

**RESISTENCIA DEL ACERO DE REFUERZO QUE HA SIDO UTILIZADO EN LA  
CONSTRUCCIÓN, OBTENIDO EN LAS FIGURADORAS DE HIERRO DEL  
BARRIO MÉXICO DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**DANIEL LOZANO CHAPARRO**

**Cód.: 20102079007**

**Trabajo de grado para optar el título de Tecnólogo en Construcciones Civiles**

**TUTOR: Ingeniero Rodolfo Felizzola Contreras**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

**FACULTAD TECNOLÓGICA**

**TECNOLOGÍA EN CONSTRUCCIONES CIVILES**

**BOGOTÁ**

**2015**

## CONTENIDO

	pág.
CONTENIDO .....	2
RESUMEN .....	8
INTRODUCCIÓN .....	9
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	10
2. JUSTIFICACIÓN .....	11
3. OBJETIVOS .....	12
3.1 GENERAL .....	12
3.2 ESPECÍFICOS .....	12
4.1 MARCO DE ANTECEDENTES .....	13
4.2.1 Concreto Reforzado .....	14
4.2.2 Acero de refuerzo .....	14
4.2.3 Demolición .....	15
4.2.4 Oxidación del acero .....	15
4.2.5 Pasivación .....	15
4.2.6 Figuras de hierro .....	15
4.2.7 Residuos de la construcción y demolición (RCDs): .....	15
4.2.7.2 Residuos metálicos: .....	16
4.2.8 Gráfica esfuerzo deformación .....	16
4.2.9 Resistencia a la fluencia .....	17
4.2.10 Resistencia a la tracción: .....	17
4.3 MARCO GEOGRÁFICO .....	18
5. ALCANCE .....	26
6. DISEÑO METODOLÓGICO .....	27
6.1 DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR .....	27
6.1.1 Revisión de oferta en el mercado .....	27
6.1.2 Encuesta y entrevistas .....	27
6.1.3 Adquisición de muestras .....	27

6.1.4	Falla de muestras .....	27
6.1.5	Análisis de datos .....	27
6.1.6	Generación de recomendaciones.....	27
6.1.7	Redacción documento final .....	27
6.2	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	28
6.2.1	Revisión de oferta en el mercado:.....	28
6.2.1.1	Centros de figurado encontrados en la revisión del mercado: .....	29
6.2.1.2	Figurado del acero de refuerzo .....	35
6.2.2	Adquisición de muestras .....	36
6.2.3	Determinación de las propiedades .....	37
6.2.3.1	Resistencia a tracción .....	37
6.2.3.2	Curvas Esfuerzo – Deformación.....	40
6.2.3.3	Masa de las barras.....	60
6.2.3.4	Doblado de las barras .....	63
6.2.3.5	Resaltes .....	64
6.2.3.6	Acabado .....	66
6.2.4	Análisis de resultados:.....	68
7.	CONCLUSIONES .....	69
8.	RECOMENDACIONES.....	70
	BIBLIOGRAFÍA.....	71
	ANEXOS.....	73
	ANEXO A .....	73
	ANEXO B .....	74

## LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Gráfica esfuerzo deformación típica .....	16
Figura 2. Upz 67: Lucero .....	18
Figura 3. Barrio Meissen .....	20
Figura 4. Barrio México .....	20
Figura 5. Barrio Lucero Alto .....	21
Figura 6. Mapa socioeconómico del sector .....	22
Figura 7. Mapa de riesgo por remoción en masa del sector .....	22
Figura 8. Zonas de amenaza sísmica de Colombia .....	23
Figura 9. Zonas de respuesta sísmica de Bogotá .....	23
Figura 10. Localización de figuradoras de hierro .....	25
Figura 11. Máquina figuradora .....	35
Figura 12. Barras adquiridas en campo .....	36
Figura 13. Preparación de muestras para ensayo .....	38
Figura 14. Máquina universal de ensayos .....	39
Figura 15. Curva esfuerzo deformación probeta #1 .....	41
Figura 16. Curva esfuerzo deformación probeta #2 .....	41
Figura 17. Curva esfuerzo deformación probeta #3 .....	42
Figura 18. Curva esfuerzo deformación probeta #4 .....	42
Figura 19. Curva esfuerzo deformación probeta #5 .....	43
Figura 20. Curva esfuerzo deformación probeta #6 .....	43
Figura 21. Curva esfuerzo deformación probeta #7 .....	44

Figura 22. Curva esfuerzo deformación probeta #8.....	44
Figura 23. Curva esfuerzo deformación probeta #9.....	45
Figura 24. Curva esfuerzo deformación probeta #10.....	45
Figura 25. Curva esfuerzo deformación probeta #11.....	46
Figura 26. Curva esfuerzo deformación probeta #12.....	46
Figura 27. Curva esfuerzo deformación probeta #13.....	47
Figura 28. Curva esfuerzo deformación probeta #14.....	47
Figura 29. Curva esfuerzo deformación probeta #15.....	48
Figura 30. Curva esfuerzo deformación probeta #16.....	48
Figura 31. Curva esfuerzo deformación probeta #17.....	49
Figura 32. Curva esfuerzo deformación probeta #18.....	49
Figura 33. Curva esfuerzo deformación probeta #19.....	50
Figura 34. Curva esfuerzo deformación probeta #20.....	50
Figura 35. Curva esfuerzo deformación probeta #21.....	51
Figura 36. Curva esfuerzo deformación probeta #22.....	51
Figura 37. Curva esfuerzo deformación probeta #23.....	52
Figura 38. Curva esfuerzo deformación probeta #25.....	52
Figura 39. Curva esfuerzo deformación probeta #26.....	53
Figura 40. Curva esfuerzo deformación probeta #27.....	53
Figura 41. Curva esfuerzo deformación probeta #28.....	54
Figura 42. Curva esfuerzo deformación probeta #29.....	54
Figura 43. Curva esfuerzo deformación probeta #30.....	55

Figura 44. Curva esfuerzo deformación probeta #31 .....	55
Figura 45. Barras falladas y medición de sus propiedades.....	56
Figura 46. Barras en estudio y sus propiedades.....	57
Figura 47. Gráfica barra #7 .....	55
Figura 48. Medición de longitud y masa .....	60
Figura 49. Barras dobladas sin agrietamientos.....	62
Figura 50. Barra agrietada por doblamiento .....	63

## LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Lista de barrios de la UPZ 67: Lucero.....	19
Tabla 2. Centro de figurado N# 1 .....	29
Tabla 3. Centro de figurado N# 2.....	29
Tabla 4. Centro de figurado N# 3.....	30
Tabla 5. Centro de figurado N# 4 “El Árbol” .....	30
Tabla 6. Centros de figurado N# 5 “El Flechazo” .....	31
Tabla 7. Centros de figurado N# 6.....	31
Tabla 8. Centros de figurado N# 7 “Compraventa de varillas” .....	32
Tabla 9. Centros de figurado N# 8 “La Dimensión” .....	32
Tabla 10. Centros de figurado N# 9 “Depósito Ana” .....	33
Tabla 11. Centros de figurado N#10 “Compraventa JM” .....	33
Tabla 12. Centro de figurado N#11.....	34
Tabla 13. Barras obtenidas por centro de figurado .....	37
Tabla 14. Requisitos de tracción para barras de acero de refuerzo de grado 60 ..	40
Tabla 15. Análisis estadístico de las resistencias .....	58
Tabla 16. Masa de barras en estudio.....	61
Tabla 17. Medición de resaltes .....	64
Tabla 18. Chequeo de resistencias.....	68

## RESUMEN

En varios barrios de la localidad de Ciudad Bolívar, existe un mercado creciente de acero de refuerzo estructural proveniente de todo el país, el cual fue recuperado de demoliciones y adecuado para su venta en centros conocidos como “figuradoras” de hierro, o chatarrerías. El material es comercializado a muy bajo costo y utilizado nuevamente en la construcción de viviendas, sin que los compradores tengan una garantía de la calidad del material que adquirieron.

Pese a que las características del acero de refuerzo recuperado de construcciones se ha investigado en los últimos años, se hace necesario conocer específicamente el estado del material a la venta, y así poder compararlo frente al material exigido según la NTC y la NSR10, para ser usado como material de refuerzo estructural en el concreto.



## INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD's) se ha venido implementando en nuestro país, y en ciudades como Bogotá, la administración distrital ha dispuesto una serie de recomendaciones y decretos [1] los cuales normalizan esta nueva práctica. Para el caso del acero de refuerzo como RCD, se estipula que, para su correcto aprovechamiento, se debe fundir y nuevamente procesar como materia prima para formar nuevos materiales, ya que por las características químicas que este elemento tiene, las características mecánicas de fábrica no son severamente alteradas durante su fundición. Caso contrario a lo que ocurre realmente en la localidad de Ciudad Bolívar, en los barrios México, Meissen y Lucero; allí se extiende toda una red de comercializadoras de acero de refuerzo recuperado de la demolición de estructuras de concreto reforzado, sin haber sido reciclado previamente.

