

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL TÉCNICO SOBRE LOS ENSAYOS Y
CONTROL DE CALIDAD DEL ACERO DE REFUERZO (BARRAS
CORRUGADAS, MALLAS ELECTROSOLDADAS Y GRAFILES) A PARTIR DE
UNA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y MECÁNICA PARA LA EMPRESA
STECKERL ACEROS S.A.S**

FRANK JAIR HERNÁNDEZ BALLESTEROS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2018**

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL TÉCNICO SOBRE LOS ENSAYOS Y
CONTROL DE CALIDAD DEL ACERO DE REFUERZO (BARRAS
CORRUGADAS, MALLAS ELECTROSOLDADAS Y GRAFILES) A PARTIR DE
UNA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y MECÁNICA PARA LA EMPRESA
STECKERL ACEROS S.A.S**

FRANK JAIR HERNÁNDEZ BALLESTEROS

**Trabajo de Grado (Modalidad, Investigación) para Optar al Título de
Ingeniero Metalúrgico**

Director

Dr. CRISTIAN CAMILO VIÁFARA ARANGO

Codirector

**Ing. JORGE IVAN BAEZ LARROTA
STECKERL ACEROS S.A.S**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS
MATERIALES
BUCARAMANGA
2018**

DEDICATORIA

A mis padres Juan Carlos Hernández y Luz Marina Ballesteros por ser la semilla de este gran logro y mi orgullo de vida

A mi tía Marta Ballesteros y mi abuelo Alfonso Ballesteros, las personas que más quiero después de mis padres.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por el apoyo incondicional brindado durante todo mi trayecto universitario.

A mi profesor Cristian Camilo Viáfara Arango por ser la guía durante todo este proceso.

Agradezco muy especialmente al Ingeniero Jorge Iván Báez Larrota, quien me brindo todo su apoyo y su conocimiento durante el desarrollo del proyecto de grado y me permitió la oportunidad de desarrollarlo en la empresa Steckerl Aceros S.A.S.

A mi novia María Fernanda Ovalle, quien ha estado conmigo en mis últimos pasos de mi carrera universitaria y por darme todo el apoyo y cariño durante este proceso.

A Mario González, Romario Ortiz, Armando Solorzano y Sergio Arias por ser grandes amigos y hacer que el paso por la universidad haya sido una excelente experiencia de vida.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1.ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	12
1.1 ACERO DE REFUERZO.....	12
1.2 NORMAS TÉCNICAS EMPLEADAS	12
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO.....	13
1.4 ENSAYOS MECÁNICOS	14
1.4.1 Ensayo de tracción.....	14
1.4.2 Ensayo de dobléz.....	15
2.OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3.METODOLOGÍA	17
3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	17
3.2 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	17
3.3 EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS	18
3.4 INSPECCIÓN DIMENSIONAL DEL PRODUCTO.....	19
3.5 ELABORACIÓN DEL MANUAL TÉCNICO	20

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	21
4.1 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	21
4.2 ENSAYOS Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS	22
4.2.1. Ensayos de tracción de las barras corrugadas.....	23
4.2.2. Ensayo de dobléz de las barras corrugadas	27
4.3 ANÁLISIS DIMENSIONAL DEL PROTOCOLO	28
4.3.1 Espaciamiento de los resaltes.....	28
4.3.2 Altura de los resaltes.....	29
4.3.3 Ángulo de los resaltes.....	29
4.4 ELABORACIÓN DEL MANUAL TÉCNICO	30
5.CONCLUSIONES	32
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de barras corrugadas y mallas electrosoldadas	13
Figura 2. Esquema de tracción de maquina.....	14
Figura 3. Esquema del ensayo de doblado aplicado a barra corrugada	15
Figura 4. Esquema metodológico.....	17
Figura 5. Esquema de la probeta corrugada empleada para los ensayos de tracción y dobléz.....	18
Figura 6. Ilustración de las 3 mediciones cada una de 45° a barra corrugada de 3/4 de pulgada	19
Figura 7. Curva esfuerzo - deformación de la barra corrugada de 3/4 de pulgada	23
Figura 8. Curva esfuerzo - deformación de la barra corrugada de 5/8 de pulgada.	24
Figura 9. Curva esfuerzo - deformación de la barra corrugada de 1/2 de pulgada.	26
Figura 10. Probeta de barra corrugada y zona afectada después del ensayo de dobléz	27
Figura 11. Medición del espaciamiento promedio de los resaltes.	28
Figura 12. Impresión de la barra corrugada y medición de los ángulos de los resaltes.	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos de resaltes de las barras corrugadas	20
Tabla 2. Análisis de composición química para barra corrugada de 3/4 de pulgada de diámetro.....	21
Tabla 3. Análisis de composición química para barra corrugada de 5/8 de pulgada de diámetro.....	22
Tabla 4. Resultados del ensayo de tracción de la barra corrugada de 3/4 de pulgada.....	24
Tabla 5. Resultados del ensayo de tracción de la barra corrugada de 5/8 de pulgada.....	25
Tabla 6. Resultados del ensayo de tracción de la barra corrugada de 1/2 de pulgada.....	26
Tabla 7. Resultados del ensayo de doblez de las barras corrugadas de 3/4, 5/8 y 1/2 pulgada.....	27
Tabla 8. Registro de mediciones de la altura promedio para la probeta de 3/4 de pulgada.....	29
Tabla 9. Estructura y temática del manual técnico elaborado.	31

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Manual técnico

Anexo B. Certificados del producto

Anexo C. Certificado de los ensayos mecánicos.

*Ver anexos en la carpeta adjunta al CD.

INTRODUCCIÓN

Actualmente se vive en un período de tiempo en el que es necesario una evolución constante en todos los campos ingenieriles. El sector de la construcción ha venido presentando cambios con el objetivo de mejorar en ámbitos económicos, estéticos y por supuesto en seguridad.

