordón para barras #4, grado 40, fabricante AM*

Barra #4 grado 40 espécimen	Longitud de cordón		Suma experimental cordón (mm)	Suma máxima cordón INTE C400 - ASTM A615 (mm)	Condición de suma de cordón
	Intervalo lado A (mm)	Intervalo lado B (mm)			
AM CR #4 Gr 40-1	2,07	1,93	4,00	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-2	2,01	2,00	4,01	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-3	2,03	2,11	4,14	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-4	2,19	2,07	4,26	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-5	2,12	2,09	4,21	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-6	2,08	2,06	4,14	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-7	2,15	2,05	4,20	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-8	1,97	2,09	4,06	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-9	2,02	1,88	3,90	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-10	2,09	2,19	4,28	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-11	2,00	2,03	4,03	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 40-12	2,22	2,13	4,35	4,9	Conforme

**Cuadro 26**

*Resultados de la evaluación para los requisitos del intervalo máximo del cordón para barras #3, grado 60, fabricante AM*

Barra #3 grado 60 espécimen	Longitud de cordón		Suma experimental cordón (mm)	Suma máxima cordón INTE C401 - ASTM A706 (mm)	Condición de suma de cordón
	Intervalo lado A (mm)	Intervalo lado B (mm)			
AM CR #3 Gr 60-1	2,23	2,33	4,56	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 60-2	2,16	2,24	4,40	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 60-3	2,07	2,36	4,43	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 60-4	2,17	2,44	4,61	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 60-5	2,26	2,35	4,61	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 60-6	2,03	2,26	4,29	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 60-7	2,24	2,38	4,62	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 60-8	2,11	2,22	4,33	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 60-9	2,13	2,33	4,46	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 60-10	2,06	2,38	4,44	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 60-11	2,28	2,29	4,57	3,6	No Conforme
AM CR #3 Gr 60-12	2,25	2,15	4,40	3,6	No Conforme

**Cuadro 27**

*Resultados de la evaluación para los requisitos del intervalo máximo del cordón para barras #4, grado 60, fabricante AM*

Barra #4 grado 60 espécimen	Longitud de cordón		Suma experimental cordón (mm)	Suma máxima cordón INTE C401 - ASTM A706 (mm)	Condición de suma de cordón
	Intervalo lado A (mm)	Intervalo lado B (mm)			
AM CR #4 Gr 60-1	2,12	2,10	4,22	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-2	2,04	1,94	3,98	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-3	2,08	1,94	4,02	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-4	2,06	2,09	4,15	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-5	2,05	2,03	4,08	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-6	2,12	2,02	4,14	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-7	2,13	2,03	4,16	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-8	2,18	2,08	4,26	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-9	2,07	2,13	4,20	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-10	2,00	2,06	4,06	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-11	2,00	2,01	4,01	4,9	Conforme
AM CR #4 Gr 60-12	2,20	2,05	4,25	4,9	Conforme

**Cuadro 28**

*Resultados de la evaluación para los requisitos del intervalo máximo del cordón para barras #3, grado 40, fabricante KD*

Barra #3 grado 40 espécimen	Longitud de cordón		Suma experimental intervalo del cordón (mm)	Suma máxima cordón INTE C400 - ASTM A615 (mm)	Condición de suma de cordón
	Intervalo lado A (mm)	Intervalo lado B (mm)			
KD TR #3 Gr 40-1	1,33	1,38	2,71	3,6	Conforme
KD TR #3 Gr 40-2	1,42	1,42	2,84	3,6	Conforme
KD TR #3 Gr 40-3	1,34	1,27	2,61	3,6	Conforme
KD TR #3 Gr 40-4	1,35	1,30	2,65	3,6	Conforme
KD TR #3 Gr 40-5	1,33	1,31	2,64	3,6	Conforme
KD TR #3 Gr 40-6	1,33	1,34	2,67	3,6	Conforme
KD TR #3 Gr 40-7	1,33	1,31	2,64	3,6	Conforme
KD TR #3 Gr 40-8	1,36	1,43	2,79	3,6	Conforme
KD TR #3 Gr 40-9	1,39	1,30	2,69	3,6	Conforme
KD TR #3 Gr 40-10	1,37	1,38	2,75	3,6	Conforme
KD TR #3 Gr 40-11	1,38	1,36	2,74	3,6	Conforme
KD TR #3 Gr 40-12	1,39	1,38	2,77	3,6	Conforme

**Cuadro 29**

*Resultados de la evaluación para los requisitos del intervalo máximo del cordón para barras #4, grado 40, fabricante KD*

Barra #4 grado 40 espécimen	Longitud de cordón		Suma experimental intervalo del cordón (mm)	Suma máxima cordón INTE C400 - ASTM A615 (mm)	Condición de suma de cordón
	Intervalo lado A (mm)	Intervalo lado B (mm)			
KD TR #4 Gr 40-1	2,07	1,93	4,00	4,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-2	2,01	2,00	4,01	4,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-3	2,03	2,11	4,14	4,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-4	2,19	2,07	4,26	4,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-5	2,12	2,09	4,21	4,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-6	2,08	2,06	4,14	4,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-7	2,15	2,05	4,20	4,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-8	1,97	2,09	4,06	4,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-9	2,02	1,88	3,90	4,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-10	2,09	2,19	4,28	4,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-11	2,00	2,03	4,03	4,9	Conforme
KD TR #4 Gr 40-12	2,22	2,13	4,35	4,9	Conforme

A partir de las pruebas realizadas, se observó que, para todos los especímenes correspondientes a barras de acero para refuerzo con designación AM-CR #3 Gr40 y AM-CR #3 Gr 60, los valores experimentales obtenidos para el cordón se ubicaron por encima del valor máximo permitido por normativa de 3,6 mm (12,5 % del perímetro nominal de las barras), por lo que los resultados fueron satisfactorios solamente para los productos bajo la designación KD-TR #3 Gr 40 con dicha designación de tamaño.

En el caso de todos los especímenes correspondientes a barras de acero para refuerzo con designación de número 4, los valores estimados de tamaño del cordón estuvieron por debajo del valor máximo permitido de 4,9 mm. De igual manera, dicho valor resultó en un máximo del 12,5 % del perímetro nominal del espécimen en estudio.

### **Imagen 34**

*Fotografía correspondiente a las diferencias de tamaño observadas en el cordón de los especímenes de barra designación 3 de los fabricantes evaluados*



Con base en los resultados obtenidos para todos los especímenes evaluados, se declaró la conformidad en el cumplimiento de los valores máximos de longitud del cordón permitidos según la normativa aplicable solamente para los siguientes especímenes:

- barras de acero para refuerzo AM-CR #4 Gr 40;
- barras de acero para refuerzo AM-CR #4 Gr 60;
- barras de acero para refuerzo KD-TR #3 Gr 40;
- barras de acero para refuerzo KD-TR #4 Gr 60.

#### 4.1.4 Requisitos de tracción

Como cuarto punto de evaluación de la fase experimental del proyecto, se llevó a cabo una inspección de los sujetos sometidos a prueba con la finalidad de dar cumplimiento a los requisitos descritos en el cuadro: *Alcance de la evaluación para el parámetro de los requisitos de tracción*, en donde se verificaron los siguientes aspectos:

- valor del esfuerzo a la tracción mínima ( $F_u$ );
- valor del esfuerzo a la fluencia mínima ( $F_y$ );
- valor mínimo del porcentaje de elongación (no aplicable a alambres);
- relación de resistencia  $F_u / F_y$  (no aplicable a alambres).

Para ello fue necesaria la utilización de la unidad de ensayos universales marca Zick Roell, modelo Z250, con capacidad máxima de fuerza de medición de su transductor de 250 kN, aditamentos y extensómetro, junto con su software de análisis de resultados y operación Test Expert III, el cual forma parte de las unidades de prueba con las que cuenta el Laboratorio de Ensayo de Materiales LEM-INA

La primera consistió en realizar una nueva preparación de los especímenes del ensayo empleados en las pruebas anteriores, ya que estos debían ser cortados en un tamaño apto para cumplir con los requisitos de uso del equipo, principalmente, los aspectos de sujeción de las muestras a las mordazas. De esta forma, todos los especímenes fueron cortados a una longitud de 440 mm con ayuda la tronadora de disco

Asimismo, para el desarrollo del ensayo resultó imprescindible establecer los valores de los siguientes parámetros:

- área de aplicación de fuerza;
- longitud de control ( $L_0$ );
- velocidad de fluencia;
- velocidad de ensayo.

En el caso específico del área de aplicación de la fuerza para la estimación tanto del esfuerzo de fluencia como el máximo, se emplearon los valores nominales expresados para cada designación de barras de refuerzo indicados en la normativa del producto:  $71 \text{ mm}^2$  para las barras de designación 3 y de  $129 \text{ mm}^2$  para las barras con designación 4. De forma análoga a la anterior, se utilizaron los valores nominales del diámetro indicados para cada alambre de refuerzo y así estimar el área de sección transversal del producto:  $38,6 \text{ mm}^2$  para los alambres de 7,01 mm de diámetro y  $21,6 \text{ mm}^2$  para los alambres de diámetro 7,01 mm.

Respecto a la longitud de control ( $L_0$ ), destinada a ser el punto de marca para la evaluación del porcentaje de elongación, se usó el valor 200 mm indicado como valor de control de las normativas INTE C 401 e INTE C400.

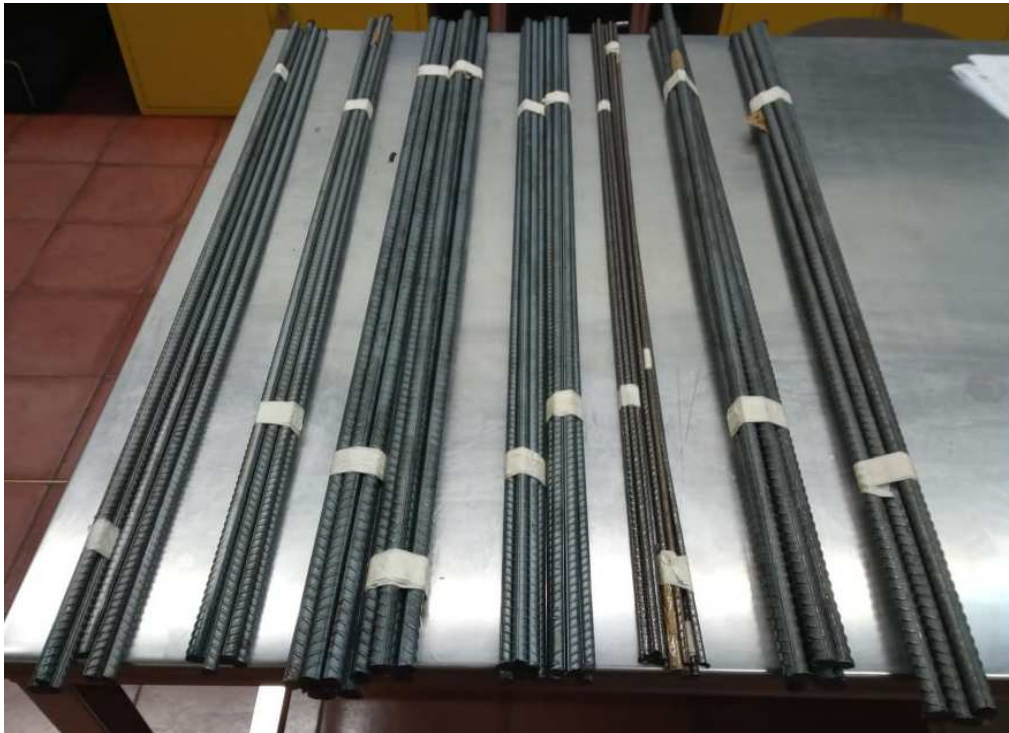
Las diferentes velocidades requeridas fueron establecidas mediante las recomendaciones dadas por ASTM E8/E8M, con una separación de mordazas inicial de 225 mm, lo cual dio como resultado una velocidad de ensayo de 11,25 mm/min y de determinación de propiedades de fluencia de 3,375 mm/min, valor que se ingresó en el software del equipo para la realización de las pruebas.