No hay ningún impedimento jurídico para que el acero de refuerzo como RCD, sea comercializado tal cual fue recuperado de una demolición, así como tampoco hay ninguno que prohíba la existencia de estos centros de figurado. Lo único que el material necesita para ser comprado por los clientes, es estar lo más alineado posible, sin importar los residuos de otros materiales que tenga en su superficie, sin importar el óxido que presente, sin importar las marcas causadas al enderezar el material.

A largo plazo, existe la posibilidad de que se reglamente aún más el aprovechamiento de RCD's en Bogotá. Mientras tanto, las características del material que actualmente está en circulación son desconocidas, quedando incierto el buen comportamiento de los elementos estructurales, y a su vez, está en riesgo la vida de las personas, siendo esta la razón de ser de la NSR10, y de la ingeniería civil.

Palabras clave: Resistencia del acero, acero de refuerzo corrugado, concreto estructural, oxidación del acero, reciclaje del acero, residuos de la construcción y la demolición (RCDs), acero figurado, chatarrerías, depósitos de materiales, centros de figurado, esfuerzo deformación.

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las barras de acero de refuerzo sirven como suplemento al concreto, brindándole una resistencia adicional, tanto a tracción como a compresión. Estos elementos se funden formando una sola pieza o elemento estructural, tan completo como para soportar las cargas vivas y muertas de una edificación. Al ser tan importante, es necesario que el refuerzo cumpla con un mínimo de características mecánicas, estipuladas por los entes de control de la construcción.

Grandes empresas se dedican a fabricar barras de acero de refuerzo con las características exigidas, garantizando su buen comportamiento. Pero, en los barrios México, Meissen y Lucero alto, y otros de la localidad Ciudad Bolívar, se viene presentando desde hace años, una oferta muy tentadora en el mercado de la construcción para las personas de bajos recursos, se trata del hierro o barras de acero de refuerzo reutilizado.

Las barras de acero a la venta provienen de dos fuentes principales: barras de refuerzo recuperadas de la demolición de una construcción, y barras de refuerzo que han sido rechazadas de otras obras por su mal estado, principalmente, por su evidente estado de corrosión.

Los propietarios de Chatarrerías y "Figuradoras" de hierro ven en este material una oportunidad de crear empresa, al repararlo físicamente y ponerlo en venta. Las personas compran las barras de refuerzo, que a la vista son adecuadas para utilizarse en construcción, por sus beneficios económicos. Si bien es cierto que en la práctica, se hace casi imposible detener la venta y compra de este material, existe la necesidad de realizar un estudio de las propiedades mecánicas y crear unas recomendaciones prácticas para el uso adecuado del acero de refuerzo reutilizado.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El acero de refuerzo sale de fábrica en óptimas condiciones para ser utilizado en construcciones civiles. Una vez se funde con el concreto, forma parte de un elemento estructural y, actuando en conjunto con otros elementos, forma parte de la estructura en sí misma.

Al cumplir con su vida útil, o para la construcción de una nueva edificación, estas estructuras necesitan ser demolidas. Durante este proceso, el acero de refuerzo es el material que más se opone al colapso de la estructura, sufriendo así esfuerzos superiores a los que está diseñado, alterando gravemente sus propiedades mecánicas. Luego del colapso, los refuerzos quedan adheridos a piezas o secciones de concreto. La recuperación del acero de refuerzo de la matriz de concreto se hace mediante la utilización de fuerza bruta, al no haber métodos más económicos para esto. Por medio de tenazas, masetas, taladros, mazos y demás, el acero es recobrado del concreto, no sin antes experimentar los esfuerzos puntuales más severos, alterando así nuevamente sus propiedades mecánicas. En esta condición, el material es llevado a centros de reciclaje o "figuradoras de hierro", en los cuales se adapta para ser nuevamente útil como material de refuerzo estructural. También se llevan barras de acero de refuerzo a estos centros, que no han sido utilizadas en otras obras por su mal estado, principalmente por presentar un avanzado estado de corrosión.

El ajuste que se le realiza al material consiste en recuperar su forma original, limpiando la corrosión y restos de concreto que aún posea, luego enderezarlo con herramientas y aparatos mecánicos, luego seccionarlo y en el caso de los refuerzos transversales, doblarlo.

En los barrios *México*, *Meissen* y *Lucero Alto* de la localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá, hay gran cantidad de centros de reciclaje, chatarrerías y figuradoras de hierro, que venden este producto en las condiciones descritas a un precio muy económico y es vendido en mayor medida que el material de primera mano.

Las personas de escasos recursos ven en este material económico una oportunidad para construir a bajo costo, a pesar de no tener la garantía de que tan adecuado sea este para ser utilizado como material de construcción. Por eso, se hace necesaria la realización de un estudio que determine las propiedades mecánicas de este material, así como también la creación de unas reglas o recomendaciones para que sea posible su utilización.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GENERAL**

-Determinar las características mecánicas de las barras de acero de refuerzo que han sido recuperadas en demoliciones, obtenidas en las figuradoras de hierro del barrio México.

#### **3.2 ESPECÍFICOS**

- Establecer la diferencia entre la resistencia del material en estudio, y la resistencia especificada por los fabricantes.

- Determinar si el material en estudio cumple con las propiedades mínimas exigidas en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR10 título C) y las diferentes Normas Técnicas Colombianas (NTC2289, NTC 3353, NTC 248), para su uso como material de refuerzo estructural.

- Generar recomendaciones prácticas para el adecuado uso de las barras de acero de refuerzo en estudio.

- Especificar casos en los cuales el material en estudio es útil para la construcción.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO DE ANTECEDENTES

Los residuos de la construcción y demolición (RCD's) conforman un tema de investigación que desde hace uno años está siendo muy profundizado, para lograr un aprovechamiento económico de los materiales de construcción. En países y regiones de todo el mundo se estudia en entidades públicas o privadas, la reducción de generación de residuos, el aumento de la reutilización y el aprovechamiento de la mayor cantidad posible de RCD's, para mitigar el impacto ambiental que genera el sector de la construcción [3].

En algunos países europeos, el aprovechamiento de los RCD's llega a ser hasta de un 98% del total de residuos generados en obras y en demoliciones, generando un ingreso entre 10 y 20 Euros por cada tonelada de RCD aprovechada, es decir, en países como Alemania, que en el 2004 generó aproximadamente 72,4 millones de toneladas de RCD, se generan no menos de 705 millones de Euros al año [1].

Al ver los resultados económicos de esto, se ha estudiado el aprovechamiento de RCD's en Bogotá y en el año 2011 se decretó que a partir del 2012 se irá incrementando la tasa de aprovechamiento de RCD's en un 5% anualmente, pasando así de un 10% en el 2012, a un 35% en el 2017 [2] [5], porcentaje muy inferior en comparación con países desarrollados.

El aprovechamiento de los RCD's depende de la separación de los materiales que los componen: Áridos, metales, maderas, plásticos, concreto, yeso, materiales peligrosos, etc. En contenedores se disponen cada uno de los materiales obtenidos, y luego se debe acceder a una lista de potenciales compradores para estos residuos [4]. En el caso del acero, se reutiliza o se recicla para ser implementado en la elaboración de elementos de carpintería metálica y también, como lo expuso el Ingeniero Omar Hernán Castellanos en el 2012, en el refuerzo estructural de casas de uno y dos pisos [6].

## 4.2 MARCO CONCEPTUAL

### 4.2.1 Concreto Reforzado

Es el conjunto de acero de refuerzo y concreto, diseñado para que un elemento estructural posea más resistencia tanto a tracción, torsión y compresión. Su funcionamiento consiste en un gran volumen de concreto, complementado internamente con barras de acero de refuerzo las cuales le aportan resistencia adicional.

### 4.2.2 Acero de refuerzo

El acero es un material producto de la aleación de Hierro y Carbono, muchas veces con presencia de otros metales como Cromo, Tungsteno, Manganeso, Cobalto, Aluminio, Níquel, Plomo, y otras impurezas. Es usado principalmente en la industria, supliendo desde hace siglos a la madera.

En la construcción se implementa como material de construcción, siendo el material principal de construcción en el caso de estructuras metálicas, o como material de refuerzo al ser incluido dentro del concreto. En el segundo caso, el acero de refuerzo brinda resistencia a tracción (tensión) adicional al concreto.

Su implementación como refuerzo consiste en armar el elemento de refuerzo, utilizando barras de acero de refuerzo longitudinal unido con alambre de acero al refuerzo transversal (flejes), luego encerrado en una cámara (formaleta) que luego será rellena con concreto, y al endurecerse formará un elemento estructural hecho de concreto reforzado, ya sea viga, losa o columna.