El uso de concreto reforzado es indispensable en los procesos de construcción de edificaciones civiles. El concreto está constituido por el acero de refuerzo figurado, el cual brinda a la edificación un plus de seguridad y respalda el buen comportamiento de la estructura, permitiendo sustentar cualquier tipo de construcción civil que se vaya a realizar. Otro componente de suma importancia y que brinda grandes ventajas en este proceso son las mallas electrosoldadas, las cuales mantienen los bloques de concreto compactos y son de vital uso para que las estructuras soporten mayor peso.

STECKERL ACEROS S.A.S es una empresa colombiana dedicada a la importación y distribución de aceros estructurales al por mayor y detal en el territorio nacional. La empresa maneja el segmento de infraestructura y construcción vertical con acero corrugado y mallas para el refuerzo de concreto. Actualmente la empresa ve la necesidad de implementar un manual sobre el acero de refuerzo, las mallas electrosoldadas y los grafiles, que proporcione una información técnica a los clientes al momento de requerir estos productos para su correcta aplicación.

El propósito de este trabajo de grado consiste en elaborar un documento técnico en base a los requisitos exigidos por las normas NTC 2289, NTC 5806, NTC 3353, en las cuales se describen los requisitos en propiedades mecánicas y composición química, los parámetros de control de calidad y los ensayos pertinentes que se deben realizar del acero de refuerzo y así contribuir en el buen manejo de las normas y seguridad en las obras.

1. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

1.1 ACERO DE REFUERZO

El acero de refuerzo es un material de baja aleación, liso o corrugado, fabricado especialmente como refuerzo del concreto para resistir y absorber los esfuerzos de tensión y compresión presentes en la edificación [1]. El acero es uno de los componentes más importantes para garantizar el buen comportamiento estructural de las edificaciones a nivel mundial. En el campo de la construcción es de suma importancia la utilización de estructuras de concreto reforzado y la exigencia de un acero de refuerzo de excelente calidad, debido a que es un material capaz de absorber las deformaciones ocasionadas por el movimiento sísmico. Del mismo modo, una estructura podría colapsar durante un sismo si el acero de refuerzo utilizado no es de buena calidad.

1.2 NORMAS TÉCNICAS EMPLEADAS

Para la distribución del acero de refuerzo es necesario que el producto cumpla con los requisitos exigidos por las siguientes normas.

NTC 2289: “Esta norma cubre las barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, rectas o en rollos, para refuerzo de concreto destinadas para aplicaciones donde se requieren propiedades mecánicas y composiciones químicas restrictivas para hacerlas compatibles con aplicaciones que requieran propiedades de tracción controladas o para mejorar la soldabilidad.” [2].

NTC 5806: “Esta norma establece los requisitos para alambre de acero y mallas electrosoldadas para refuerzo de concreto producidas a partir de barras laminadas en caliente.” [3].

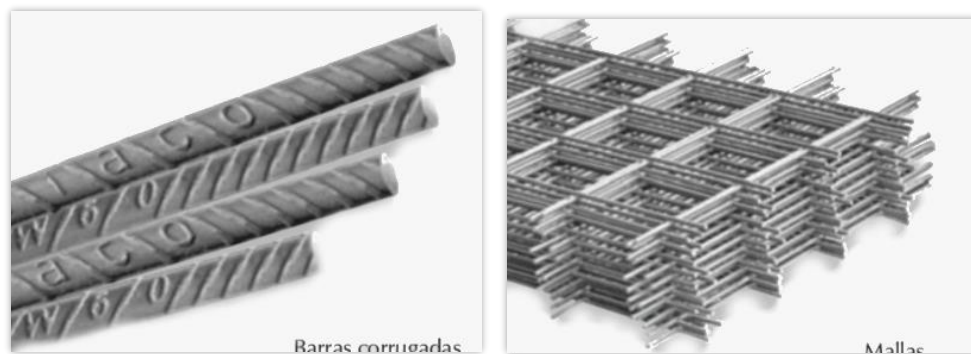
NTC 3353: “Esta norma cubre procedimientos y definiciones para ensayos mecánicos de productos de acero forjados y fundidos. Los diferentes ensayos mecánicos descritos en esta norma se usan para determinar las propiedades requeridas en la especificación del producto. Se deben evitar las variaciones en los métodos de ensayo y se deben seguir los métodos normalizados para obtener resultados reproducibles y comparables.” [4].

Estas normas están adaptadas a partir de las normas ASTM A706/A706M, ASTM A106/A1064M y ASTM A370 respectivamente.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Las barras corrugadas son barras circulares con resaltes en la superficie las cuales aumentan la adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto. Las mallas electrosoldadas son estructuras de acero planas en forma de panel, formadas por alambres de acero grafilados o lisos. La diferencia entre el alambre grafilado y el liso consta que el grafilado posee resaltes que impiden el movimiento longitudinal del alambre dentro del concreto en la construcción [5]. Estos son productos derivados del acero de refuerzo y su control de calidad están regidos bajo las normas NTC 2289, NTC 5806 y NTC 3353.

Figura 1. Ejemplo de barras corrugadas y mallas electrosoldadas



Todo el producto distribuido por la empresa **STECKERL ACEROS S.A.S** pasa por un minucioso proceso de inspección calidad para verificar que el material esté en

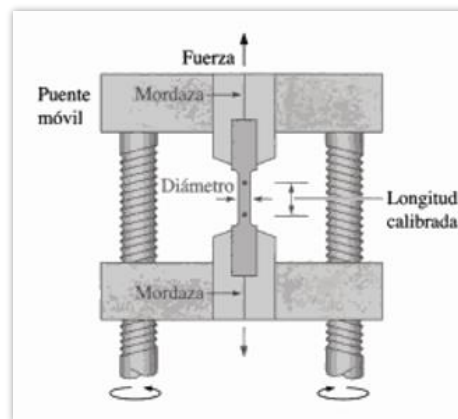
óptimas condiciones y cumpla con todos los requisitos exigidos por las normas. Entre este proceso se encuentra la inspección de dimensiones y el marcado, donde se verifican los resaltes, el espaciamiento y los ángulos del corrugado y del grafil.