Finalmente, se emplearon las recomendaciones dadas por el procedimiento interno establecido por parte de LEM para el desarrollo de las pruebas, bajo el PGR21 correspondiente al Ensayo de Tensión para Barras de Acero de Refuerzo, que también fue utilizado como base durante las pruebas en alambres.

A continuación, se presentan imágenes representativas de la actividad realizada, así como los resultados obtenidos, mediante cuadros.

### **Imagen 35**

*Fotografía correspondiente al primer lote de compra precortado para la evaluación de las pruebas de tracción*



**Imagen 36**

*Fotografía correspondiente a la unidad de ensayos universales Zwick Roell, modelo Z250, utilizada para la ejecución de las pruebas de comprobación de los requisitos de tracción a los especímenes evaluados*

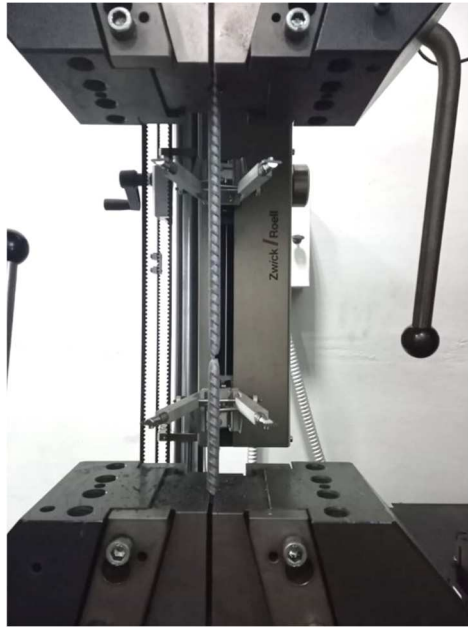
**Imagen 37**

*Fotografía correspondiente al procedimiento de marcado de longitud de control en los especímenes de ensayo para la evaluación del porcentaje de elongación*



**Imagen 38**

*Fotografía correspondiente a la falla de un espécimen dentro de la longitud de control*

**Imagen 39**

*Fotografía correspondiente a la falla de un espécimen fuera de la longitud de control*



**Cuadro 30**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para las barras #3, grado 40, fabricante AM*

<b>Barra #3 grado 40 espécimen</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> experimental (MPa)</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> teórico mínimo INTE C400 - ASTM A615 (MPa)</b>
AM CR #3 Gr 40-1	381,93	280
AM CR #3 Gr 40-2	382,79	280
AM CR #3 Gr 40-3	384,84	280
AM CR #3 Gr 40-4	380,41	280
AM CR #3 Gr 40-5	381,85	280
AM CR #3 Gr 40-6	384,72	280
AM CR #3 Gr 40-7	384,26	280
AM CR #3 Gr 40-8	379,20	280
AM CR #3 Gr 40-9	383,67	280
AM CR #3 Gr 40-10	382,76	280
AM CR #3 Gr 40-11	385,61	280
AM CR #3 Gr 40-12	385,05	280

**Cuadro 31**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para las barras #3, grado 40, fabricante AM*

<b>Barra #3 grado 40 espécimen</b>	<b>Esfuerzo máximo experimental <math>F_u</math> (MPa)</b>	<b>Esfuerzo máximo <math>F_u</math> teórico mínimo INTE C400 - ASTM A615 (MPa)</b>
AM CR #3 Gr 40-1	578,25	420
AM CR #3 Gr 40-2	572,53	420
AM CR #3 Gr 40-3	572,79	420
AM CR #3 Gr 40-4	573,52	420
AM CR #3 Gr 40-5	573,76	420
AM CR #3 Gr 40-6	573,65	420
AM CR #3 Gr 40-7	574,78	420
AM CR #3 Gr 40-8	571,15	420
AM CR #3 Gr 40-9	571,72	420
AM CR #3 Gr 40-10	572,87	420
AM CR #3 Gr 40-11	572,20	420
AM CR #3 Gr 40-12	576,59	420

**Cuadro 32**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad porcentaje de elongación para las barras #3, grado 40, fabricante AM*

<b>Barra #3 grado 40 espécimen</b>	<b>Porcentaje de elongación experimental (%)</b>	<b>Porcentaje de elongación teórico mínimo INTE C400 - ASTM A615 (%)</b>
AM CR #3 Gr 40-1	19,84	11
AM CR #3 Gr 40-2	20,79	11
AM CR #3 Gr 40-3	20,91	11
AM CR #3 Gr 40-4	19,93	11
AM CR #3 Gr 40-5	21,03	11
AM CR #3 Gr 40-6	21,73	11
AM CR #3 Gr 40-7	23,24	11
AM CR #3 Gr 40-8	21,52	11
AM CR #3 Gr 40-9	21,54	11
AM CR #3 Gr 40-10	21,25	11
AM CR #3 Gr 40-11	21,95	11
AM CR #3 Gr 40-12	21,39	11

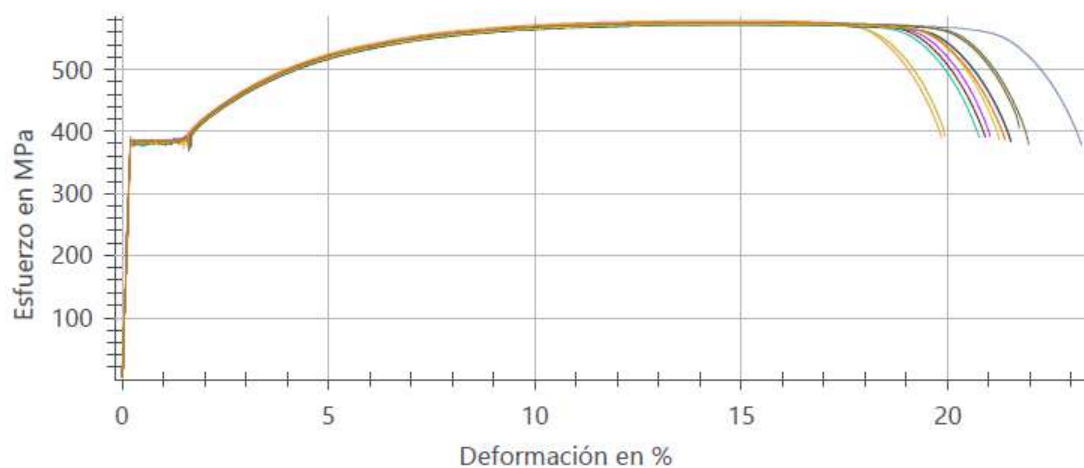
**Cuadro 33**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad relación  $F_u/F_y$  para las barras #3, grado 40, fabricante AM*

<b>Barra #3 grado 40 espécimen</b>	<b>Relación <math>F_u/F_y</math> experimental</b>	<b>Relación <math>F_u/F_y</math> teórica mínima INTE C400 - ASTM A615</b>
AM CR #3 Gr 40-1	1,51	1,1
AM CR #3 Gr 40-2	1,50	1,1
AM CR #3 Gr 40-3	1,49	1,1
AM CR #3 Gr 40-4	1,51	1,1
AM CR #3 Gr 40-5	1,50	1,1
AM CR #3 Gr 40-6	1,49	1,1
AM CR #3 Gr 40-7	1,50	1,1
AM CR #3 Gr 40-8	1,51	1,1
AM CR #3 Gr 40-9	1,49	1,1
AM CR #3 Gr 40-10	1,50	1,1
AM CR #3 Gr 40-11	1,48	1,1
AM CR #3 Gr 40-12	1,50	1,1

**Imagen 40**

*Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de las barras #3, grado 40, fabricante AM*



Leyenda	Nº	
	1	AM CR #3 Gr 40-01
	2	AM CR #3 Gr 40-02
	3	AM CR #3 Gr 40-03
	4	AM CR #3 Gr 40-04
	5	AM CR #3 Gr 40-05
	6	AM CR #3 Gr 40-06
	7	AM CR #3 Gr 40-07
	8	AM CR #3 Gr 40-08
	9	AM CR #3 Gr 40-09
	10	AM CR #3 Gr 40-10
	11	AM CR #3 Gr 40-11
	12	AM CR #3 Gr 40-12

**Cuadro 34**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para las barras #4, grado 40, fabricante AM*

<b>Barra #4 grado 40 espécimen</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> experimental (MPa)</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> teórico mínimo INTE C400 - ASTM A615 (MPa)</b>
AM CR #4 Gr 40-1	321,19	280
AM CR #4 Gr 40-2	313,88	280
AM CR #4 Gr 40-3	315,99	280
AM CR #4 Gr 40-4	314,33	280
AM CR #4 Gr 40-5	317,18	280
AM CR #4 Gr 40-6	310,82	280
AM CR #4 Gr 40-7	320,94	280
AM CR #4 Gr 40-8	318,22	280
AM CR #4 Gr 40-9	324,15	280
AM CR #4 Gr 40-10	321,66	280
AM CR #4 Gr 40-11	317,46	280
AM CR #4 Gr 40-12	312,46	280

**Cuadro 35**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para las barras #4, grado 40, fabricante AM*

<b>Barra #4 grado 40 espécimen</b>	<b>Esfuerzo máximo experimental <math>F_u</math> (MPa)</b>	<b>Esfuerzo máximo <math>F_u</math> teórico mínimo INTE C400 - ASTM A615 (MPa)</b>
AM CR #4 Gr 40-1	489,47	420
AM CR #4 Gr 40-2	491,22	420
AM CR #4 Gr 40-3	491,14	420
AM CR #4 Gr 40-4	491,91	420
AM CR #4 Gr 40-5	491,88	420
AM CR #4 Gr 40-6	491,64	420
AM CR #4 Gr 40-7	489,54	420
AM CR #4 Gr 40-8	489,94	420
AM CR #4 Gr 40-9	488,92	420
AM CR #4 Gr 40-10	489,14	420
AM CR #4 Gr 40-11	488,81	420
AM CR #4 Gr 40-12	486,86	420

**Cuadro 36**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad porcentaje de elongación para las barras #4, grado 40, fabricante AM*

<b>Barra #4 grado 40 especimen</b>	<b>Porcentaje de elongación experimental (%)</b>	<b>Porcentaje de elongación teórico mínimo INTE C400 - ASTM A615 (%)</b>
AM CR #4 Gr 40-1	26,89	11
AM CR #4 Gr 40-2	25,22	11
AM CR #4 Gr 40-3	24,93	11
AM CR #4 Gr 40-4	26,06	11
AM CR #4 Gr 40-5	26,60	11
AM CR #4 Gr 40-6	24,88	11
AM CR #4 Gr 40-7	26,61	11
AM CR #4 Gr 40-8	24,11	11
AM CR #4 Gr 40-9	25,05	11
AM CR #4 Gr 40-10	26,18	11
AM CR #4 Gr 40-11	25,88	11
AM CR #4 Gr 40-12	25,53	11