El buen funcionamiento del elemento consiste en poseer buena resistencia a compresión, tracción y corte, frente a los varios tipos de esfuerzos a los cuales se ve sometido. El acero de refuerzo brinda resistencia adicional en los 3 casos: a compresión, la resistencia a tracción de los flejes brinda un confinamiento al concreto que se encuentre dentro de la sección del elemento de refuerzo; a tracción, el acero toma la totalidad de este tipo de esfuerzos, al tener mucha más resistencia a tracción que el concreto; y al corte, el caso de las vigas y losas, la resistencia a tracción del acero hace que el elemento resista más ante la falla por flexión.

Para que todo funcione de manera óptima, el acero y el concreto deben estar adheridos en su totalidad, y no debe existir, y si existe debe ser mínimo, algún tipo de aislante en el acero de refuerzo, el cual no permita que los esfuerzos sean transmitidos en todo el elemento.

#### 4.2.3 Demolición

La demolición de una estructura de concreto reforzado, o de cualquier otro material, se realiza cuando esta ya cumplió con su vida útil, es decir, el tiempo inicial con el cual fue diseñada. También se realiza cuando esta construcción interfiere con la proyección de una nueva construcción, en su mayoría vial.

Existen dos procesos mediante los cuales se realiza la demolición, química o física, o explosiva y mecánica. La primera de estas consiste en debilitar la estructura con taladros y mordazas, para luego colocar explosivos en los principales elementos de soporte para la posterior caída controlada de la construcción. La segunda consiste en golpear fuertemente la estructura con gigantes mazos o bolas de demolición, desde el nivel más alto, para que lentamente sea derribada nivel por nivel.

#### 4.2.4 Oxidación del acero

Es el fenómeno en el cual las partículas de hierro que componen el acero de refuerzo, reaccionan con el oxígeno del ambiente formando sobre las barras, una delgada película de Óxido Férrico. Se evidencia mediante un polvillo de color rojizo que cubre el refuerzo.

#### 4.2.5 Pasivación

Es una delgada película de óxido que cubre a materiales metálicos, con el fin de hacerlos más resistentes o inmunes a agentes corrosivos más severos

#### 4.2.6 Figuradoras de hierro

Son talleres en los cuales adquieren, preparan y venden barras de acero de refuerzo, en su mayoría previamente utilizadas en construcción, o en avanzado estado de oxidación

#### 4.2.7 Residuos de la construcción y demolición (RCDs):

Los RCD's son materiales sobrantes de una construcción, demolición, des-construcción o remodelación de una edificación, y que podrían llegar a ser útiles nuevamente en la construcción. Pueden ser agregados pétreos, concreto, vidrio, madera, tejas, rejas, acero de refuerzo, etc. Los RCD's se llevan a centros de reciclado donde son clasificados según su utilidad y tipo de material. Aquellos materiales a los cuales es imposible realizarles un tratamiento se les denomina impurezas.

Por el incremento que ha tenido la construcción debido al crecimiento de la población, se ha venido reglamentando el manejo adecuado de los RCD's. En el caso de Bogotá, se producen alrededor de 1.5 millones de toneladas de RCDs al año. Nace entonces la Resolución 2397 "*Por la cual se regula técnicamente el tratamiento y/o aprovechamiento de escombros en el Distrito Capital*", emitido en el 2011 por la Secretaria Distrital de Ambiente.

Del correcto procedimiento de reciclaje que se le realice al RCD depende que este tenga valor comercial.

**4.2.7.1 Agregados pétreos y otros:** Los agregados pétreos y residuos de concreto representan alrededor del 75% del total de RCDs, estos son tratados en una planta especial de reciclaje, donde son triturados y luego utilizados frecuentemente como base o sub base granular, en la construcción de vía. En el caso de Bogotá, a diario se observa como en algunas vías se utiliza concreto recuperado de la demolición de losas reforzadas como material de base granular, supliendo al rajón como soporte principal de la estructura. Otro uso frecuente que se le da al concreto como RCD's es el de la elaboración de adoquines.

La madera, materiales cerámicos, tejas y rejas, representan aproximadamente el 25% del total de RCDs, y su reutilización depende de qué tan deteriorados estén los materiales después de ser recuperados.

#### 4.2.7.2 Residuos metálicos:

Finalmente tenemos los materiales metálicos, que comprenden alrededor del 2.5% del total de RCDs. Materiales como envases de pintura, carpintería metálica, cajas de inspección de servicio públicos, tacos, duchas, tubos, y acero de refuerzo estructural son catalogados como RCD's metálicos. Para hacer de estos residuos un material útil se necesita que gane valor comercial y no pierda sus características, por esto se realiza una clasificación según el tipo de metal y se recicla mediante la fundición de cada uno de ellos.

#### 4.2.8 Gráfica esfuerzo deformación

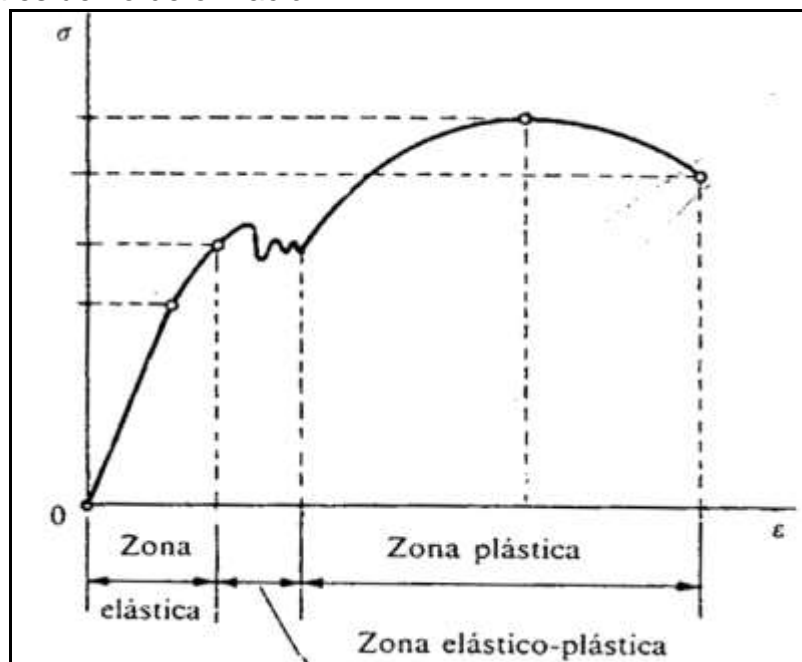


Figura 1: Gráfica esfuerzo deformación típica. Imagen de la web: [http://blog.utp.edu.co/metalografia/?attachment\\_id=1619](http://blog.utp.edu.co/metalografia/?attachment_id=1619)



Es la representación gráfica de cómo se comportan las deformaciones en un material, en función de la carga que le sea aplicada. Consta de 3 zonas: elástica, fluida y plástica. En la primera zona, la carga y la deformación son directamente proporcionales, y la pendiente de esta recta es el denominado Módulo de elasticidad (E), se caracteriza por ser donde al retirar la carga del material, este retoma su forma original. En la zona fluida, o zona elasto-plástica, se evidencia un considerable incremento de las deformaciones, sin incrementar la carga proporcionada al elemento. La tercera zona, se denomina plástica ya que se aumentan las cargas y deformaciones del material, pero estas últimas son permanentes.

#### 4.2.9 Resistencia a la fluencia “fy”

También llamado punto de fluencia, es el esfuerzo con el cual una probeta se deforma sin que la carga que se le esté aplicando tenga un aumento.

#### 4.2.10 Resistencia a la tracción:

Es el esfuerzo máximo que sufre una probeta, es distinto al esfuerzo último de falla.

### 4.3 MARCO GEOGRÁFICO

Los centros de figurado se encontraron en tres barrios de la localidad de Ciudad Bolívar, en la ciudad de Bogotá: barrio México, barrio Meissen y barrio Lucero Alto, todos ellos en la Upz 67: Lucero.

Como referencia (®) se tomó el Hospital de Meissen, ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar, UPZ67: Lucero, barrio Meissen.