1.4 ENSAYOS MECÁNICOS

Las preparaciones de las probetas para el desarrollo de los ensayos mecánicos se realizan en base a la norma NTC 3353; los resultados deben cumplir con los requisitos exigidos por las normas NTC 2289 y NTC 5806. Para evaluar el comportamiento mecánico de las mallas electrosoldadas, las probetas que serán ensayadas se obtienen del corte de una sección o área de la malla. Para todos los ensayos, las intersecciones soldadas deben estar posicionadas en el centro de las probetas.

1.4.1 Ensayo de tracción: El ensayo de tracción o tensión mide la resistencia mecánica de una probeta que está sometida a una carga uniaxial aplicada lentamente, hasta que ocurre la falla. Durante este ensayo la pieza de forma cilíndrica se sujeta por los extremos y estos se separan, produciendo un alargamiento [7]. Es necesario realizar este ensayo a temperatura ambiente para evitar la fragilización del acero a temperaturas bajas. En la figura 2 se observa el esquema de la máquina universal para realizar el ensayo de tracción.

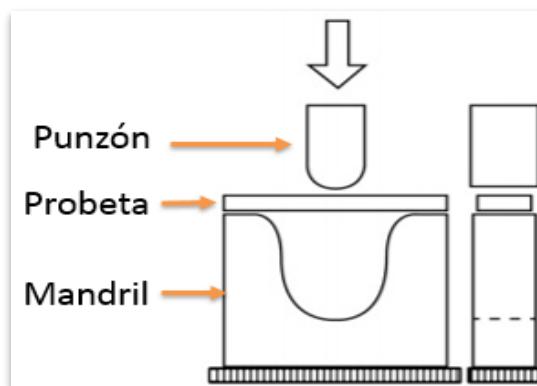
Figura 2. Esquema de tracción de maquina



Es necesario tener en cuenta varias propiedades mecánicas, entre estas la resistencia a la tracción, resistencia a la fluencia y la ductilidad del material, el control de dichas propiedades asegura que el material pueda cumplir a cabalidad todas sus exigencias para su aplicación en construcción.

1.4.2 Ensayo de doblado: el ensayo consiste en doblar la probeta alrededor de un mandril bajo una carga creciente hasta que se alcanza el ángulo deseado, de tal manera de que ésta soporte dicha acción sin presentar agrietamiento en la zona afectada. ocasionalmente se realizan ensayos de doblado para constatar la ductilidad para tipos particulares de servicio o detectar la pérdida de ductilidad bajo ciertos tipos de tratamiento [8].

Figura 3. Esquema del ensayo de doblado aplicado a barra corrugada



El ensayo de doblado para las barras corrugadas, el grafil y el alambre liso, se realiza a diferentes ángulos. La probeta de alambre liso y de barra corrugada debe doblarse hasta un ángulo de 180° y para la probeta de grafil hasta un ángulo de 90° [2, 3]. Algunos de los factores más importantes que se deben tener en cuenta en la ejecución del ensayo son que los mandriles deben girar libremente sin generar fuerzas de fricción con la probeta y que el ensayo debe realizarse a temperatura ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un manual técnico sobre el acero de refuerzo, mallas electrosoldadas y grafil con base en las normas NTC 2289, NTC 5806 y NTC 3353, a partir de una caracterización mecánica y química para la empresa STECKERL ACEROS S.A.S.

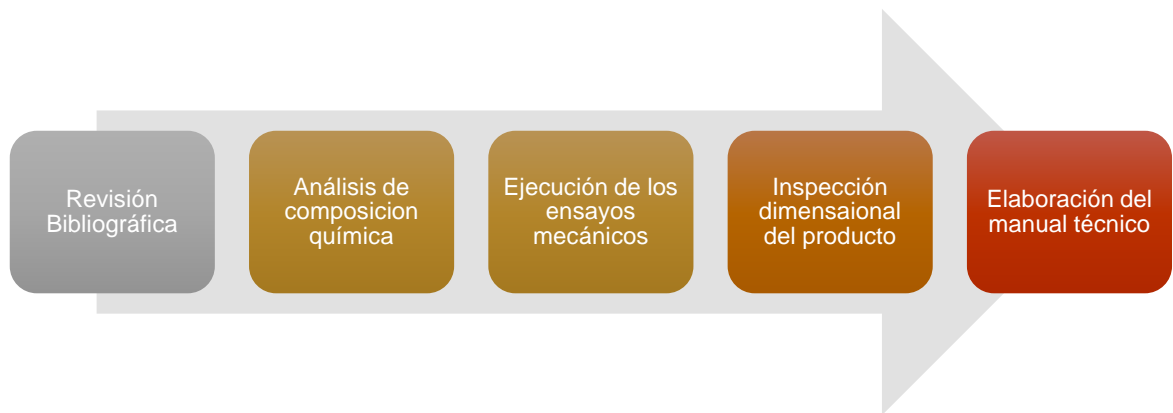
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.** Realizar la caracterización mecánica y química de las barras corrugadas y las mallas electrosoldadas por medio de los ensayos de tracción, doblez y espectroscopia de emisión óptica por chispa.
- 2.** Analizar los resultados obtenidos de los ensayos y verificar el cumplimiento con las normas NTC 2289 y NTC 5806.
- 3.** Elaborar el manual técnico con base en el estudio y la caracterización realizada.