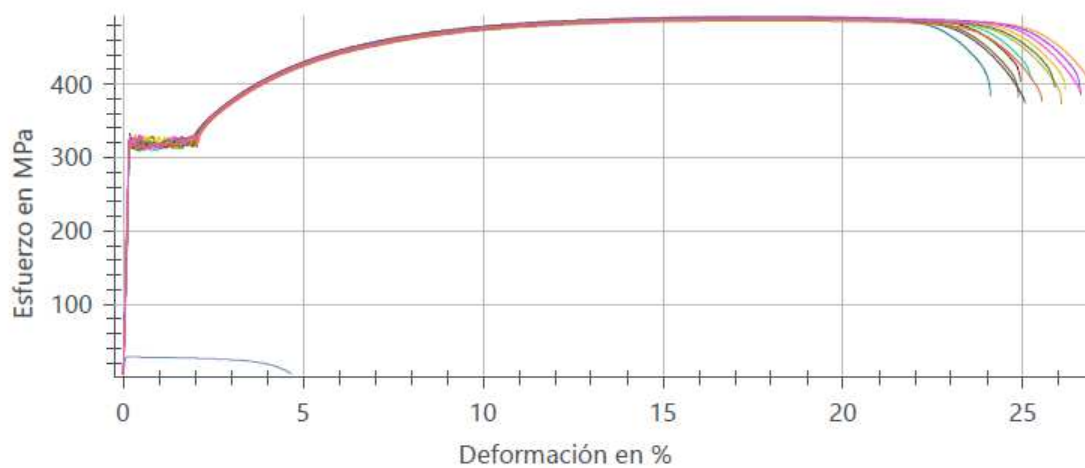
**Cuadro 37**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad relación  $F_u/F_y$  para las barras #4, grado 40, fabricante AM*

<b>Barra #4 grado 40 Especimen</b>	<b>Relación <math>F_u/F_y</math> experimental</b>	<b>Relación <math>F_u/F_y</math> teórica mínima INTE C400 - ASTM A615</b>
AM CR #4 Gr 40-1	1,52	1,1
AM CR #4 Gr 40-2	1,56	1,1
AM CR #4 Gr 40-3	1,55	1,1
AM CR #4 Gr 40-4	1,56	1,1
AM CR #4 Gr 40-5	1,55	1,1
AM CR #4 Gr 40-6	1,58	1,1
AM CR #4 Gr 40-7	1,53	1,1
AM CR #4 Gr 40-8	1,54	1,1
AM CR #4 Gr 40-9	1,51	1,1
AM CR #4 Gr 40-10	1,52	1,1
AM CR #4 Gr 40-11	1,54	1,1
AM CR #4 Gr 40-12	1,56	1,1

### Imagen 41

Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de las barras #4, grado 40, fabricante AM



Leyenda	Nº	
	1	AM CR #4 Gr 40-1
	2	AM CR #4 Gr 40-2
	3	AM CR #4 Gr 40-3
	4	AM CR #4 Gr 40-4
	5	AM CR #4 Gr 40-5
	6	AM CR #4 Gr 40-6
	7	AM CR #4 Gr 40-7 Corte Electricidad
	8	AM CR #4 Gr 40-8
	9	AM CR #4 Gr 40-9
	10	AM CR #4 Gr 40-10
	11	AM CR #4 Gr 40-11
	12	AM CR #4 Gr 40-12
	13	AM CR #4 Gr 40-7b

**Cuadro 38**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para las barras #3, grado 60, fabricante AM*

<b>Barra #3 grado 60 espécimen</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> experimental (MPa)</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> teórico mínimo INTE C401 - ASTM A706 (MPa)</b>
AM CR #3 Gr 60-1	505,17	[ 420 - 540 ]
AM CR #3 Gr 60-2	493,81	[ 420 - 540 ]
AM CR #3 Gr 60-3	522,44	[ 420 - 540 ]
AM CR #3 Gr 60-4	493,39	[ 420 - 540 ]
AM CR #3 Gr 60-5	498,35	[ 420 - 540 ]
AM CR #3 Gr 60-6	500,67	[ 420 - 540 ]
AM CR #3 Gr 60-7	501,57	[ 420 - 540 ]
AM CR #3 Gr 60-8	487,52	[ 420 - 540 ]
AM CR #3 Gr 60-9	487,27	[ 420 - 540 ]
AM CR #3 Gr 60-10	488,22	[ 420 - 540 ]
AM CR #3 Gr 60-11	492,90	[ 420 - 540 ]
AM CR #3 Gr 60-12	487,37	[ 420 - 540 ]

**Cuadro 39**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para las barras #3, grado 60, fabricante AM*

<b>Barra #3 Gr 60 Espécimen</b>	<b>Esfuerzo Máximo Experimental <math>F_u</math> (MPa)</b>	<b>Esfuerzo Máximo <math>F_u</math> Teórico Mínimo INTE C401 - ASTM A706 (MPa)</b>
AM CR #3 Gr 60-1	645,59	550
AM CR #3 Gr 60-2	636,55	550
AM CR #3 Gr 60-3	649,87	550
AM CR #3 Gr 60-4	640,04	550
AM CR #3 Gr 60-5	642,81	550
AM CR #3 Gr 60-6	643,85	550
AM CR #3 Gr 60-7	645,76	550
AM CR #3 Gr 60-8	638,03	550
AM CR #3 Gr 60-9	637,86	550
AM CR #3 Gr 60-10	635,65	550
AM CR #3 Gr 60-11	641,44	550
AM CR #3 Gr 60-12	634,75	550

**Cuadro 40**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad porcentaje de elongación para las barras #3, grado 60, fabricante AM*

<b>Barra #3 grado 60 espécimen</b>	<b>Porcentaje de elongación experimental (%)</b>	<b>Porcentaje de elongación teórico mínimo INTE C400 - ASTM A615 (%)</b>
AM CR #3 Gr 60-1	14,87	14
AM CR #3 Gr 60-2	14,76	14
AM CR #3 Gr 60-3	14,65	14
AM CR #3 Gr 60-4	13,57	14
AM CR #3 Gr 60-5	14,08	14
AM CR #3 Gr 60-6	13,62	14
AM CR #3 Gr 60-7	15,22	14
AM CR #3 Gr 60-8	14,56	14
AM CR #3 Gr 60-9	13,92	14
AM CR #3 Gr 60-10	13,78	14
AM CR #3 Gr 60-11	15,49	14
AM CR #3 Gr 60-12	N.R.	14

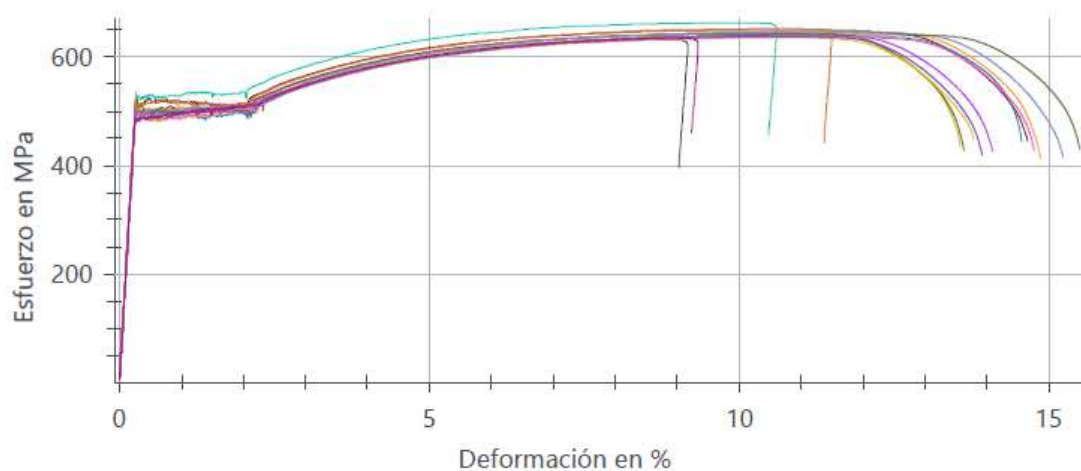
**Cuadro 41**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad relación  $F_u/F_y$  para las barras #3, grado 60, fabricante AM*

<b>Barra #3 grado 60 espécimen</b>	<b>Relación <math>F_u/F_y</math> experimental</b>	<b>Relación <math>F_u/F_y</math> teórica mínima INTE C401 - ASTM A706</b>
AM CR #3 Gr 60-1	1,28	1,25
AM CR #3 Gr 60-2	1,29	1,25
AM CR #3 Gr 60-3	1,24	1,25
AM CR #3 Gr 60-4	1,30	1,25
AM CR #3 Gr 60-5	1,29	1,25
AM CR #3 Gr 60-6	1,29	1,25
AM CR #3 Gr 60-7	1,29	1,25
AM CR #3 Gr 60-8	1,31	1,25
AM CR #3 Gr 60-9	1,31	1,25
AM CR #3 Gr 60-10	1,30	1,25
AM CR #3 Gr 60-11	1,30	1,25
AM CR #3 Gr 60-12	1,30	1,25

## Imagen 42

Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de las barras #3, grado 60, fabricante AM



Legenda	Nº	
	1	AM CR #3 Gr 60-01
	2	AM CR #3 Gr 60-02
	3	AM CR #3 Gr 60-03
	4	AM CR #3 Gr 60-04
	5	AM CR #3 Gr 60-05
	6	AM CR #3 Gr 60-06
	7	AM CR #3 Gr 60-07
	8	AM CR #3 Gr 60-08
	9	AM CR #3 Gr 60-09
	10	AM CR #3 Gr 60-10
	11	AM CR #3 Gr 60-11
	12	AM CR #3 Gr 60-12
	13	AM CR #3 Gr 60-02b
	14	AM CR #3 Gr 60-09b
	15	AM CR #3 Gr 60-12b

**Cuadro 42**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para las barras #4, grado 60, fabricante AM*

<b>Barra #4 grado 60 espécimen</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> experimental (MPa)</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> teórico mínimo INTE C401 - ASTM A706 (MPa)</b>
AM CR #4 Gr 60-1	471,82	[ 420 - 540 ]
AM CR #4 Gr 60-2	467,44	[ 420 - 540 ]
AM CR #4 Gr 60-3	461,07	[ 420 - 540 ]
AM CR #4 Gr 60-4	459,91	[ 420 - 540 ]
AM CR #4 Gr 60-5	455,91	[ 420 - 540 ]
AM CR #4 Gr 60-6	461,83	[ 420 - 540 ]
AM CR #4 Gr 60-7	493,55	[ 420 - 540 ]
AM CR #4 Gr 60-8	503,36	[ 420 - 540 ]
AM CR #4 Gr 60-9	513,08	[ 420 - 540 ]
AM CR #4 Gr 60-10	510,69	[ 420 - 540 ]
AM CR #4 Gr 60-11	507,42	[ 420 - 540 ]
AM CR #4 Gr 60-12	507,29	[ 420 - 540 ]

**Cuadro 43**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para las barras #4, grado 60, fabricante AM*

<b>Barra #4 grado 60 espécimen</b>	<b>Esfuerzo máximo experimental <math>F_u</math> (MPa)</b>	<b>Esfuerzo máximo <math>F_u</math> teórico mínimo INTE C401 - ASTM A706 (MPa)</b>
AM CR #4 Gr 60-1	618,62	550
AM CR #4 Gr 60-2	617,27	550
AM CR #4 Gr 60-3	611,04	550
AM CR #4 Gr 60-4	608,55	550
AM CR #4 Gr 60-5	602,43	550
AM CR #4 Gr 60-6	612,32	550
AM CR #4 Gr 60-7	635,00	550
AM CR #4 Gr 60-8	642,13	550
AM CR #4 Gr 60-9	644,35	550
AM CR #4 Gr 60-10	645,40	550
AM CR #4 Gr 60-11	641,48	550
AM CR #4 Gr 60-12	642,45	550

**Cuadro 44**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad porcentaje de elongación para las barras #4, grado 60, fabricante AM*

<b>Barra #4 grado 60 especimen</b>	<b>Porcentaje de elongación experimental (%)</b>	<b>Porcentaje de elongación teórico mínimo INTE C401 - ASTM A706 (%)</b>
AM CR #4 Gr 60-1	18,79	14
AM CR #4 Gr 60-2	19,68	14
AM CR #4 Gr 60-3	17,10	14
AM CR #4 Gr 60-4	18,00	14
AM CR #4 Gr 60-5	17,82	14
AM CR #4 Gr 60-6	17,80	14
AM CR #4 Gr 60-7	15,13	14
AM CR #4 Gr 60-8	14,71	14
AM CR #4 Gr 60-9	16,10	14
AM CR #4 Gr 60-10	N.R.	14
AM CR #4 Gr 60-11	15,87	14
AM CR #4 Gr 60-12	15,70	14