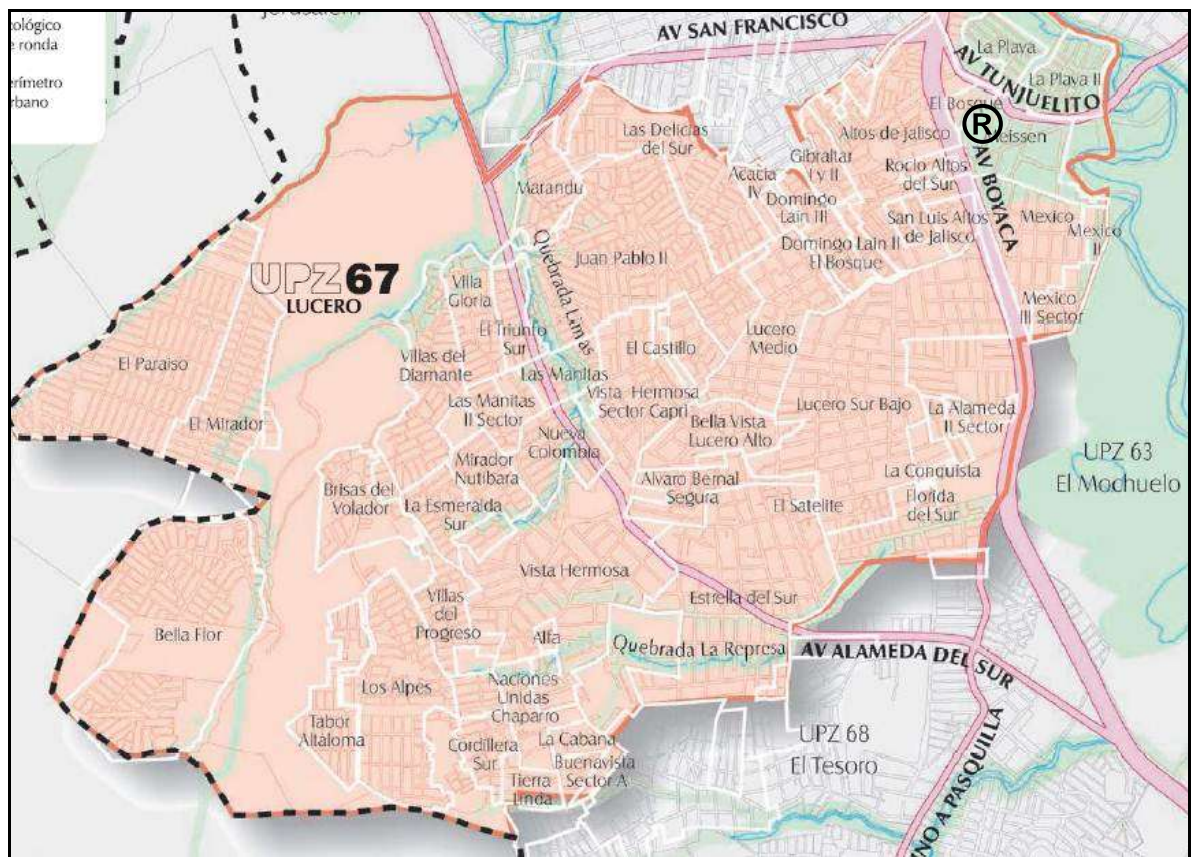


Figura 2. UPZ 67: Lucero, 2015, imagen de Cartilla de UPZ.

1.	Acacia IV	36.	Lucero Alto
2.	Alfa	37.	Lucero Bajo Corporación San Isidro
3.	Altos de Jalisco	38.	Lucero bajo sector La Conquista
4.	Álvaro Bernal Segura	39.	Lucero Medio
5.	Bella Flor	40.	Lucero Sur Bajo
6.	Bella Flor Sur	41.	Marandú
7.	Bella Vista Lucero Alto	42.	Meissen
8.	Brisas del Volador	43.	México
9.	Buenavista sector A	44.	Mirador Nutibara
10.	Ciudad Milagros	45.	Naciones Unidas
11.	Compartir	46.	Chaparro
12.	Cordillera Sur	47.	Santa Rosa
13.	Domingo Lain I	48.	Nueva Colombia
14.	Domingo Lain II y III	49.	Rocio Altos del Sur
15.	El Bosque	50.	San Luis Altos de Jalisco
16.	El Castillo	51.	Tabor-Altaloma
17.	El Mirador	52.	Tierra Linda
18.	El Paraíso	53.	Urb. Compartir
19.	El Satélite	54.	Urb. El Preciso
20.	El Triunfo Sur	55.	Urb. Kalamary
21.	Estrella del Sur	56.	Urb. La Alameda
22.	Florida del Sur	57.	Urb. La Escala
23.	Gibraltar Sur	58.	Urb. Las Quintas del Sur
24.	Gibraltar I y II	59.	Urb. La Serranía del Sur
25.	Juan Pablo II	60.	Villa Gloria
26.	La Alameda I y II	61.	Las Manitas
27.	La Cabaña	62.	Villas del Diamante
28.	La Escala III	63.	Villas del Progreso
29.	La Esmeralda Sur	64.	Vista Hermosa
30.	La Estrella sector Lagos	65.	Vista Hermosa mz.77A, 79A, 81A, 82, 82A, 84A
31.	La Torre	66.	Vista Hermosa Sector Capri
32.	Las Delicias del Sur	67.	Vista Hermosa sector San Carlos y El Triángulo
33.	Las Manitas I y II	68.	La Playa I y II
34.	Los Alpes	69.	México II y III.
35.	Los Andes sector 5 Nutibara		

Tabla 1. Lista de barrios de la UPZ 67: Lucero, 2015, tabla tomada de Cartilla de UPZ.



Figura 3. Barrio Meissen, 2015, imagen tomada de la web [www.mapasbogota.gov.co/portalmapas/](http://www.mapasbogota.gov.co/portalmapas/)



Figura 4. Barrio México, 2015, imagen tomada de la web [www.mapasbogota.gov.co/portalmapas/](http://www.mapasbogota.gov.co/portalmapas/)



Figura 5. Barrio Lucero Alto, 2015, imagen tomada de la web [www.mapasbogota.gov.co/portalmapas/](http://www.mapasbogota.gov.co/portalmapas/)

Los barrios en los cuales se realizó la adquisición de muestras, tienen un estrato socioeconómico bajo (1 en rojo y 2 en amarillo, ver figura 6.), razón por la cual ven en el material la mejor alternativa como material de construcción.

La ubicación de la zona por riesgo de remoción en ha de tenerse en cuenta, ya que muchas personas que adquieren el material en estudio, viven en la zona y por lo tanto, utilizan el material como elemento de construcción. Según lo observado (ver figura 7.), la zona se encuentra en amenaza por fenómeno de remoción en masa Media y Baja. En unas zonas del barrio México se tiene una amenaza Alta.



Figura 6. Mapa socioeconómico del sector, 2015, imagen tomada de la web [www.mapasbogota.gov.co/portalmapas/](http://www.mapasbogota.gov.co/portalmapas/)



Figura 7. Mapa de riesgo por remoción en masa del sector, 2015, imagen tomada de AMENAZA POR FENÓMENO DE REMOCIÓN EN MASA, de la Alcaldía mayor de Bogotá.

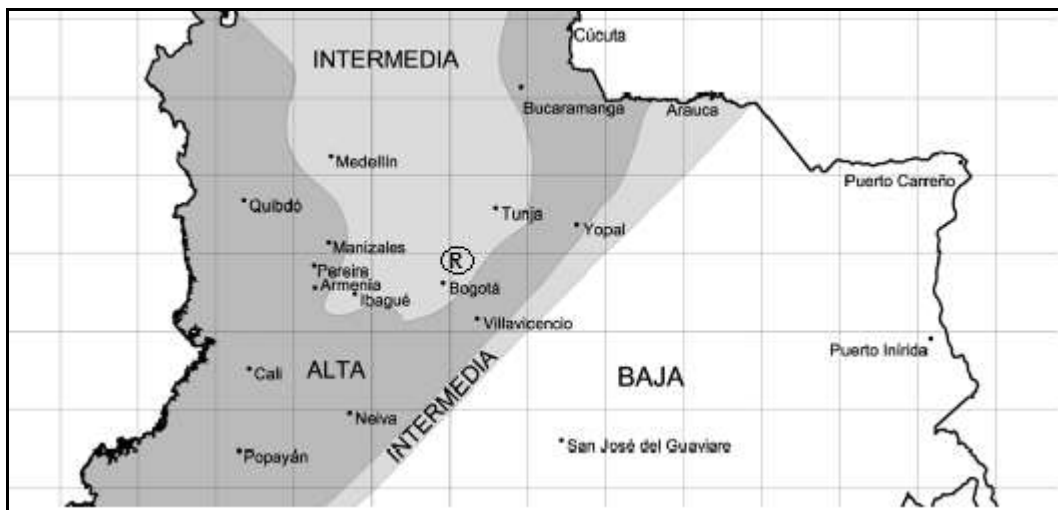


Figura 8. Zonas de amenaza sísmica aplicable a edificaciones, 2015, imagen tomada de Reglamento Colombiano de Construcción sismo resistente NSR10, del Ministerio de Vivienda y desarrollo territorial.



Figura 9. Mapa de zonas de respuesta sísmica del sector, 2015, imagen tomada de ZONAS DE RESPUESTA SÍSMICA DE BOGOTÁ, de la Alcaldía mayor de Bogotá.