3. METODOLOGÍA

En la Figura 4 se presenta el correspondiente esquema metodológico donde se describen las actividades realizadas para la elaboración del manual técnico sobre el acero de refuerzo para la empresa Steckerl Aceros S.A.S.

Figura 4. Esquema metodológico



3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para llevar a cabo la realización del proyecto fue necesaria una revisión bibliográfica referente al acero de refuerzo, mallas electrosoldadas y el grafil. Se analizaron temas como propiedades mecánicas y composición química del acero de refuerzo, ensayo de tracción, dobléz y control de calidad entre otros, obtenidos de fuentes tales como: libros, manuales técnicos, normas y documentos.

3.2 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

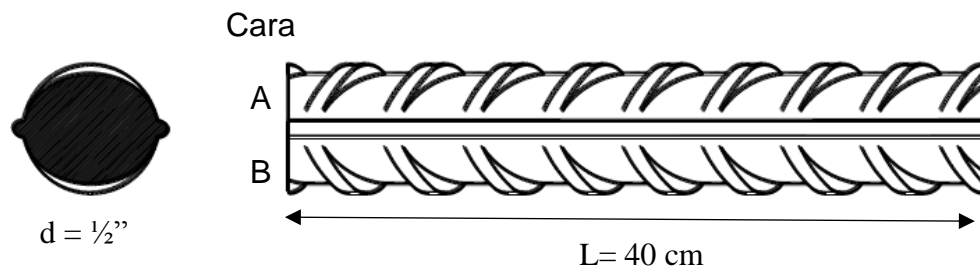
El análisis de composición solo se les realizó a las probetas de acero corrugado. A partir de las probetas ensayadas, se cortó 2.5 cm de longitud de las barras de 3/4 y 5/8 de pulgada de diámetro para el análisis de composición química, el cual fue realizado por un Espectrómetro de Emisión por Chispa de referencia Q8 MAGELLAN perteneciente a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de

Materiales. En este ensayo se analizaron los componentes aleantes más influyentes del acero de refuerzo y el porcentaje de carbono equivalente con respecto a lo indicado en la norma NTC 2289. También se tienen en cuenta los valores de chequeo expuestos por la norma, lo cual hace referencia a los valores de composición química que se deben cumplir en el análisis de verificación del producto realizado por el comprador.

3.3 EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS

Se utilizaron 6 probetas de barras corrugadas (3 para el ensayo de tracción y 3 para el ensayo de dobléz) con diámetros de 3/4, 5/8 y 1/2 de pulgada, con una longitud de 40 cm, las cuales fueron provistas por la empresa. En la figura 5 se muestra el esquema de la probeta corrugada empleada para los ensayos de tracción y dobléz. Para el ensayo de tracción se obtuvo una curva esfuerzo-deformación para cada probeta y los datos obtenidos se presentaron en tablas, donde se analizaron los porcentajes de alargamiento, la resistencia a la tracción, la resistencia a la fluencia y la relación entre estas dos últimas. Es muy importante que las barras corrugadas tengan la relación de tracción/fluencia por encima de 1.25, ya que este valor se asemeja al factor de seguridad que refleja la capacidad del material para soportar una carga. Todos estos valores se comparan con aquellos indicados en la norma NTC 2289 [2].

Figura 5. Esquema de la probeta corrugada empleada para los ensayos de tracción y dobléz.



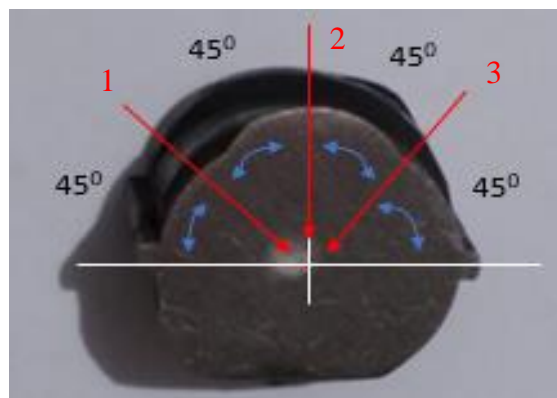
El ensayo de doblez consistió en doblar cada probeta hasta llevarlas a un ángulo de 180° bajo la acción de una carga uniforme y continua a temperatura ambiente, donde se realizó solo un análisis superficial verificando la existencia de grietas o fisuras. La información se presentó en la tabla 7 junto con la carga máxima de doblez aplicada.

3.4 INSPECCIÓN DIMENSIONAL DEL PRODUCTO

En esta etapa se analizaron el espaciamiento, altura y el ángulo de los resaltes del corrugado de las barras. Se consideró que los resaltes debían estar distribuidos a distancias substancialmente uniformes a lo largo de la varilla y que el ángulo de éstos no sea inferior a 45° . Todas las medidas se hicieron en base al diámetro nominal de las probetas y siguiendo los criterios expuestos por las normas anteriormente nombradas. Para la medición del ángulo de los resaltes se pintó un segmento de la barra y se hizo rodar sobre un papel donde se obtuvo la impresión de los resaltes.

En cuanto a la altura promedio de los resaltes se tomaron ocho resaltes en las dos caras de la barra (cara A y B, figura 5) y se registraron las tres mediciones requeridas para poder sacar la altura promedio. Las mediciones se tomaron cada 45° desde el eje horizontal de referencia como se observa en la figura 6.

Figura 6. Ilustración de las 3 mediciones cada una de 45° a barra corrugada de 3/4 de pulgada



Por otro lado, el análisis dimensional se realizó en base a la Tabla 1, donde se muestran los requisitos de espaciamiento y altura que deben cumplir los resaltes de las barras corrugadas exigidos por la norma NTC 2289 [2].