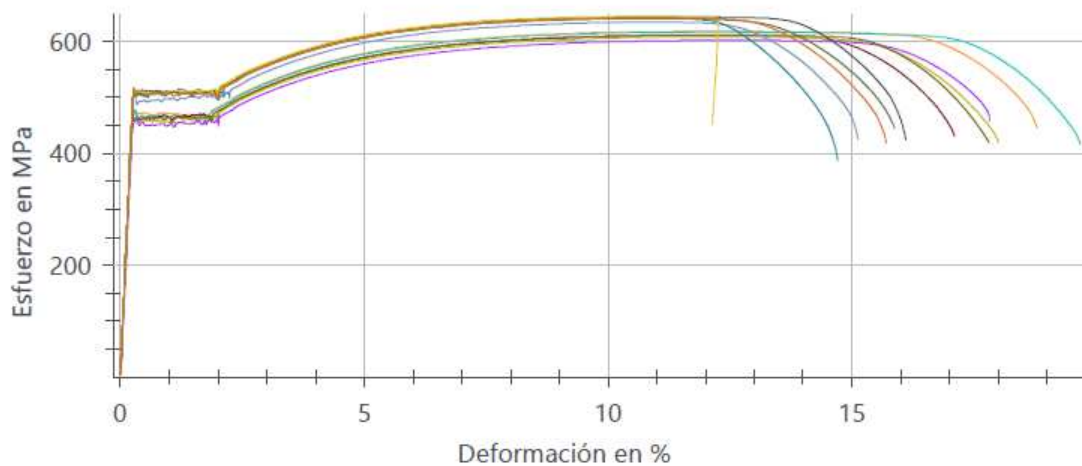
**Cuadro 45**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad relación  $F_u/F_y$  para las barras #4, grado 60, fabricante AM*

<b>Barra #4 grado 60 especimen</b>	<b>Relación <math>F_u/F_y</math> experimental</b>	<b>Relación <math>F_u/F_y</math> teórica mínima INTE C401 - ASTM A706</b>
AM CR #4 Gr 60-1	1,31	1,25
AM CR #4 Gr 60-2	1,32	1,25
AM CR #4 Gr 60-3	1,33	1,25
AM CR #4 Gr 60-4	1,32	1,25
AM CR #4 Gr 60-5	1,32	1,25
AM CR #4 Gr 60-6	1,33	1,25
AM CR #4 Gr 60-7	1,29	1,25
AM CR #4 Gr 60-8	1,28	1,25
AM CR #4 Gr 60-9	1,26	1,25
AM CR #4 Gr 60-10	1,26	1,25
AM CR #4 Gr 60-11	1,26	1,25
AM CR #4 Gr 60-12	1,27	1,25

**Imagen 43**

Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de las barras #4, grado 60, fabricante AM



Leyenda	Nº	
	1	AM CR #4 Gr 60-1
	2	AM CR #4 Gr 60-2
	3	AM CR #4 Gr 60-3
	4	AM CR #4 Gr 60-4
	5	AM CR #4 Gr 60-5
	6	AM CR #4 Gr 60-6
	7	AM CR #4 Gr 60-7
	8	AM CR #4 Gr 60-8
	9	AM CR #4 Gr 60-9
	10	AM CR #4 Gr 60-10
	11	AM CR #4 Gr 60-11
	12	AM CR #4 Gr 60-12

**Cuadro 46**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para las barras #3, grado 40, fabricante KD*

<b>Barra #3 grado 40 espécimen</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> experimental (MPa)</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> teórico mínimo INTE C400 - ASTM A615 (MPa)</b>
KD TR #3 Gr 40-1	482,46	280
KD TR #3 Gr 40-2	490,89	280
KD TR #3 Gr 40-3	488,82	280
KD TR #3 Gr 40-4	480,17	280
KD TR #3 Gr 40-5	469,81	280
KD TR #3 Gr 40-6	473,30	280
KD TR #3 Gr 40-7	487,59	280
KD TR #3 Gr 40-8	497,85	280
KD TR #3 Gr 40-9	481,64	280
KD TR #3 Gr 40-10	472,49	280
KD TR #3 Gr 40-11	470,25	280
KD TR #3 Gr 40-12	479,66	280

**Cuadro 47**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para las barras #3, grado 40, fabricante KD*

<b>Barra #3 grado 40 espécimen</b>	<b>Esfuerzo máximo experimental <math>F_u</math> (MPa)</b>	<b>Esfuerzo máximo <math>F_u</math> teórico mínimo INTE C400 - ASTM A615 (MPa)</b>
KD TR #3 Gr 40-1	594,140	420
KD TR #3 Gr 40-2	602,270	420
KD TR #3 Gr 40-3	595,100	420
KD TR #3 Gr 40-4	595,750	420
KD TR #3 Gr 40-5	576,970	420
KD TR #3 Gr 40-6	586,600	420
KD TR #3 Gr 40-7	594,130	420
KD TR #3 Gr 40-8	603,220	420
KD TR #3 Gr 40-9	598,230	420
KD TR #3 Gr 40-10	584,830	420
KD TR #3 Gr 40-11	584,790	420
KD TR #3 Gr 40-12	589,950	420

**Cuadro 48**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad porcentaje de elongación para las barras #3, grado 40, fabricante KD*

<b>Barra #3 grado 40 espécimen</b>	<b>Porcentaje de elongación experimental (%)</b>	<b>Porcentaje de elongación teórico mínimo INTE C400 - ASTM A615 (%)</b>
KD TR #3 Gr 40-1	N.R.	11
KD TR #3 Gr 40-2	15,44	11
KD TR #3 Gr 40-3	16,66	11
KD TR #3 Gr 40-4	13,77	11
KD TR #3 Gr 40-5	N.R.	11
KD TR #3 Gr 40-6	16,91	11
KD TR #3 Gr 40-7	N.R.	11
KD TR #3 Gr 40-8	N.R.	11
KD TR #3 Gr 40-9	13,86	11
KD TR #3 Gr 40-10	12,60	11
KD TR #3 Gr 40-11	15,88	11
KD TR #3 Gr 40-12	16,77	11

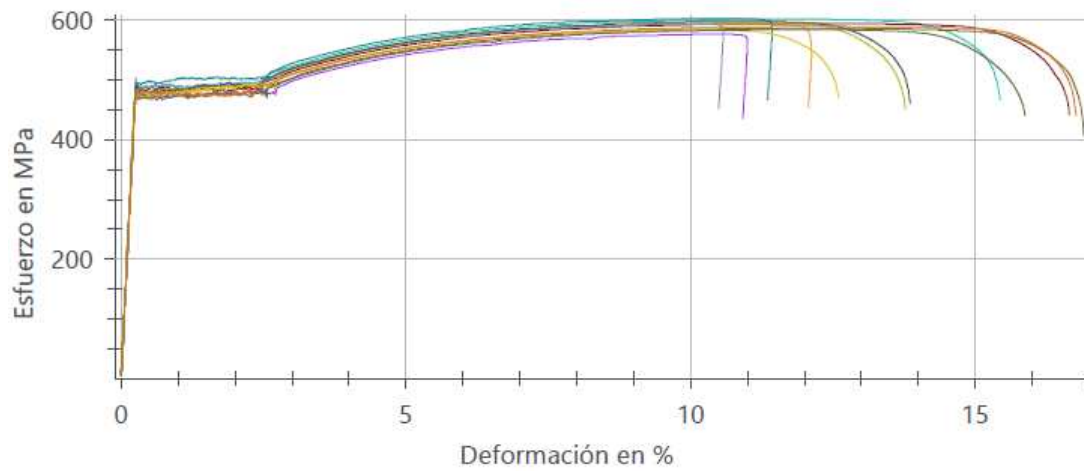
**Cuadro 49**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad relación  $F_u/F_y$  para las barras #3, grado 40, fabricante KD*

<b>Barra #3 grado 40 espécimen</b>	<b>Relación <math>F_u/F_y</math> experimental</b>	<b>Relación <math>F_u/F_y</math> teórica mínima INTE C400 - ASTM A615</b>
KD TR #3 Gr 40-1	1,23	1,10
KD TR #3 Gr 40-2	1,23	1,10
KD TR #3 Gr 40-3	1,22	1,10
KD TR #3 Gr 40-4	1,24	1,10
KD TR #3 Gr 40-5	1,23	1,10
KD TR #3 Gr 40-6	1,24	1,10
KD TR #3 Gr 40-7	1,22	1,10
KD TR #3 Gr 40-8	1,21	1,10
KD TR #3 Gr 40-9	1,24	1,10
KD TR #3 Gr 40-10	1,24	1,10
KD TR #3 Gr 40-11	1,24	1,10
KD TR #3 Gr 40-12	1,23	1,10

**Imagen 44**

Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de las barras #3, grado 40, fabricante KD



Leyenda	Nº	
	1	KD TR #3 Gr 40-01
	2	KD TR #3 Gr 40-02
	3	KD TR #3 Gr 40-03
	4	KD TR #3 Gr 40-04
	5	KD TR #3 Gr 40-05
	6	KD TR #3 Gr 40-06
	7	KD TR #3 Gr 40-07
	8	KD TR #3 Gr 40-08
	9	KD TR #3 Gr 40-09
	10	KD TR #3 Gr 40-10
	11	KD TR #3 Gr 40-11
	12	KD TR #3 Gr 40-12

**Cuadro 50**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para las barras #4, grado 40, fabricante KD*

<b>Barra #4 grado 40 espécimen</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> experimental (MPa)</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> teórico mínimo INTE C400 - ASTM A615 (MPa)</b>
KD TR #4 Gr 40-1	381,93	280
KD TR #4 Gr 40-2	382,79	280
KD TR #4 Gr 40-3	384,84	280
KD TR #4 Gr 40-4	380,41	280
KD TR #4 Gr 40-5	381,85	280
KD TR #4 Gr 40-6	384,72	280
KD TR #4 Gr 40-7	384,26	280
KD TR #4 Gr 40-8	379,20	280
KD TR #4 Gr 40-9	383,67	280
KD TR #4 Gr 40-10	382,76	280
KD TR #4 Gr 40-11	385,61	280
KD TR #4 Gr 40-12	385,05	280

**Cuadro 51**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para las barras #4, grado 40, fabricante KD*

<b>Barra #4 grado 40 espécimen</b>	<b>Esfuerzo máximo experimental <math>F_u</math> (MPa)</b>	<b>Esfuerzo máximo <math>F_u</math> teórico mínimo INTE C400 - ASTM A615 (MPa)</b>
KD TR #4 Gr 40-1	578,25	420
KD TR #4 Gr 40-2	572,53	420
KD TR #4 Gr 40-3	572,79	420
KD TR #4 Gr 40-4	573,52	420
KD TR #4 Gr 40-5	573,76	420
KD TR #4 Gr 40-6	573,65	420
KD TR #4 Gr 40-7	574,78	420
KD TR #4 Gr 40-8	571,15	420
KD TR #4 Gr 40-9	571,72	420
KD TR #4 Gr 40-10	572,87	420
KD TR #4 Gr 40-11	572,20	420
KD TR #4 Gr 40-12	576,59	420

**Cuadro 52**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad porcentaje de elongación para las barras #4, grado 40, fabricante KD*

<b>Barra #4 grado 40 espécimen</b>	<b>Porcentaje de elongación experimental (%)</b>	<b>Porcentaje de elongación teórico mínimo INTE C400 - ASTM A615 (%)</b>
KD TR #4 Gr 40-1	19,84	12
KD TR #4 Gr 40-2	20,79	12
KD TR #4 Gr 40-3	20,91	12
KD TR #4 Gr 40-4	19,93	12
KD TR #4 Gr 40-5	21,03	12
KD TR #4 Gr 40-6	21,73	12
KD TR #4 Gr 40-7	23,24	12
KD TR #4 Gr 40-8	21,52	12
KD TR #4 Gr 40-9	21,54	12
KD TR #4 Gr 40-10	21,25	12
KD TR #4 Gr 40-11	21,95	12
KD TR #4 Gr 40-12	21,39	12