En La figura 8 tenemos que Bogotá se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia [8].

En la figura 9, de color azul podemos encontrar suelos tipo Cerros, donde se encuentran Areniscas y Arcillolitas blandas. De color habano encontramos suelos tipo Piedemonte C, con depósitos de coluvión. Ambos tipos de suelo se caracterizan por tener gran capacidad portante y estabilidad [7].

La ubicación general de las figuradoras de hierro, es la siguiente (más adelante se nombrarán una a una).





Figura 10. Localización de figuradoras de hierro, 2015, imagen propia sobre imagen tomada de la web [www.mapasbogota.gov.co/portalmapas/](http://www.mapasbogota.gov.co/portalmapas/)

## **5. ALCANCE**

Este trabajo de investigación se realiza en la ciudad de Bogotá, Colombia, en el segundo semestre del año 2014 y primer semestre del año 2015, en la localidad 19 de Ciudad Bolívar.

Como material de estudio se tomaron barras de acero de refuerzo longitudinal, proveniente de los barrios Meissen, México y Lucero Alto, de talleres, locales comerciales, chatarrerías y/o figuradoras de hierro.

El material tiene como características: ser de baja aleación, con un contenido de carbono cercano al 0.25 %, con venas y resaltes que lo identifican como barras corrugadas, con un diámetro comercial de 0.5" (12.7mm), de grado 60.

## **6. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **6.1 DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR**

6.1.1 Revisión de oferta en el mercado: Se visitarán centros de figurado de hierro, chatarrería, depósitos de materiales y otros, para conocer qué tan grande es el mercado del acero recuperado de demoliciones. Se hará una ubicación de los centros de figurado en la localidad de Ciudad Bolívar, más específicamente en los barrios México, Lucero, Meissen, y otros aledaños.

6.1.2 Encuesta y entrevistas: De una muestra representativa de centros de figurado, se tomarán datos referentes a ventas: quién compra, qué compra, cuánto cuesta, etc. También se realizarán encuestas a las personas clientes de estos y otros centros para determinar por qué compran el material, si conocen las propiedades y/u origen del material, etc.

6.1.3 Adquisición de muestras: Se comprarán barras de refuerzo longitudinal y transversal de la mayor cantidad de centros de figurado que económicamente sea posible. Deberá ser una cantidad significativa de muestras para un margen de error mínimo.

6.1.4 Falla de muestras: Las muestras se llevarán al laboratorio de estructuras de la Universidad Distrital, y si es el caso de la Universidad Militar Nueva Granada, para realizar los ensayos de tracción y torsión.

6.1.5 Análisis de datos: Partiendo de los datos obtenidos en el laboratorio, se establecerán las diferencias entre los resultados de las muestras en estudio, las muestras óptimas, y las exigidas por las diferentes normas y artículos que estipulan las exigencias mecánicas con la que deben cumplir los refuerzos para su utilización.

6.1.6 Generación de recomendaciones: Después de una lectura y análisis incisivo de las normas y artículos a los cuales me referí anteriormente, y la revisión de los pasos anteriores, se propondrán varias alternativas prácticas para la implementación de las barras como refuerzo estructural.

6.1.7 Redacción documento final: El documento final tendrá los datos del laboratorio, entrevistas, resultados comparativos, análisis de resultados, y una serie de recomendaciones, así como también otros anexos que se presenten en el transcurso de la investigación.

## 6.2 DESARROLLO DEL PROYECTO

El trabajo de investigación se inició realizando los anteriores pasos, pero al ir avanzando, se encontró con una gran apatía de la comunidad hacía trabajos de investigación de esta índole, en donde se cuestiona el tipo de producto que ellos adquieren.

En el primer Paso no surgieron mayores inconvenientes:

### 6.2.1 Revisión de oferta en el mercado:

Recorriendo las calles del sector aledaño al Hospital de Meissen (ver figura 10), se encontraron exactamente 13 locales, ya sean centros de figurado, figuradoras de hierro, chatarrerías, depósitos de materiales, etc., en los cuales se repara el material proveniente de las demoliciones, para ser vendido a la comunidad como material de construcción.

Se preguntó y tomó nota de los precios a los cuales el material es vendido, y también la unidad de medida comercial que ellos utilizan.

El problema surgió cuando se le solicitaba al dueño o encargado del local, un permiso para tomar fotografías la mayoría de personas se negaban rotundamente, preguntaban el destino de las fotos y de las barras. Así que la mayoría de fotografías, con el fin de localizar adecuadamente los locales en el marco geográfico, fueron obtenidas a través de la web: [www.google.es/maps/](http://www.google.es/maps/).

En el "Depósito y venta de flejes El Flechazo" (Ver Tabla N° 5), local número 5 en esta etapa de revisión, se observó que 3 de los 13 locales pertenecían a una misma persona, quién emplea a su familia para atender el negocio. El material en estos 3 locales es prácticamente el mismo, se adquiere de la misma fuente, se le da el mismo tratamiento, el valor comercial es el mismo, y se distribuye casi equitativamente en los locales. Por esto se decidió tomar estos locales como uno solo, pero en la siguiente etapa del proyecto, se adquirieron muestras de todos los locales.

Estos son los locales que abarca la investigación:

6.2.1.1 Centros de figurado encontrados en la revisión del mercado:

CENTRO DE FIGURADO N° 1	
	<b>NOMBRE</b>
	Sin Nombre
	<b>DIRECCIÓN</b>
	Calle 60G sur No 16D – 14
	<b>UNIDAD DE VENTA</b>
	Kg
<b>PRECIO UNIDAD</b>	
1500 \$/Kg	
<b>OBSERVACIONES</b>	
Material expuesto al viento, lluvia y sol. Material depositado en bodega, proveniente de demoliciones	

Tabla 2. Centro de figurado N# 1. Fuente propia, imagen obtenida en la web [www.google.es/maps/](http://www.google.es/maps/).

CENTRO DE FIGURADO N° 2	
	<b>NOMBRE</b>
	Sin Nombre
	<b>DIRECCIÓN</b>
	Calle 60G sur No 16D
	<b>UNIDAD DE VENTA</b>
	m
<b>PRECIO UNIDAD</b>	
1000 \$/m	
<b>OBSERVACIONES</b>	
Material expuesto al viento, lluvia y sol. Material a la venta directamente del camión que lo transporta desde la demolición.	

Tabla 3. Centro de figurado N# 2. Fuente propia, imagen propia.

CENTRO DE FIGURADO N° 3	
	<b>NOMBRE</b>
	Sin Nombre
	<b>DIRECCIÓN</b>
	Calle 63 sur No 17 Bis a
	<b>UNIDAD DE VENTA</b>
	Kg
<b>PRECIO UNIDAD</b>	
1000 \$/Kg	
<b>OBSERVACIONES</b>	
	Material expuesto al viento, lluvia y sol. Material a la venta únicamente al por mayor.

Tabla 4. Centro de figurado N# 3. Fuente propia, imagen obtenida en la web [www.google.es/maps/](http://www.google.es/maps/).

CENTRO DE FIGURADO N° 4	
	<b>NOMBRE</b>
	EL ARBOL
	<b>DIRECCIÓN</b>
	Tv 17 CII 64 A BIS s
	<b>UNIDAD DE VENTA</b>
	Kg
<b>PRECIO UNIDAD</b>	
1000 \$/Kg	
<b>OBSERVACIONES</b>	
	Material expuesto al viento antes de ser enderezado. Atendido por 2 niñas menores de 12 años

Tabla 5. Centro de figurado N# 4 “El Árbol”. Fuente propia, imagen obtenida en la web [www.google.es/maps/](http://www.google.es/maps/).

CENTRO DE FIGURADO N° 5	
	<b>NOMBRE</b>
	EL FLECHAZO
	<b>DIRECCIÓN</b>
	Tv 17 CII 65 s
	<b>UNIDAD DE VENTA</b>
	Kg
<b>PRECIO UNIDAD</b>	
1500 \$/Kg	
<b>OBSERVACIONES</b>	
	Material expuesto al viento, enderezado en la calle, 3 locales con las mismas características.
<p>Tabla 6. Centros de figurado N# 5 “El Flechazo”. Fuente propia, imagen obtenida en la web <a href="http://www.google.es/maps/">www.google.es/maps/</a>.</p>	

CENTRO DE FIGURADO N° 6	
	<b>NOMBRE</b>
	Sin Nombre
	<b>DIRECCIÓN</b>
	Tv 17 CII 69 s
	<b>UNIDAD DE VENTA</b>
	Kg
<b>PRECIO UNIDAD</b>	
1800 \$/Kg	
<b>OBSERVACIONES</b>	
	Material listo expuesto al viento, sol y lluvia. El dueño garantiza 40.000 Psi de resistencia.
<p>Tabla 7. Centros de figurado N# 6 Fuente propia, imagen obtenida en la web <a href="http://www.google.es/maps/">www.google.es/maps/</a>.</p>	


CENTRO DE FIGURADO N° 7	
	<b>NOMBRE</b>
	Compraventa de varillas
	<b>DIRECCIÓN</b>
	Dg 62s Cra 18t
	<b>UNIDAD DE VENTA</b>
	m
<b>PRECIO UNIDAD</b>	
1500 \$/m	
<b>OBSERVACIONES</b>	
Material enderezado y almacenado en bodega, muy buena apariencia superficial.	