Tabla 1. Requisitos de resaltes de las barras corrugadas [2]

N° de designación de la barra	Diámetro (mm)	Promedio máximo del espaciamiento (mm)	Promedio mínimo de altura (mm)
2	6.35	4.45	0.25
3	9.50	6.7	0.38
4	12.7	8.9	0.51
5	15.9	11.1	0.71
6	19.1	13.3	0.97
7	22.2	15.5	1.12
8	25.4	17.8	1.27
9	28.7	20.1	1.42
10	32.3	22.6	1.63
11	35.8	25.1	1.80
14	43.0	30.1	2.16
18	57.3	40.1	2.59

3.5 ELABORACIÓN DEL MANUAL TÉCNICO

En esta fase se efectuó la elaboración del manual técnico, donde se concluye la información recolectada de las etapas anteriores relacionadas con el control de calidad del acero. El manual se estructuró dividiéndolo en los dos temas relacionados a las barras corrugadas y las mallas electrosoldadas. En la primera parte se encuentra todo lo relacionado con las barras corrugadas, los requisitos de la norma técnica colombiana que la rige (NTC2289) y el control de calidad; en la segunda parte está toda la información referente a las mallas electrosoldadas y el grafil con los mismos ítems empleados para las barras, pero con base en la norma NTC 5806.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

En las Tablas 2 y 3 se muestran los porcentajes de los elementos aleantes pertenecientes a las probetas de acero de refuerzo de 3/4 y 5/8 de pulgada, respectivamente, y su porcentaje de carbono equivalente (%Ce) junto con los requisitos exigidos por la norma NTC 2289. Es necesario tener en cuenta que el análisis de colada debe garantizar que el carbono equivalente sea máximo 0.55%, el cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$\%C.E = \%C + \% \frac{Mn}{6} + \% \frac{Cu}{40} + \% \frac{Ni}{20} + \% \frac{Cr}{10} + \% \frac{Mo}{50} - \% \frac{V}{10}$$

Tabla 2. Análisis de composición química para barra corrugada de 3/4 de pulgada de diámetro

CONCEPTO	Diámetro (in)	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Ni	% Cr	% Mo	% Cu	% V	% Ceq
Espectrometría	3/4	0,294	1,482	0,213	0,011	0,027	0,077	0,201	0,015	0,294	0,0022	0,57
Certificado de producción	3/4	0,290	0,950	0,13	0,015	0,029	0,120	0,120	0,021	0,036	0,004	0,48
NTC 2289 (% Máximo)	-	0,300	1,500	0,5	0,035	0,045	-	-	-	-	-	0,55
NTC 2289 (CHEQUEO % Máximo)	-	0,330	1,560	0,55	0,043	0,053	-	-	-	-	-	0,59

En la Tabla 2 se observan que para la probeta de 3/4 de pulgada los porcentajes de los elementos aleantes son muy similares a los exigidos por la norma y a los obtenidos en el certificado de producción. Aunque el porcentaje de carbono equivalente sobrepasa un poco el porcentaje máximo exigido por la norma, no excede el valor máximo del análisis de verificación del producto realizado por el

comprador (chequeo), lo cual indica que la probeta cumple con los requisitos de composición química solicitados, certificando de este modo la calidad del acero.

Tabla 3. Análisis de composición química para barra corrugada de 5/8 de pulgada de diámetro.

CONCEPTO	Diámetro (in)	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Ni	% Cr	% Mo	% Cu	% V	% Ceq
Espectrometría	5/8	0,358	3,709	0,488	0,0072	0,045	0,015	0,249	0,015	0,06	0,182	0,98
Certificado de producción	5/8	0,266	1,040	0,190	0,013	0,026	0,060	0,110	0,013	0,200	0,036	0,45
NTC 2289 (% Máximo)	-	0,300	1,500	0,5	0,035	0,045	-	-	-	-	-	0,55
NTC 2289 (CHEQUEO % Máximo)	-	0,330	1,560	0,55	0,043	0,053	-	-	-	-	-	0,59

En la Tabla 3 se observa que para la probeta de 5/8 de pulgada el porcentaje de manganeso excede en gran medida el valor exigido por la norma y el mostrado por el certificado de producción, obteniendo de este modo un valor de carbono equivalente por encima del requerido. El origen del desfase de estos porcentajes podría explicarse a que el diámetro de la probeta (5/8 de pulgada) es inferior al requerido para realizar el ensayo de Espectrometría de Emisión por Chispa (1 pulgada), lo cual puede alterar de manera significativa los resultados obtenidos.

4.2 ENSAYOS Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS

Se presentan a continuación los resultados de los ensayos de tracción y dobléz para las probetas de acero de refuerzo.

4.2.1. Ensayos de tracción de las barras corrugadas: En las Tablas 4, 5 y 6 se registran los resultados del ensayo de tracción para las probetas de diámetros 3/4, 5/8 y 1/2 de pulgada, respectivamente. Los valores de las propiedades mecánicas que se indican en las tablas están representados por las curvas esfuerzo-deformación de las figuras 7, 8 y 9. Los resultados de la tabla 4 evidencia que la probeta corrugada de 3/4 de pulgada cumple a cabalidad con los requisitos exigidos por la norma. Esta probeta presenta un porcentaje de alargamiento similar al del certificado y muy por encima del requerido por la norma, del mismo modo que los valores de resistencia a la tracción y a la fluencia. De igual manera tienen un valor de 1,34 en la relación tracción/fluencia mayor que el que registra el certificado, cumpliendo de este modo el concepto de que la resistencia a la tracción debe ser igual o mayor a 1,25 a la resistencia a la fluencia. La diferencia de valores con el certificado se debe posiblemente a leves alteraciones en el diámetro de la probeta ensayada o una leve falta de calibración de la máquina al momento de realizar en ensayo por parte del productor. Por otro lado, esta probeta cumple con los requisitos de composición química respaldando las propiedades mecánicas y la óptima calidad del producto.