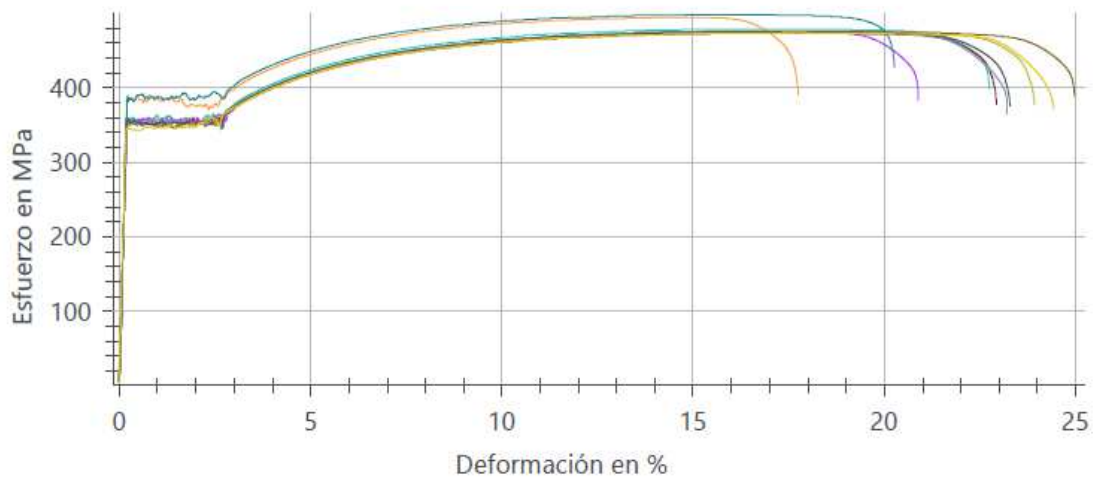
**Cuadro 53**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad relación  $F_u/F_y$  para las barras #4, grado 40, fabricante KD*

<b>Barra #4 grado 40 espécimen</b>	<b>Relación <math>F_u/F_y</math> experimental</b>	<b>Relación <math>F_u/F_y</math> teórica mínima INTE C400 - ASTM A615</b>
KD TR #4 Gr 40-1	1,51	1,10
KD TR #4 Gr 40-2	1,50	1,10
KD TR #4 Gr 40-3	1,49	1,10
KD TR #4 Gr 40-4	1,51	1,10
KD TR #4 Gr 40-5	1,50	1,10
KD TR #4 Gr 40-6	1,49	1,10
KD TR #4 Gr 40-7	1,50	1,10
KD TR #4 Gr 40-8	1,51	1,10
KD TR #4 Gr 40-9	1,49	1,10
KD TR #4 Gr 40-10	1,50	1,10
KD TR #4 Gr 40-11	1,48	1,10
KD TR #4 Gr 40-12	1,50	1,10

**Imagen 45**

*Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de las barras #4, grado 40, fabricante KD*



Leyenda	Nº	
	1	KD TR #4 Gr 40-01
	2	KD TR #4 Gr 40-02
	3	KD TR #4 Gr 40-03
	4	KD TR #4 Gr 40-04
	5	KD TR #4 Gr 40-05
	6	KD TR #4 Gr 40-06
	7	KD TR #4 Gr 40-07
	8	KD TR #4 Gr 40-08
	9	KD TR #4 Gr 40-09
	10	KD TR #4 Gr 40-10

**Cuadro 54**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para alambre D6 (7,01 mm), grado 75, fabricante Ferromax*

<b>Alambre 7,01 grado 75 espécimen</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> experimental (MPa)</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> teórico mínimo INTE C402 - ASTM A1064 (MPa)</b>
FX SV #7,01 Gr 75-01	713,54	515
FX SV #7,01 Gr 75-02	704,70	515
FX SV #7,01 Gr 75-03	727,07	515
FX SV #7,01 Gr 75-04	722,69	515
FX SV #7,01 Gr 75-05	718,75	515
FX SV #7,01 Gr 75-06	717,04	515
FX SV #7,01 Gr 75-07	702,03	515
FX SV #7,01 Gr 75-08	717,13	515
FX SV #7,01 Gr 75-09	729,56	515
FX SV #7,01 Gr 75-10	724,71	515
FX SV #7,01 Gr 75-11	724,73	515
FX SV #7,01 Gr 75-12	685,15	515

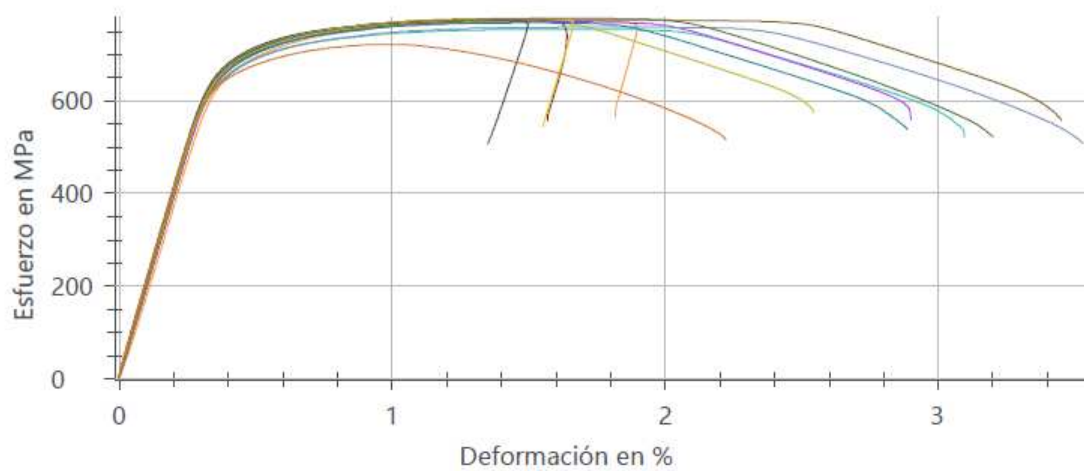
**Cuadro 55**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para alambre D6 (7,01 mm), grado 75, fabricante*

<b>Alambre 7,01 grado 75 espécimen</b>	<b>Esfuerzo máximo experimental <math>F_u</math> (MPa)</b>	<b>Esfuerzo máximo <math>F_u</math> teórico mínimo INTE C402 - ASTM A1064 (MPa)</b>
FX SV #7,01 Gr 75-01	771,82	585
FX SV #7,01 Gr 75-02	754,16	585
FX SV #7,01 Gr 75-03	776,64	585
FX SV #7,01 Gr 75-04	771,99	585
FX SV #7,01 Gr 75-05	770,13	585
FX SV #7,01 Gr 75-06	774,49	585
FX SV #7,01 Gr 75-07	758,95	585
FX SV #7,01 Gr 75-08	768,48	585
FX SV #7,01 Gr 75-09	774,70	585
FX SV #7,01 Gr 75-10	777,12	585
FX SV #7,01 Gr 75-11	777,11	585
FX SV #7,01 Gr 75-12	722,02	585

### Imagen 46

Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de alambre D6 (7,01 mm), grado 75, fabricante Ferromax



Leyenda	Nº	
	1	FX-GT #7.01 Gr 75-01
	2	FX-GT #7.01 Gr 75-02
	3	FX-GT #7.01 Gr 75-03
	4	FX-GT #7.01 Gr 75-04
	5	FX-GT #7.01 Gr 75-05
	6	FX-GT #7.01 Gr 75-06
	7	FX-GT #7.01 Gr 75-07
	8	FX-GT #7.01 Gr 75-08
	9	FX-GT #7.01 Gr 75-09
	10	FX-GT #7.01 Gr 75-10
	11	FX-GT #7.01 Gr 75-11
	12	FX-GT #7.01 Gr 75-12

**Cuadro 56**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo de fluencia mínima para alambre diámetro 5,25, grado 75, fabricante Bekaert*

<b>Alambre 5,25 grado 75 espécimen</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> experimental (MPa)</b>	<b>Esfuerzo de fluencia <math>F_y</math> teórico mínimo INTE C402 - ASTM A1064 (MPa)</b>
BT CR #5,25 Gr 75 - 01	579,44	515
BT CR #5,25 Gr 75 - 02	599,45	515
BT CR #5,25 Gr 75 - 03	566,20	515
BT CR #5,25 Gr 75 - 04	590,08	515
BT CR #5,25 Gr 75 - 05	568,91	515
BT CR #5,25 Gr 75 - 06	572,10	515
BT CR #5,25 Gr 75 - 07	566,46	515
BT CR #5,25 Gr 75 - 08	570,07	515
BT CR #5,25 Gr 75 - 09	566,14	515
BT CR #5,25 Gr 75 - 10	572,34	515
BT CR #5,25 Gr 75 - 11	569,94	515
BT CR #5,25 Gr 75 - 12	573,63	515

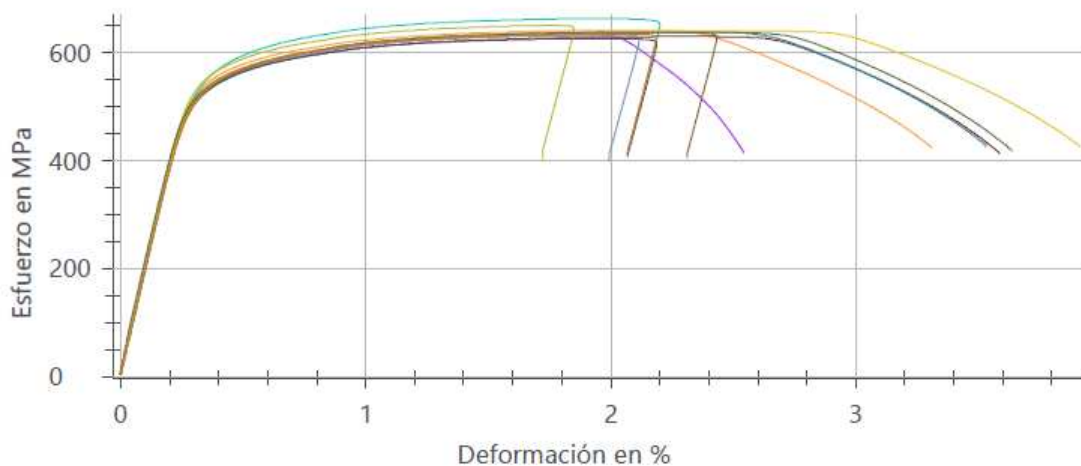
**Cuadro 57**

*Resultados de la evaluación para los requisitos de tracción propiedad esfuerzo máximo para alambre diámetro 5,25, grado 75, fabricante Bekaert*

<b>Alambre 5,25 grado 75 espécimen</b>	<b>Esfuerzo máximo experimental <math>F_u</math> (MPa)</b>	<b>Esfuerzo máximo <math>F_u</math> teórico mínimo INTE C402 - ASTM A1064 (MPa)</b>
BT CR #5,25 Gr 75 - 01	641,43	585
BT CR #5,25 Gr 75 - 02	662,87	585
BT CR #5,25 Gr 75 - 03	629,88	585
BT CR #5,25 Gr 75 - 04	650,24	585
BT CR #5,25 Gr 75 - 05	633,25	585
BT CR #5,25 Gr 75 - 06	636,93	585
BT CR #5,25 Gr 75 - 07	632,66	585
BT CR #5,25 Gr 75 - 08	638,98	585
BT CR #5,25 Gr 75 - 09	626,02	585
BT CR #5,25 Gr 75 - 10	639,87	585
BT CR #5,25 Gr 75 - 11	638,06	585
BT CR #5,25 Gr 75 - 12	634,47	585

### Imagen 47

Fotografía correspondiente al diagrama esfuerzo deformación generado por el equipo de ensayo al momento de la evaluación de los especímenes de alambre diámetro 5,25, grado 75, fabricante Bekaert



Leyenda	Nº	
	2	BT-CR #5.25 Gr 75-1
	3	BT-CR #5.25 Gr 75-2
	4	BT-CR #5.25 Gr 75-3
	5	BT-CR #5.25 Gr 75-4
	6	BT-CR #5.25 Gr 75-5
	7	BT-CR #5.25 Gr 75-6
	8	BT-CR #5.25 Gr 75-7
	9	BT-CR #5.25 Gr 75-8
	10	BT-CR #5.25 Gr 75-9
	11	BT-CR #5.25 Gr 75-10
	12	BT-CR #5.25 Gr 75-11
	13	BT-CR #5.25 Gr 75-12

Los resultados experimentales obtenidos para los diferentes especímenes evaluados mostraron casos particulares de comportamiento frente a la resistencia mecánica y los requisitos de normativa, por lo que se procedió a realizar su análisis e interpretación de acuerdo con lo indicado en el alcance declarado en el proyecto.