Tabla 8. Centros de figurado N# 7 “Compraventa de varillas”. Fuente propia, imagen obtenida en la web [www.google.es/maps/](http://www.google.es/maps/).

CENTRO DE FIGURADO N° 8	
	<b>NOMBRE</b>
	Depósito La Dimensión
	<b>DIRECCIÓN</b>
	Cll 61s Cra 18n
	<b>UNIDAD DE VENTA</b>
	kg
<b>PRECIO UNIDAD</b>	
1200 \$/kg	
<b>OBSERVACIONES</b>	
Material enderezado y almacenado en bodega.	

Tabla 9. Centros de figurado N# 8 “La Dimensión”. Fuente propia, imagen obtenida en la web [www.google.es/maps/](http://www.google.es/maps/).



CENTRO DE FIGURADO N° 9	
	<b>NOMBRE</b>
	Depósito de flejes Ana
	<b>DIRECCIÓN</b>
	Cll 61s Cra 18j
	<b>UNIDAD DE VENTA</b>
kg	
<b>PRECIO UNIDAD</b>	
1200 \$/kg	
<b>OBSERVACIONES</b>	
Material almacenado en bodega, enerezado a la intemperie.	

Tabla 10. Centros de figurado N# 9 “Depósito Ana”. Fuente propia, imagen propia.

CENTRO DE FIGURADO N° 10	
	<b>NOMBRE</b>
	Compra venta JM
	<b>DIRECCIÓN</b>
	Tv 17 Cll 64 s
	<b>UNIDAD DE VENTA</b>
Kg	
<b>PRECIO UNIDAD</b>	
1000 \$/Kg	
<b>OBSERVACIONES</b>	
Material almacenado en bodega, enderezado a la intemperie.	

Tabla 11. Centros de figurado N#10 “Compraventa JM”. Fuente propia, imagen obtenida en la web [www.google.es/maps/](http://www.google.es/maps/).

CENTRO DE FIGURADO N° 11	
	<b>NOMBRE</b>
	Sin Nombre
	<b>DIRECCIÓN</b>
	Tv 17 CII 66 s
	<b>UNIDAD DE VENTA</b>
	m
<b>PRECIO UNIDAD</b>	
1000 \$/m	
<b>OBSERVACIONES</b>	
Depósito de tubos y perfiles.	

Tabla 12. Centro de figurado N#11. Fuente propia, imagen propia.

La siguiente etapa propuesta consistía en realizar encuestas y entrevistas a dueños y compradores de los locales en estudio, y así tener una idea mucho más clara acerca de la demanda del mercado y de los beneficios que el cliente ve en el producto. Este paso no fue posible por dos motivos:

- 1- Luego de averiguar el precio, las personas preguntaban por el uso que se les daría a las barras, preguntaban si pertenecía a alguna entidad gubernamental que quería, y cito, "joderlos". La respuesta que recibían era que con esas barras se realizaba un ensayo para determinar las características del material. Las personas al escuchar que era un estudiante de la Universidad Distrital, cortaban cualquier tipo de acercamiento, unos ni siquiera quisieron vender una barra.
- 2- Al empezar con la encuesta, las personas asumían que se estaba averiguando el estado de sus negocios, y por lo tanto lo que se buscaba era algún tipo de mala conducta en el local, y así sellarlo

### 6.2.1.2 *Figurado del acero de refuerzo*

Las fotos y videos obtenidos en la etapa previa, junto con la información suministrada por los encargados de los locales, permitían la continuación de la investigación, y así se hizo.

Antes de apilar las barras, los propietarios de los centros utilizan una máquina que destuerce los refuerzos mediante un motor y unas guías utilizadas a modo de rieles, para que recuperen su forma lineal. Esta máquina también retira los restos de concreto que tenga el acero en la superficie. Las imperfecciones que no corrija la máquina, las mejoran manualmente con golpes sobre las barras, con martillos y mazos.



Figura 11. Máquina figuradora de acero de refuerzo. Imagen propia.

### 6.2.2 Adquisición de muestras:

Se compraron barras de refuerzo de 0,5" de diámetro (N 4) de cada uno de los centros de figurado (25 en total), se adquirieron otras 3 barras de menor diámetro (N 3, 3/8"), 2 barras que superficialmente estaban en excelente estado y 2 barras más en muy mal estado visual, en total fueron 30 muestras. Eso se realizó contemplando la NTC 2289 12.1 [6], donde permite ensayar mínimo una barra de cada diámetro.

Estas son fotografías de algunas barras:

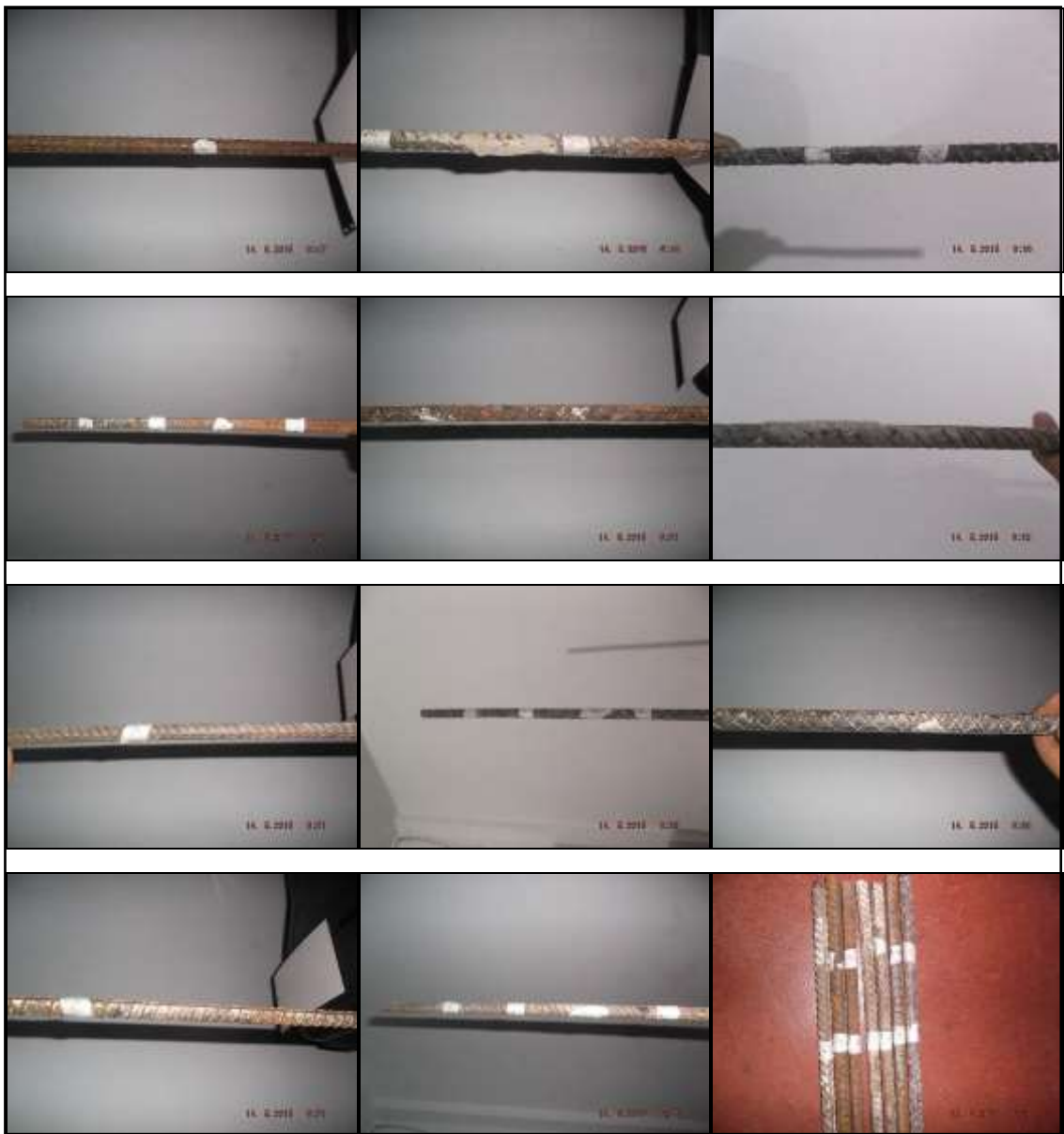


Figura 12. Barras adquiridas en campo. Imagen propia.