Figura 7. Curva esfuerzo - deformación de la barra corrugada de 3/4 de pulgada

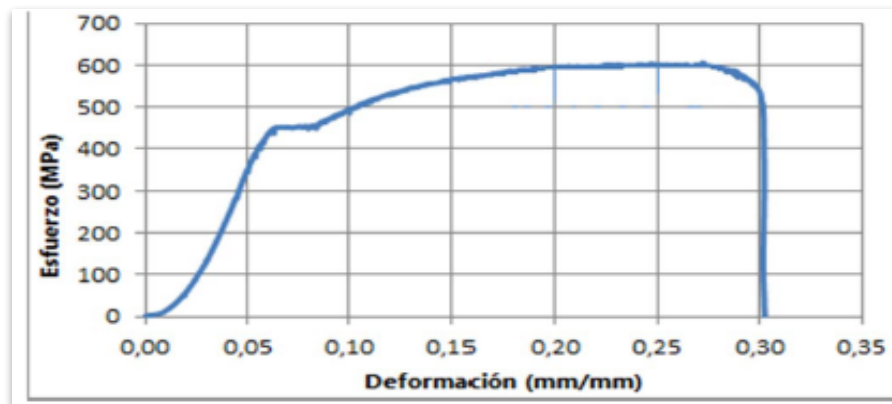


Tabla 4. Resultados del ensayo de tracción de la barra corrugada de 3/4 de pulgada.

Parámetro	Alargamiento en 200 mm	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa)	Relación tracción/fluencia
Valor Obtenido	18,1%	605,8	452,2	1,34
Certificado de producción	19,2	590	470	1,26
Requisitos de norma	Mín. 14%	Mín. 550	Entre 420 y 540	Mín. 1,25

Los resultados de la tabla 5 muestran que la probeta de 5/8 de pulgada posee alta resistencia a la tracción y a la fluencia y un porcentaje de alargamiento menor al del certificado y que apenas cumple con el requisito mínimo requerido. La relación tracción/fluencia es mayor en el certificado que al registrado por el ensayo, posiblemente por las mismas causas presentadas en la probeta de 3/4 de pulgada. Sin embargo, esta probeta presentó menor porcentaje de alargamiento, pero mayor resistencia a la tracción y a la fluencia que la probeta de 3/4 de pulgada.

Aunque la probeta de 5/8 de pulgada no cumple con la composición química requerida, sobrepasando el porcentaje máximo de carbono equivalente (%CE), cumple con el rango de valores requeridos por la norma, considerando el producto apto para su aplicación.

Figura 8. Curva esfuerzo - deformación de la barra corrugada de 5/8 de pulgada.

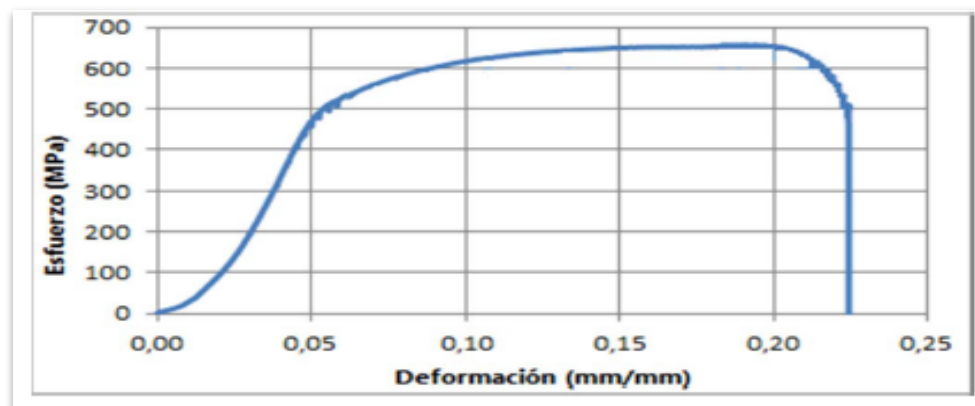


Tabla 5. Resultados del ensayo de tracción de la barra corrugada de 5/8 de pulgada

Parámetro	Alargamiento en 200 mm	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa)	Relación tracción/fluencia
Valor Obtenido	15,4%	657,5	509,4	1,29
Certificado de producción	20%	644	440	1,46
Requisitos de norma	Mín. 14%	Mín. 550	Entre 420 y 540	Mín. 1,25

En la tabla 6 los resultados muestran que la probeta corrugada de 1/2 pulgada son muy semejantes a los expedidos en el certificado de producción en cuanto a porcentaje de alargamiento y resistencia a la tracción, pero son muy diferentes en los valores de resistencia a la fluencia, derivando la notable diferencia de la relación tracción/fluencia entre el ensayo y el certificado.

La probeta de 1/2 pulgada de diámetro obtuvo los valores más altos de resistencia a la tracción y a la fluencia y el menor porcentaje de alargamiento en comparación con las demás probetas ensayadas. Sin embargo, al igual que las demás probetas, la probeta de 1/2 pulgada de diámetro cumple con todos los requisitos mecánicos exigidos por la norma y respeta los valores del certificado de producción, demostrando la buena calidad del producto y sus óptimas propiedades mecánicas para su aplicación estructural.

Figura 9. Curva esfuerzo - deformación de la barra corrugada de 1/2 de pulgada.