Para el primer y segundo caso correspondientes a los especímenes AM CR #3 Gr 40 y AM CR #4 Gr 40, los cuatro parámetros de evaluación establecidos para valorar la conformidad del producto bajo requisitos de pruebas mecánicas en tensión se encontraban dentro de los valores de tolerancia establecidos para la norma INTE C401 (ASTM 615), de manera que fue posible asignar un nivel de grado 40, asociado a una resistencia de fluencia de 280 MPa, para ambos materiales

A pesar de que los valores de esfuerzo máximo obtenidos para los especímenes AM CR #3 Gr 40 estuvieron acordes a los del nivel de grado 60, la evaluación conjunta e integral de los cuatro parámetros permitió claramente ubicarlos dentro del nivel de grado declarado para el producto. Asimismo, para ambos casos, los valores de porcentaje de elongación llegaron a ubicarse hasta en el doble del valor mínimo solicitado por la norma, lo que evidenció un alto grado de ductilidad del acero utilizado en la fabricación de las barras.

Respecto al tercer caso asociado a los especímenes AM CR #3 Gr 60, después de haber realizado el análisis de los datos obtenidos para los parámetros de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo, se observó que estos estaban dentro de los valores de tolerancia establecidos para la norma INTE C402 (ASTM 706). Sin embargo, al efectuar la evaluación de los datos del porcentaje de elongación, se determinó que aproximadamente el 33,33 % de los especímenes evaluados se encontraban por debajo del valor mínimo requerido por la normativa. Aproximadamente en un 8 % de los especímenes no fue posible su determinación debido a que la falla ocurrió fuera de la longitud de control ( $L_0$ ), mientras que se consiguieron datos satisfactorios dentro del rango en un 58,33 % de los casos.

En este caso específico fue relevante el porcentaje de las muestras que no se ubicaban dentro de los requisitos de norma establecidos, pues, si bien el 58,33 % los cumplía, habían valores muy próximos al mínimo establecido de tolerancia por norma.

El no cumplimiento de este valor de elongación pudo haber estado relacionado a diferentes factores tales como composición química, aspectos metalúrgicos microestructurales, tratamientos térmicos o el proceso de conformación del producto, de manera que se hace necesario la aplicación de otras pruebas de ensayo para determinar la posible causa raíz de la situación presentada.

Además, se observó que uno de los valores destinado a la relación de esfuerzo  $F_u/F_y$  se hallaba por debajo del mínimo establecido. Esto pudo haber sido un dato disperso o atípico de la muestra analizada, sin que fuera causal de declaratoria de no conformidad, al no centrarse únicamente en dicho valor de evaluación.

Para el cuarto caso correspondiente a los especímenes AM CR #4 Gr 60, los cuatro parámetros de evaluación establecidos para valorar la conformidad del producto bajo los requisitos de las pruebas mecánicas en tensión se encontraban dentro de los valores de tolerancia definidos en la norma INTE C401 (ASTM 706), por lo que fue posible asignar un nivel de grado 60, correspondiente a una resistencia de fluencia de 420 MPa, para ambos materiales. Solo un espécimen falló fuera de la longitud del control  $L_0$ , situación esperable dentro de la ejecución de pruebas de ensayo mecánico aleatorias.

Respecto al quinto caso asociado a los especímenes KD TR #3 Gr 40, después de haber efectuado el análisis de los datos obtenidos para los parámetros de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo, en primera instancia, se observó que dichos valores superaron los mínimos establecidos por la norma, de manera que se habría podido indicar que el producto cumplía con los requisitos de evaluación establecidos; sin embargo, para ambos casos, los valores también estaban dentro de los designados para un nivel de grado 60. Lo anterior, sumado al análisis de evaluación de los parámetros de porcentaje de elongación y relación  $F_u/F_y$  que poseen el mismo valor de magnitud para los grados 40 y 60, no generó evidencia clara para declarar que dicho producto se hallaba realmente bajo el valor señalado en el mercado y la compra del material.

El marcado del producto indicó que los valores de resistencia correspondían a un material grado 40. No obstante, debido a la duda razonable presentada en la evaluación, los resultados experimentales evidenciaron que no era posible establecer esto, pues realmente podría haber sido catalogado un producto de nivel de grado 60, según la norma INTE C400 (ASTM A615).

Otro análisis de los datos experimentales que reforzó la duda del grado del producto fueron los valores de elongación obtenidos, los cuales, comparados con los que presentaban los demás especímenes grado 60 evaluados, se aproximaban más a estos últimos; situación en la que también se consideró la evidencia de la falla fuera de la longitud de control ( $L_0$ ), no vista en los materiales declarados bajo el nivel de grado 40.

Para el sexto caso correspondiente a los especímenes KD TR #4 Gr 40, los cuatro parámetros de evaluación establecidos para valorar la conformidad del producto bajo los requisitos de las pruebas mecánicas en tensión estaban dentro de los valores de tolerancia determinados por la norma INTE C400 (ASTM 615), de manera que fue posible asignar un nivel de grado 60, asociado a una resistencia de fluencia de 280 MPa, para ambos materiales. Solo un espécimen falló fuera de la longitud del control  $L_0$ , situación esperable dentro de la ejecución de pruebas de ensayo mecánico aleatorias.

Para el sexto y séptimo caso correspondiente a los especímenes de alambre bajo el código FX SV #7,01 Gr 75 y los BT CR #5,25 Gr 75, después de haber realizado el análisis de los datos obtenidos para los parámetros de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo, se detectó un fenómeno similar al presentado para las barras de refuerzo KD TR #3 Gr 40, donde, en primera instancia, dichos valores superaron los mínimos determinados por norma, mediante lo cual se habría podido indicar que el producto cumplía con los requisitos; sin embargo, los valores conseguidos para este caso en particular superaron los mínimos establecidos para el nivel de grado 80 en la normativa sobre alambres corrugados (620 MPa para  $F_u$  y 550 MPa para  $F_y$ ). Esto permite señalar que el

producto se puede clasificar dentro de otro grado diferente al señalado por el vendedor bajo el estándar INTE C402 (ASTM A1064)

Un dato interesante generado por las pruebas realizadas para los especímenes de alambre corresponde a los valores de porcentaje de elongación, que, si bien no son un parámetro de evaluación de conformidad a solicitado por la normativa, evidencian bajos valores con respecto a su contraparte de barras, lo que situó a dichos valores de propiedad entre 2,5 % y 3,5 %.

Con base en los resultados obtenidos para todos los especímenes evaluados y considerando que la información obtenida permita indicar el grado de los productos sin alguna duda, se establece la conformidad en el cumplimiento de los valores de los requisitos de tracción, según el alcance establecido en el proyecto, para los siguientes especímenes:

- barras de acero para refuerzo AM-CR #3 Gr 40;
- barras de acero para refuerzo AM-CR #4 Gr 40;
- barras de acero para refuerzo AM-CR #4 Gr 60;
- barras de acero para refuerzo KD-TR #4 Gr 40.

#### **4.1.5 Caracterización metalográfica**

Como quinto y último punto de evaluación de la fase experimental del proyecto, así como un ensayo de complemento a las pruebas realizadas para la evaluación de conformidad del producto, se efectuó una caracterización metalográfica para las barras de acero con la finalidad de valorar, desde el punto de vista metalúrgico y microestructural, la calidad del acero de las muestras declaradas en el alcance del proyecto. De esta forma, se siguieron las recomendaciones indicadas por parte del estándar ASTM E3.

La primera actividad del desarrollo de esta prueba consistió nuevamente en el corte de la muestra para adecuarla a los dimensionamientos requeridos. Así fue como se utilizó una cegueta

de hoja para corte de metal con la finalidad de no crear modificaciones a nivel de la microestructura por cambios de temperatura. Posterior a ello, se procedió con el encapsulamiento de las muestras mediante la utilización de resina polimérica termoplástica y, como equipo, se empleó una termoformadora automática marca Buehler, modelo Simplemet 2000, en donde se programaron los parámetros de operación, según las recomendaciones del proveedor de la resina polimérica.

A continuación, se presentan imágenes de los equipos utilizados y el resultado obtenido del proceso de encapsulamiento para ilustrar la actividad escrita anteriormente.

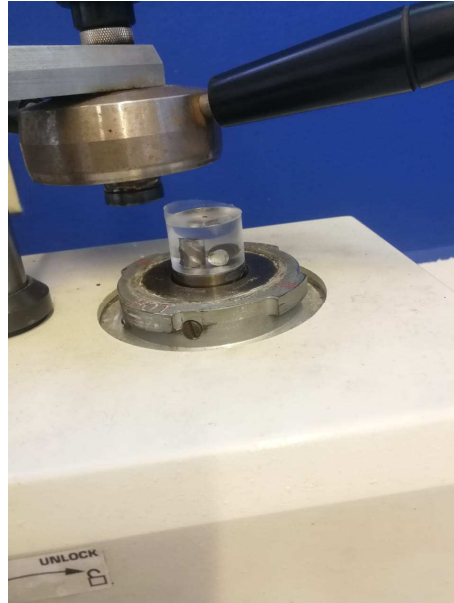
### **Imagen 48**

*Fotografía correspondiente a la unidad termo formadora utilizada en el encapsulamiento de la muestra para el análisis metalográfico*



**Imagen 49**

*Fotografía correspondiente a la metalografía formada posterior al proceso de polimerización de la resina en la termo formadora*



Como segunda actividad de la prueba metalográfica, se llevó a cabo el desbaste de las muestras, para lo cual se emplearon lijas de grano decreciente utilizando denominación de grano o partícula de 180, 240,320,400,600 y 800, cuyo propósito era preparar la muestra para su pulido final. Se pretendía conseguir la menor cantidad de marcas de lijado y una menor profundidad de estas en la superficie. Para dicha actividad se usó una unidad de desbaste manual marca Allied, modelo TwinPrep 5.

Cabe mencionar que, debido a los procesos corrosivos generados en las superficies de la muestra y al poco tiempo que debe pasar entre la preparación metalográfica de las muestras y su análisis, se realizó esta actividad de manera individual para cada uno de los especímenes evaluados.

**Imagen 50**

*Fotografía correspondiente al proceso de desbaste metalográfico de las muestras para su análisis bajo el microscopio*



Inmediatamente después del paso de la última lija, se comenzó con el pulido de las muestras, para lo cual se empleó una unidad de pulido marca Buehler, modelo Metaserv 2000, con su respectivo paño de pulido y pasta de diamante de 1 micrómetro de granulometría. El pulido se finalizó con polvo de alúmina de 0,3 micrómetros de tamaño de partícula.