BARRAS DE REFUERZO		
N	CENTRO DE FIGURADO	OBSERVACIONES
1	9	
2	5	
3	11	
4	1	
5	2	
6	3	
7	4	Mal estado visual
8	10	
9	8	
10	5	
11	5	Barra No 3
12	3	Buen estado visual
13	6	Barra No 3
14	2	
15	5	
16	3	Barra No 3
17	7	
18	6	
19	4	
20	2	
21	2	
22	3	
23	5	
25	1	
26	6	
27	5	Mal estado visual
28	10	
29	11	
30	6	Buen estado visual
31	7	

Tabla 13. Barras obtenidas por centro de figurado. Fuente:

### 6.2.3 Determinación de las propiedades

#### 6.2.3.1 Resistencia a tracción

Las 30 barras de refuerzo fueron llevadas al laboratorio de resistencia de materiales, de la Universidad Distrital, Facultad Tecnológica, para realizar el ensayo Tensión (NTC 3353), en la máquina universal de ensayos (REF: UH 50-A Shimatzu). (Ver Figura N° 14.).

Según la NTC3353 [9], el tamaño de la muestra no debe ser inferior a 150mm, siempre y cuando las condiciones de la máquina de ensayo lo permitan. Para este caso, la máquina necesita mínimo de 200 mm de agarre (100mm por cada lado), y mínimo 50mm libres, para el caso de la máquina utilizada, el tamaño ideal de la probeta es de 400mm, y en caso de no cumplir con este requerimiento, la longitud libre no debe ser inferior a los 50mm.

También, según la NTC 2289, se debe tomar el peso de las barras.

Las muestras no deben estar dobladas y su superficie debe ser lo más limpia posible. Se debe medir el diámetro de la barra y con ello obtener el área  $A$ , también se debe medir la longitud inicial de la probeta. Luego se introduce en la máquina, dejando los agarres muy bien fijos a la barra, y se inicia el ensayo.



Figura 13. Preparación de muestras para ensayo. Imágenes propias.

Se deben tomar los valores, iniciales y finales, del diámetro y longitud de la muestra, para calcular los porcentajes de elongación (% $\epsilon$ ) y de pérdida de área (%  $A_v$ ), así:

$$\% \epsilon = 100 * (L_f - L_o) / L_o$$

$$\% A_v = 100 * (A_f - A_o) / A_o$$

La máquina aplica una carga a una determinada velocidad y la registra en el computador, que genera un archivo de extensión .txt visible como Block de Notas, con dos columnas de resultados: la primera indica la carga, medida en Tnf (Toneladas–fuerza), y la segunda indica el alargamiento en mm, que tiene la probeta con la carga suministrada. Luego de un tiempo la probeta falla y se detiene el ensayo. Exportamos los datos a un archivo de Excel para poder operarlos. Para el análisis de los datos, se requiere aplicar las siguientes fórmulas:

$$\text{Para pasar Tnf a MPa} = (Tnf * 9.81m/s^2 * 1000kg) / A$$

Donde A debe estar en  $mm^2$

Y para obtener  $\epsilon$ , se toman los datos del alargamiento y se dividen en la longitud inicial para obtener la deformación unitaria.



Figura 14. Máquina universal de ensayos, Laboratorio de Resistencia de Materiales, Universidad Distrital, Facultad Tecnológica, Imágenes propias.

Graficamos las 2 nuevas columnas, MPa en el eje Y y  $\epsilon$  en el eje X, para obtener así la gráfica Esfuerzo / Deformación

Sobre la gráfica trazamos los parámetros mínimos y máximos de Resistencia a la tracción mínima y a la resistencia a la fluencia exigidos en la NTC 2289 y NSR10 título C.

Resistencia a la tracción mínima psi (MPa)	80 000 (550) <sup>A</sup>
Resistencia a la fluencia mínima psi (MPa)	60 000 (420)
Resistencia a la fluencia máxima psi (MPa)	78 000 (540)
Alargamiento mínimo en 8 pulgadas para el sistema inglés ó 200 mm para Sistema Internacional (SI)	
<b>Número de designación de las barras</b>	<b>%</b>
2, 3, 4, 5, 6	14
7, 8, 9, 10, 11	12
14, 18	10
<sup>A</sup> La resistencia a la tracción debe ser igual o mayor a 1,25 veces la resistencia a la fluencia.	

Tabla 14. Requisitos de tracción para barras de acero de refuerzo de grado 60.  
Fuente: NTC 2289. Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, para refuerzo de concreto.

La máquina universal de ensayos, también genera las gráficas de esfuerzo deformación de cada ensayo, pero en función de  $T_{nf}$  y  $\Delta L$ , por esta razón se crearon nuevas curvas de esfuerzo- deformación partiendo de los datos obtenidos de la máquina.

#### 6.2.3.2 Curvas Esfuerzo – Deformación:

A continuación, se relacionan las gráficas generadas a partir de los datos del laboratorio.

*Nota: Para las barras 11, 13, 16, 23, 26 y 28, se utilizó una herramienta adicional para conocer la resistencia a la fluencia, ya que las gráficas de Esfuerzo – Deformación de estas no es muy evidente. El procedimiento se realizó según la NTC 3353 13.2.1 [9]: Determinación de la resistencia a la fluencia por el método de Desplazamiento, el cual consta de una aproximación gráfica al punto:*



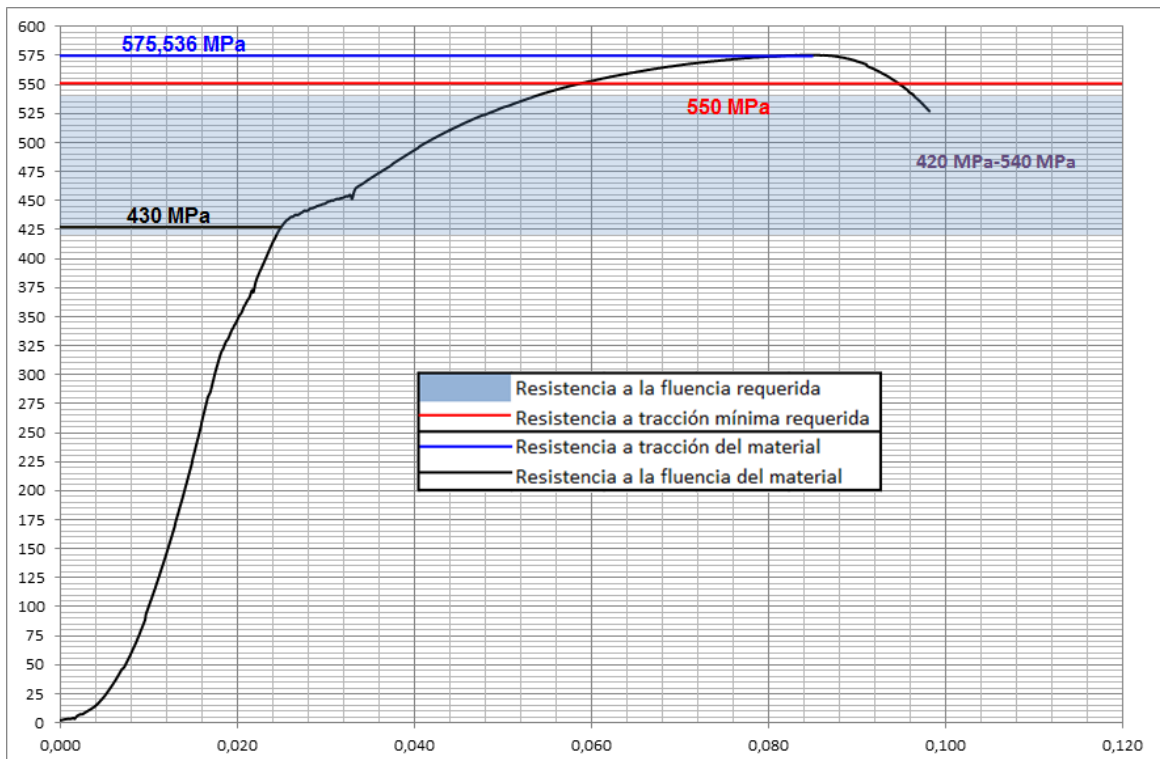


Figura 15. Curva esfuerzo deformación probeta #1. Fuente: Propia.