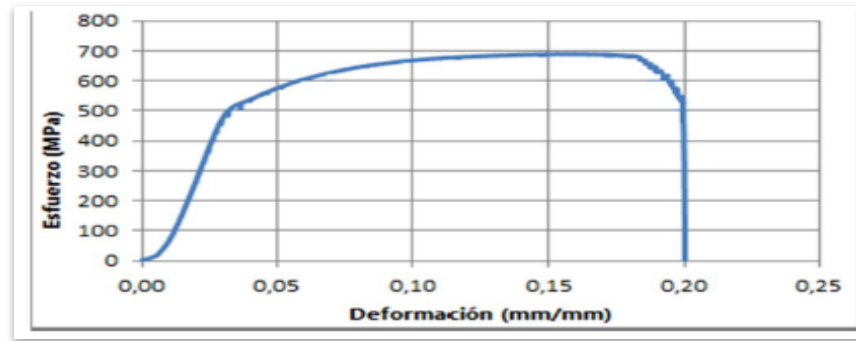


Tabla 6. Resultados del ensayo de tracción de la barra corrugada de 1/2 de pulgada.

Parámetro	Alargamiento en 200 mm	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa)	Relación tracción/fluencia
Valor Obtenido	15,1%	689,4	518,9	1,33
Certificado de producción	15,9	678,66	457,73	1,48
Requisitos de norma	Mín. 14%	Mín. 550	Entre 420 y 540	Mín. 1,25

En general los resultados obtenidos por el ensayo de tracción mostrados en las Tablas 4, 5 y 6 muestran que los valores del ensayo de tracción realizado a las probetas, aunque no son iguales a los presentados por el certificado de producción, respetan los porcentajes de alargamiento y los valores máximos y mínimos permitidos de resistencia a la tracción y a la fluencia, evidenciando de esta manera que el producto cumple con todos los requisitos de propiedades mecánicas exigidos por la norma.

4.2.2. Ensayo de doblez de las barras corrugadas: Los resultados obtenidos para las probetas de barras corrugadas de diámetros 3/4, 5/8 y 1/2 de pulgada se presentan en la Tabla 7 junto con el requisito exigido por la norma NTC 2289. La Figura 10 y los resultados de la Tabla 7, evidencian que después de realizado el ensayo ninguna probeta presentó grietas o fisuras superficiales, lo cual respalda una buena ductilidad de este acero y a su vez una buena calidad del producto a distribuir. También se registra que a mayor diámetro de la probeta se necesita mayor fuerza aplicada para poder doblarla.

Figura 10. Probeta de barra corrugada y zona afectada después del ensayo de doblez



Tabla 7. Resultados del ensayo de doblez de las barras corrugadas de 3/4, 5/8 y 1/2 pulgadas de diámetro.

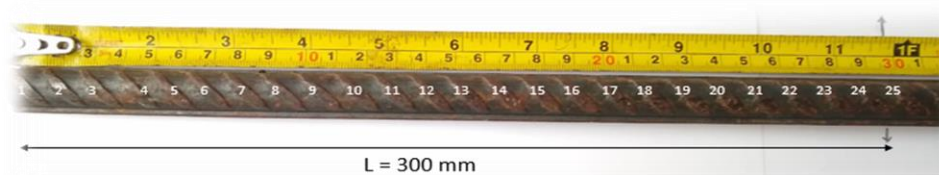
ENSAYO DE DOBLADO A 180°		
Parámetro	Presenta fisuras o grietas	Carga (kN)
Probeta 3/4 pulgada	NO	38,12
Probeta 5/8 pulgada	NO	25,42
Probeta 1/2 pulgada	NO	18,12
Requisito de norma	No debe presentar fisuras	N.A.

4.3 ANÁLISIS DIMENSIONAL DEL PROTOCOLO

En seguida se presentan los resultados obtenidos de la inspección dimensional, en donde se midió el espaciamiento promedio, la altura promedio y el ángulo de los resaltes como de control de calidad para el acero de refuerzo.

4.3.1 Espaciamiento de los resaltes: En la figura 11 se muestra la medición realizada a una probeta de barra corrugada de 3/4 de pulgada de diámetro y con una longitud de 300 mm con 25 resaltes presentes en la superficie.

Figura 11. Medición del espaciamiento promedio de los resaltes.



El espaciamiento promedio de los resaltes resulta de dividir la longitud de la barra con el número de resaltes presentes en esa longitud, como se muestra en la siguiente operación:

$$\frac{L}{N^{\circ} \text{ de resaltes}} = \frac{300 \text{ mm}}{25} = 12 \text{ mm} \quad (1)$$

Según la operación (1) el espaciamiento promedio para una barra de 3/4 de pulgada, la cual corresponde al número de designación 4, es de 12 mm, lo cual indicia que la barra cumple la norma NTC 2289 pues el máximo espaciamiento promedio que se permite (tabla 1) es de 13.3 mm.

4.3.2 Altura de los resaltes: En la tabla 8 se registran las tres mediciones correspondientes para ambas caras de la barra corrugada. De acuerdo con resultados mostrados en la tabla 8, el valor de la altura promedio de los resaltes es de 0.987 mm, lo cual indica que la barra cumple con la norma NTC 2289 pues la mínima altura promedio que se permite (tabla 1) es de 0.97 mm.

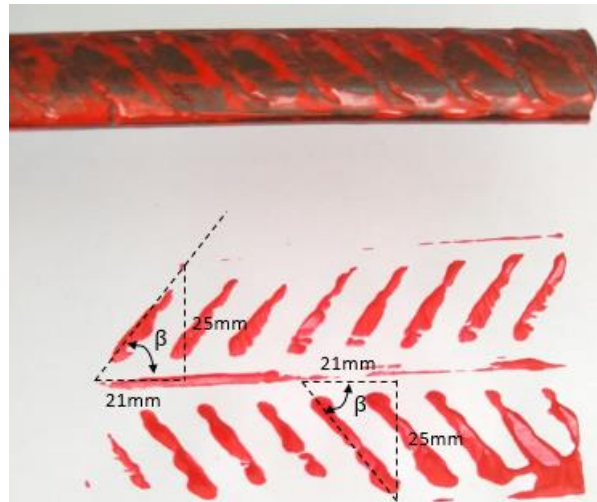
Tabla 8. Registro de mediciones de la altura promedio para la probeta de 3/4 de pulgada de diámetro.