**Imagen 51**

*Fotografía correspondiente al proceso de pulido metalográfico de las muestras para su análisis bajo el microscopio*



Después de finalizar el pulido de las muestras, estas fueron limpiadas con abundante agua y secadas con metanol al 96 % para evitar posibles fenómenos corrosivos a nivel de superficie. Se inició el análisis metalográfico realizando una observación de la muestra recién pulida bajo el microscopio metalográfico, con el objetivo de evaluar posibles inclusiones o indicaciones producto del material de fabricación de las barras. Para ello, se hizo uso de la unidad de microscopia óptica marca Olympus, modelo GX53, y sus respectivos accesorios de toma de imágenes y software de análisis de imágenes. Posterior a esta primera revisión, se procedió a efectuar el ataque químico de la superficie de las muestras para revelar la microestructura de la aleación mediante la utilización del reactivo Nital al 4 % y el frotamiento con mota hasta lograr un ataque óptimo. Nuevamente, se terminó con el análisis de las muestras bajo microscopio.

A continuación, se presenta una serie de imágenes referentes al ataque químico realizado a las muestras, el equipo utilizado en su evaluación y la identificación de cada muestra metalográfica evaluada.

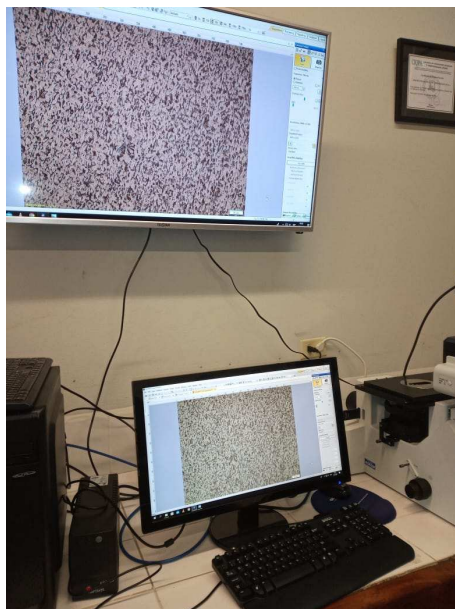
### **Imagen 52**

*Fotografía correspondiente al procedimiento de ataque químico de una de las muestras en análisis donde se logra observar claramente una zona de afectación térmica a nivel superficial de esta*



**Imagen 53**

*Fotografía correspondiente al proceso de análisis de la muestra bajo microscopio y la toma de imagen metalografías de las microestructuras observadas*

**Imagen 54**

*Fotografía correspondiente al total de muestras analizadas bajo la prueba metalográfica*



Seguidamente, se procede a mostrar las imágenes metalográficas obtenidas del estudio y su posterior interpretación de los resultados.

**Imagen 55**

*Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #3 Gr40 sin ataque químico. Magnificación 3,15X*

**Imagen 56**

*Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #3 Gr40 con ataque químico. Magnificación 12,6X*



**Imagen 57**

*Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #4 Gr 40 sin ataque químico. Magnificación 3,15X*

**Imagen 58**

*Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #4 Gr 40 con ataque químico. Magnificación 12,6X*

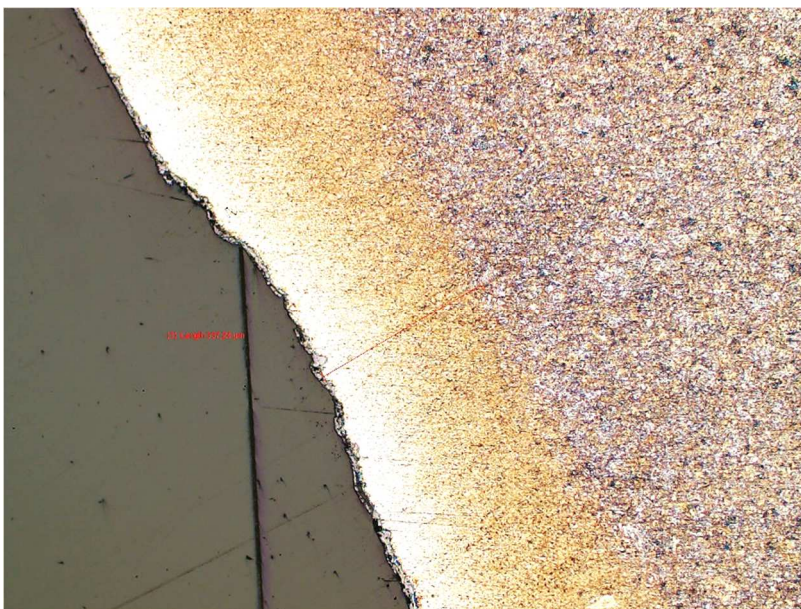


**Imagen 59**

*Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #3 Gr60 sin ataque químico. Magnificación 3,15X*

**Imagen 60**

*Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #3 Gr60 con ataque químico. Magnificación 6,3X*

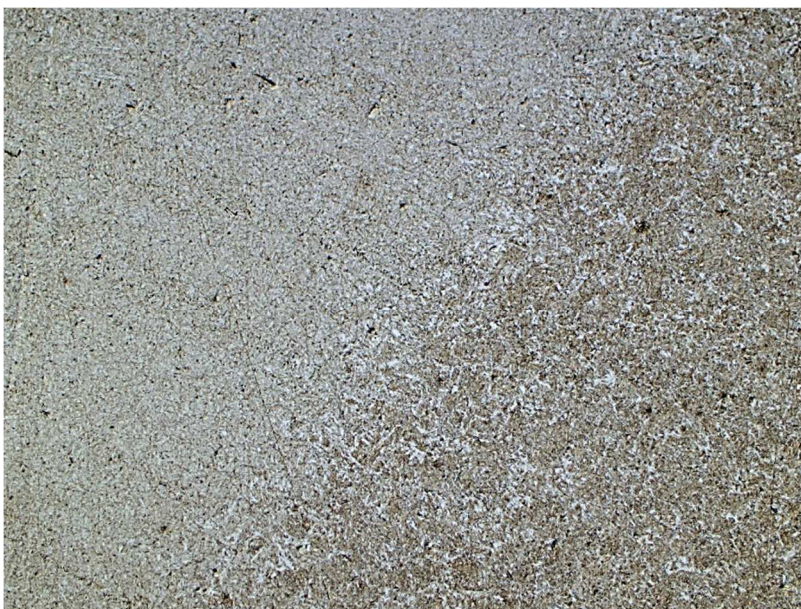


**Imagen 61**

*Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #4 Gr 60 sin ataque químico. Magnificación 3,15X*

**Imagen 62**

*Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código AM-CR #4 Gr 60 con ataque químico. Magnificación 12,6X*



**Imagen 63**

*Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código KD-TR #3 Gr40 sin ataque químico 3,15X*

**Imagen 64**

*Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código KD-TR #3 Gr40 con ataque químico. Magnificación 3,15X*

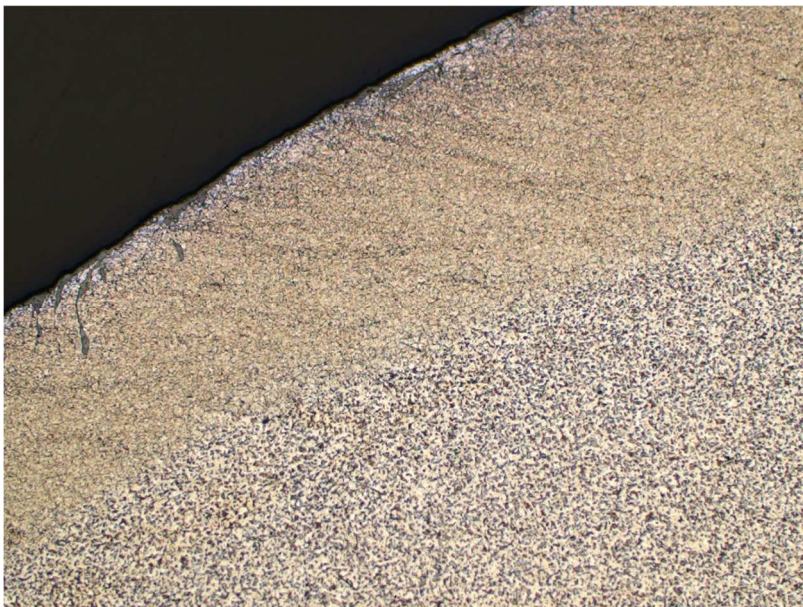


**Imagen 65**

*Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código KD-TR #4 Gr 40 sin ataque químico. Magnificación 3,15X*

**Imagen 66**

*Fotografía correspondiente a la metalografía realizada a una muestra de barra código KD-TR #4 Gr 40 con ataque químico. Magnificación 6,3X*



El análisis metalográfico realizado dio como resultado que, previo a su ataque químico, en todos los especímenes de ensayos se evidenció la presencia de cantidades muy pequeñas de inclusiones no metálicas esféricas de posible tipo óxido (pequeños puntos negros), las cuales se encontraban distribuidas de manera homogénea a lo largo del material, sin que se observara la presencia de alguna otra indicación relevante en dicha etapa del ensayo.

Posterior al ataque químico, en todas las muestras se reveló claramente la microestructura de los aceros constituidos por una matriz bifásica de granos de solución sólida ferrita alfa (zonas blancas) en conjunto con granos de una mezcla mecánica de tipo perlítica (zonas oscuras compuestas por alternancia de láminas de carburo de hierro-cementita y ferrita alfa), característica de aceros de tipo hipoeutectoides. Dicha microestructura presentaba un tamaño de grano fino, así como un estado metaestable de normalizado debido a la geometría presente en los mismos productos del proceso de enfriamiento de la aleación.

Se determinó un mayor porcentaje de presencia de la fase perlítica para las muestras de código AM-CR en su grado 60 con respecto a las demás, lo que supone una mayor presencia de carbono en la composición química de la aleación. El ataque químico maximizó la visualización de las inclusiones observadas inicialmente.

Asimismo, se encontró una clara zona de transición microestructural a lo largo de todo el perímetro para las muestras de código AM-CR en su grado 60 y la muestra de código KD-TK en su grado 40, en donde no fue posible identificar estructuras de tipo granular y esta es congruente a la presente en los procesos de modificación microestructural, por medio de tratamientos termo físicos superficiales para la modificación de propiedades, especialmente las mecánicas.

## Capítulo 5

### 5.1 Conclusiones

Los requisitos legales de venta, importación y comercialización de barras y alambres de acero para refuerzo de uso en Costa Rica están regulados por el Reglamento Técnico Nacional RTCR 452:2011 y sus reformas de ley. Dicho documento es de acatamiento obligatorio por los profesionales del sector construcción y los consumidores.

Para los especímenes de barras de acero para refuerzo de concreto evaluados bajo el código AM CR # 3 Gr 40 se detecta un incumplimiento con respecto a los requisitos establecidos para su evaluación en el alcance del proyecto, específicamente en lo referente a los requisitos de corrugación (intervalo máximo de cordón).

Para los especímenes de barras de acero para refuerzo de concreto evaluados bajo el código AM CR # 4 Gr 40 se comprueba cumplimiento total con respecto a los requisitos establecidos para su evaluación en el alcance del proyecto.

Para los especímenes de barras de acero para refuerzo de concreto evaluados bajo el código AM CR # 3 Gr 60 se detecta incumplimiento con respecto a los requisitos establecidos para su evaluación en el alcance del proyecto basados, específicamente en lo referente a los requisitos de corrugación (intervalo máximo de cordón) y los requisitos de tracción (porcentaje de elongación).

Para los especímenes de barras de acero para refuerzo de concreto evaluados bajo el código AM CR # 4 Gr 60 se comprueba cumplimiento con respecto a los requisitos establecidos para su evaluación en el alcance del proyecto.

Para los especímenes de barras de acero para refuerzo de concreto evaluados bajo el código KD TR # 3 Gr 40 se detecta incumplimiento con respecto a los requisitos establecidos para su

evaluación en el alcance del proyecto, específicamente en lo referente a los requisitos de marcado del producto y los requisitos de tracción.

Para los especímenes de barras de acero para refuerzo de concreto evaluados bajo el código KD TR # 4 Gr 40 se comprueba cumplimiento con respecto a los requisitos establecidos para su evaluación en el alcance del proyecto.

Para los especímenes de alambre de acero para refuerzo de concreto evaluados bajo el código FX SV # 7,01 Gr 75 y código BT CR # 5,25 Gr 75 se comprueba que los mismos presentan un grado mayor al declarado en el producto.

Para todos los especímenes evaluados mediante el análisis metalográfico, la caracterización indicó una conformación basada en una microestructura compuesta por granos finos de ferrita y perlita en estado normalizado de grano fino.

Para los especímenes evaluados por análisis metalográfico bajo el código AM-CR Gr 60 y KD-TK Gr 40 se presentó una modificación microestructural a nivel superficial debido a la aplicación de un tratamiento térmico, el cual influyó en los valores de las propiedades mecánicas.

## 5.2 Recomendaciones

Debido a las limitantes de equipo no fue posible realizar la evaluación completa de los requisitos de conformidad de productos para los sujetos de estudio del proyecto, por lo que se recomienda generar nuevas investigaciones en el campo de calidad de materiales, las cuales puedan cubrir los aspectos no evaluados en la presente investigación.

La evaluación de conformidad de los requisitos efectuada en el presente trabajo incluyó el análisis solamente de número limitado de proveedores y tamaños de muestras de barras y alambres, de manera que se sugiere la elaboración de estudios para otras designaciones de tamaño y oferentes del producto con el fin de garantizar la calidad de estos a nivel nacional.

Durante la ejecución de las pruebas de requisitos de corrugación, se pudo constatar experimentalmente las dificultades de medición de los parámetros de estudio con el instrumento de medición empleado. Por lo tanto, se recomienda evaluar y validar la posibilidad de utilización de instrumentos tipo indicador de caratula, los cuales en particular faciliten la toma de datos de la altura de la corruga.

A partir de la lectura de legislación nacional aplicable a los productos de acero evaluados, se pudo observar que esta se encuentra desactualizada en algunos de los documentos señalados o no incluye la referencia a la normativa técnica nacional. Esta situación puede causar confusión de interpretación, de manera que se recomienda incluir dichas actualizaciones en los documentos RTCR 452:2011 y CSCR 2010, Revisión 2014.

### 5.3 Bibliografía

- Aceros Abonos Agro. (2021, 20 de noviembre). *Varilla Deformada*.  
<https://www.abonosagro.com/varilla-deformas.html>
- Aceros Monge. (2021, 20 de noviembre de 2021). *Hierro Negro*.  
<https://www.acerosmonge.com/hierronegro>
- Acuña, R. (2013, junio). Actualización Profesional Código Sísmico de Costa Rica. *Bitácora Boletín Informativo CFIA*, 9.
- Alamán, A. (2016). *Materiales Metálicos de Construcción*. Dextra.
- Alting, L. (1996). *Procesos para Ingeniería de Manufactura*. Mexico D.F., Mexico: Alfaomega Grupo de Editor S.A.
- American Society for Metals. (2012). *Metallurgy for the Non Metallurgist*. ASM International
- American Society for Metals. (2004). *ASM Handbook Volume 9: Metallography and Microstructures 2004*. ASM International.
- American Society for Metals. (2000). *ASM Handbook Volume 8: Mechanical Testing and Evaluation 2000*. ASM International.
- American Society for Testing and Materials. (2021). *ASTM E8/E8M-21 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2020). *ASTM A615 / A615M - 20 Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2019). *ASTM A6 / A6M - 19 Standard Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2018). *ASTM A1064 / A1064M - 18a Standard Specification for Carbon-Steel Wire and Welded Wire Reinforcement, Plain and Deformed, for Concrete*. ASTM.
- American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM E3-11(2017) Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. ASTM.

- American Society for Testing and Materials. (2016). *ASTM A706/A706M-16 Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement*. ASTM.
- Arcelor Mittal Costa Rica. (2021, 20 de noviembre d). *Varilla Deformada*. <https://www.abonosagro.com/varilla-deformas.html>
- Arcos Huilca, T. W. (2020). *Estudio Comparativo de la Soldabilidad, Propiedades Mecánicas y Metalográficas de los Aceros Estructurales de Grado 60 ASTM 615 y A706 Producidos En Perú* (Tesis de Bachillerato, Universidad Católica de Santa María).
- Castro Murillo, D. y Moya Quiros, M. (2015). *Diagnóstico del mercado de materiales para la construcción*. Ministerio de Economía, Industria y Comercio de Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2010). *Código Sísmico de Costa Rica 2010*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Construplaza. (2021, 23 de noviembre). *Varilla Deformada*. <https://www.construplaza.com/Construplaza/Pedidos?busqueda=varilla%20deformada>
- Corporación Matco. (2021, 20 de noviembre). *Varillas*. <https://www.matcocr.cm/Productos/Varillas.html#varDeformada>
- El Lagar. (2021, 23 de noviembre). *Varilla Deformada*. <https://www.construplaza.com/Construplaza/Pedidos?busqueda=varilla%20deformada>
- El Mundo CR. (2015, 11 de septiembre). Inteco denuncia que varillas importadas para construcción de Escuela Nacional de Policía no fueron certificadas. *El Mundo CR*. <https://www.elmundo.cr/costa-rica/inteco-denuncia-que-varillas-importadas-para-construccion-de-escuela-nacional-de-policia-no-fueron-certificadas/>
- Gerdau Metaldom. (2021, 20 de noviembre). *Contáctenos*. <https://gerdaumetaldom.com/contacto>
- Gramajo Bámaca, J. (2015). *Características físicas y propiedades mecánicas de las barras de acero*. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Grupo Ferromax. (2021, 20 de noviembre). *Hierromáx*. <https://grupoferromax.com/cr/productos/hierro/hierromax/>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Hidalgo Rodríguez, L. A., Murillo, Q. N., Amador, J. A. y Gutiérrez, F. D. (2013). *Manual de uso del Sistema Internacional de Unidades SI Una Guía Práctica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2020). *INTE C400:2020 Barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto. Requisitos*. Inteco.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2020). *INTE C401:2020 Barras de acero de baja aleación, lisas y corrugadas para refuerzo de concreto. Requisitos*. Inteco.
- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2020). *INTE C402:2020 Alambre de acero al carbono liso y corrugado, y mallas electrosoldadas para refuerzo de concreto*. Inteco.
- Instituto Nacional de Normas Técnicas de Costa Rica. (2021, diciembre). Comité Técnico Nacional CTN 06 SC 07 Aceros. *Consulta Técnica Requisitos para el Refuerzo de la Mampostería CSCR 2010*. Costa Rica.
- Intersteel. (2021, 20 de noviembre). *Nuestros Productos*. <https://intersteel.cr/productos/>
- J. Pancorbo, F. (2013). *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. Alfaomega Grupo Editor S.A.
- Kalpakjian, S. y Schmid, S. (2014). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Pearson.
- Martín Piris, N. (2012). *Ciencia de materiales para ingenieros*. Pearson.
- Metales Flix. (2021, noviembre). *Nuestros Productos Varillas*. <https://www.metalesflix.com/productos.cfm?pid=30>
- Ministerio de Economía Industria y Comercio de Costa Rica. (2010). *Reglamento Técnico RTCR 452:2011 Barras y Alambres de Acero de refuerzos para concreto. Especificaciones*. Imprenta Nacional.
- Procuraduría General de la República. (2022, 1 de febrero). *Reglamento Técnico RTCR 452:2011 Barras y Alambres de acero de refuerzo para concreto*. [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=73414](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=73414)
- Quiros Leiva, J. (2018). *Verificación del Programa de Puntos de Inspección (PPI) Ejecutado para la Estructura Metálica del Nuevo Puente sobre el Río Virilla en la Ruta Nacional N° 147*". Práctica dirigida.
- Rufino, J. y Napolitano, F. (2000). *Curso Introducción al Sistema de Análisis por Espectrometría de Emisión Óptica GDS*. INBOX technology and Services S.A.
- Tioli Mora, H., González, D., González, J. e Hidalgo, J. (2017, 24 de agosto). *Curso Metrología Magnitud Fuerza*. Universidad de Costa Rica, Lanamme UCR, Costa Rica.

Torres, J. (2015, 23 de octubre). Estudiarán planos y varilla de Escuela Nacional de Policía. *CR Hoy*. <https://archivo.crhoy.com/estudiaran-planos-y-varilla-de-escuela-nacional-de-policia/nacionales/>

## 5.4 Anexo

### Reglamento Técnico Nacional

#### Reglamento Técnico RTCR 452:2011 Barras y Alambres de acero de refuerzo para concreto. Especificaciones N° 37341-MEIC

*(Nota de Sinalévi: El Ministerio de Economía, Industria y Comercio mediante comunicado en La Gaceta N° 12 del 17 de enero de 2014, informó que: "Mediante Resolución del 7 de noviembre del 2013, del Tribunal Contencioso Administrativo del Segundo Circuito Judicial de San José, expediente judicial número 13-003405-1027-CA-2, se levanta la medida cautelar provisionalísima dictada en mayo del presente año por este Tribunal en relación con el Reglamento Técnico "RTCR 452:2011 Barras y Alambres de Acero de Refuerzo para Concreto. Especificaciones" (Decreto Ejecutivo N° 37341-MEIC y sus reformas). Lo anterior, en virtud del acuerdo conciliatorio suscrito por la Cámara Costarricense de la Construcción y este Ministerio, lo que hace que a partir de esa fecha, el citado Reglamento Técnico se encuentra vigente")*

*(Nota de Sinalévi: La Dirección de Mejora Regulatoria y Reglamentación Técnica del Ministerio de Economía, Industria y Comercio, mediante publicación en La Gaceta N° 109 del 7 de junio del 2013, comunica al público en general lo siguiente: "...Que mediante Decreto Ejecutivo N° 37341-MEIC del 31 de agosto de 2012, se promulgó el Reglamento Técnico RTCR 425:2011 Barras y Alambres de Acero de refuerzo para concreto, el cual establecía su entrada en vigencia 6 meses después de su publicación en el Diario Oficial La Gaceta. Que mediante Decreto Ejecutivo N° 37638-MEIC publicado en La Gaceta N° 70 del 12 de abril de 2013, se proroga la entrada en vigencia del Decreto Ejecutivo N° 37341-MEIC hasta el 24 de mayo de 2013. Que mediante solicitud de medida cautelar de prima facie, interpuesta por la Asociación Cámara Costarricense de la Construcción (CCC), el Tribunal Contencioso Administrativo y Civil de Hacienda, mediante Resolución de las 22 horas 12 minutos del 23 de mayo de 2013, le ordena al Estado la suspensión provisional de la vigencia de los Decretos supra citados, hasta el dictado de la resolución definitiva de la Medida Cautelar")*

**LA PRESIDENTA DE LA REPÚBLICA**

**Y LA MINISTRA DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMERCIO**

En uso de las atribuciones que les confieren los artículos 140 incisos 3) y 18) y 146 de la Constitución Política; los artículos 27 inciso 1) y 28 inciso 2, acápite b) de la Ley General de Administración Pública, Ley N° 6227 del 2 de mayo de 1978; la Ley Uso Exigido Sistema Internacional Unidades Medida "SI" Métrico Decimal, Ley N° 5292 del 9 de agosto de 1973; la Ley de Promoción de la Competencia y Defensa Efectiva del Consumidor, Ley N° 7472 del 20 de diciembre de 1994; la Ley Aprobación del Acta Final en que se incorporan los resultados de la Ronda de Uruguay de Negociaciones Comerciales Multilaterales, Ley N° 7475 del 20 de diciembre de 1994; la Ley del Sistema Nacional para la Calidad, Ley N° 8279 del 2 de mayo de 2002 y la Ley Orgánica del Ministerio de Economía, Industria y Comercio, Ley N° 6054 del 14 de junio de 1977.