Resalte	Medición 1 (mm)	Medición 2 (mm)	Medición 3 (mm)	Promedio (mm)
Cara A				
1	0.92	1,15	0,93	1,000
2	0.90	1.10	0.92	0.973
3	0.86	1.20	0.87	0.976
4	0.88	1.17	0.90	0.983
5	0.92	1.10	0.92	0.980
6	0.90	1.20	0.85	0.983
7	0.93	1,15	0.90	0.993
8	0.90	1.15	0.92	0.990
Cara B				
1	0.90	1.20	0.90	1.000
2	0.90	1.14	0.88	0.973
3	0.93	1,15	0.91	0.997
4	0.92	1.18	0.87	0.990
5	0.88	1,15	0.92	0.983
6	0.90	1.10	0.88	0.960
7	0.91	1.20	0.95	1.020
8	0.92	1,15	0.90	0.990
Promedio total (mm)				0.987

4.3.3 Ángulo de los resaltes: La figura 12 presenta la forma como fue realizada la medición del ángulo de los resaltes para una probeta de barra corrugada de 3/4 de pulgada de diámetro; el ángulo se halló cómo se indica en la operación (1).

$$\tan \beta = \frac{25}{21} ; \beta^\circ = 49,97^\circ \quad (1)$$

Figura 12. Impresión de la barra corrugada y medición de los ángulos de los resaltes.



El ángulo de los resaltes es de 50° en ambas caras de la barra corrugada, lo cual respeta el rango permisible exigido por la norma ($\beta^\circ > 45^\circ$) y hace óptima a la barra para su utilización ingenieril.

4.4 ELABORACIÓN DEL MANUAL TÉCNICO

Se elaboró el manual técnico (Anexo A) del producto distribuido por la empresa Steckerl Aceros S.A.S para sus clientes, sobre el acero de refuerzo con todo lo relacionado a los temas de las barras corrugadas, las mallas electrosoldadas, la normatividad y el control de calidad pertinente para estos productos. En la tabla 9 se muestra de manera resumida la estructura y la temática mencionada.

Tabla 9. Estructura y temática del manual técnico elaborado.

Manual técnico ensayos y control de calidad sobre el acero de refuerzo	
Introducción	
Acero de refuerzo	
Fabricación del acero	
Barras corrugadas	Alambre de acero liso y grafilado y mallas electrosoldadas
Normatividad: Requisitos exigidos por la norma técnica colombiana NTC 2289	Normatividad: Requisitos exigidos por la norma técnica colombiana NTC 5806
<p>Control de calidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requisitos químicos • Resaltes del corrugado • Espaciamiento de los resaltes • Ángulo del resalte • Marcado • Propiedades mecánicas 	<p>Control de calidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resaltes del grafil • Espaciamiento del grafil • Calidad, acabado y apariencia • Propiedades mecánicas

5. CONCLUSIONES

1. Este proyecto permitió generar conocimientos para adquirir competencias en torno al control de calidad y la normatividad requerida del acero de refuerzo para su aplicación en construcción a nivel industrial.
2. Se ratificó que el acero de refuerzo distribuido por la empresa Steckerl Aceros S.A.S posee la excelente calidad evidenciada en los certificados de producción brindados por los fabricantes, el cual es respaldado por los resultados de los ensayos de tracción y dobléz, el análisis de composición química y la inspección dimensional del producto, que reflejan las buenas propiedades mecánicas, físicas y químicas del acero cumpliendo con todos los requisitos exigidos por la norma NTC 2289.
3. Se elaboró el manual técnico solicitado por la empresa, plasmando toda la información referente a las barras corrugadas, las mallas electrosoldadas y el grafil junto con los requisitos de las normas técnicas colombianas NTC 2289 y NTC 5806 y los temas pertinentes para el debido control de calidad del producto, llenando las expectativas y cumpliendo las exigencias propuestas por la empresa.
4. El manual técnico permite que la empresa Steckerl Aceros S.A.S brinde toda la información adecuada sobre el acero de refuerzo a sus clientes para que estos puedan tener correcta instrucción sobre el producto que quieren solicitar.

BIBLIOGRAFIA

ASKELAND, Donald y PRADEEP, Phulé. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 4 ed. Paraninfo. México.: Thomson, 2004. 240 p.

G&J empresas de acero. Reglamento técnico barras corrugadas malla electrosoldada [en línea]. 2015. 11 p. [Consultado 13 de agosto de 2018]. Disponible en Internet: <http://www.gyferreterias.com/content/pdf/acerosconstruccionweb.pdf>

GROOVER, Mikell. Fundamentos de manufactura moderna. 3 ed. México.:Mc Graw-Hill, 2007. 48 p.

HERNÁNDEZ, Macías. Acero de refuerzo en estructuras de concreto [en línea]. 2005. 4 p. [Consultado 13 de agosto de 2018]. Disponible en Internet: <http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1HCKS8RYN-SW19KG-LS6/ACERO%20DE%20REFUERZO.pdf>

Icontec Internacional. Low-alloy steel deformed and plain bars for concrete reinforcement. 10 ed. Bogotá, D.C: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2015.

Icontec Internacional. Steel wire plain and deformed and welded wire reinforcement for concrete, Última ed. Bogotá, D.C: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2010.

Icontec Internacional. Siderurgy. definitions and test methods for mechanical testing of steel products. Primera ed. Bogotá, D.C: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 1997.

MUÑOZ, Harold. Manual del acero Gerdau Diaco para construcciones sismoresistentes. 3 ed. Zeta IGC, 2012. 11 p.