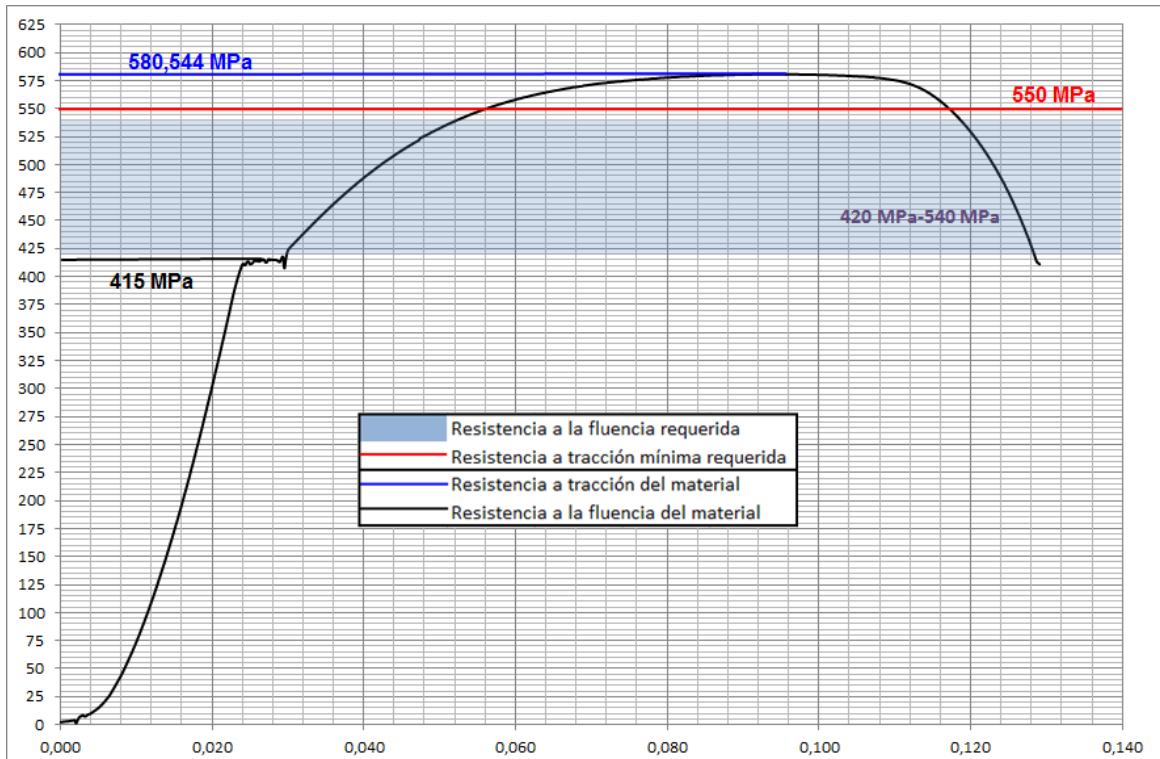


Figura 16. Curva esfuerzo deformación probeta #2. Fuente: Propia.

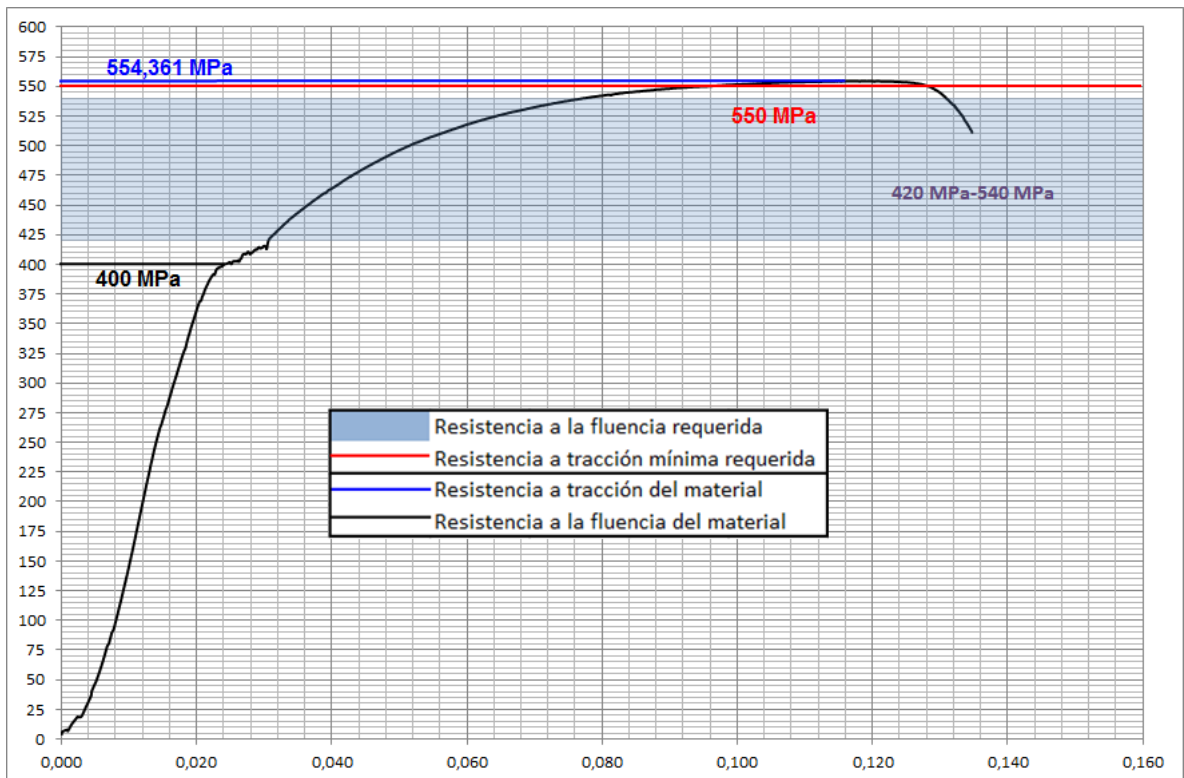


Figura 17. Curva esfuerzo deformación probeta #3. Fuente: Propia.

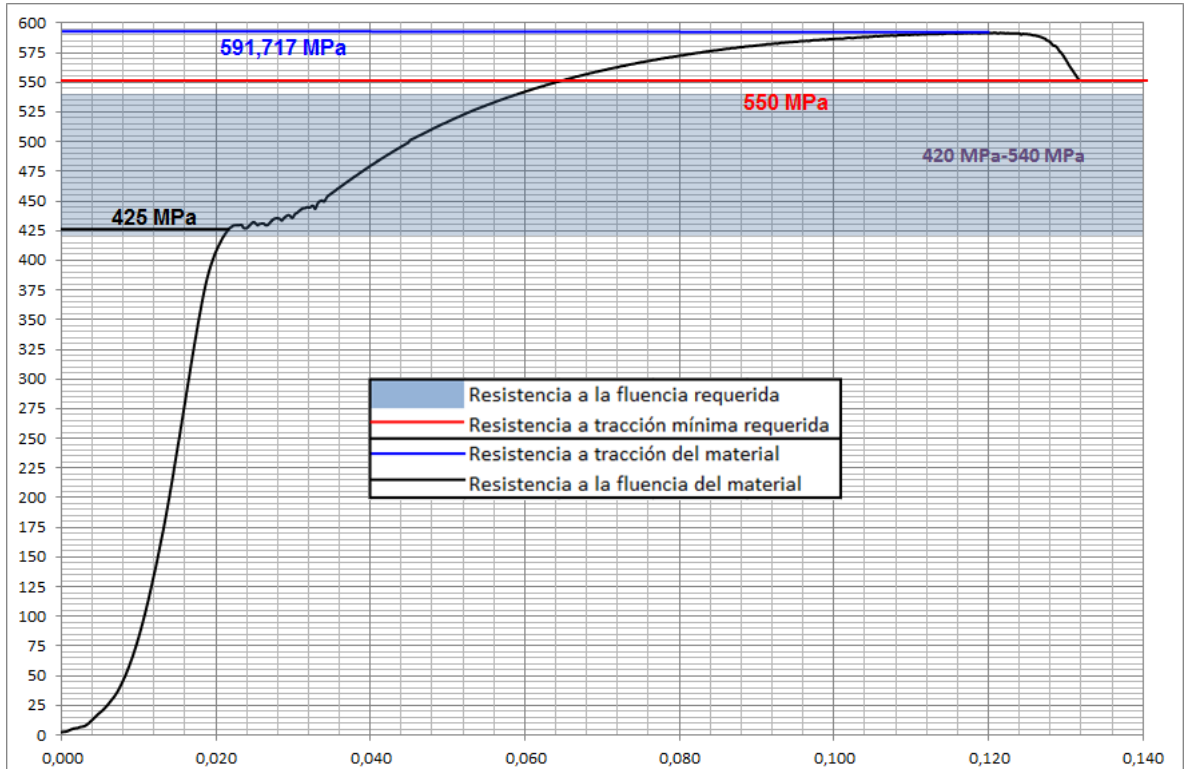


Figura 18. Curva esfuerzo deformación probeta #4. Fuente: Propia.

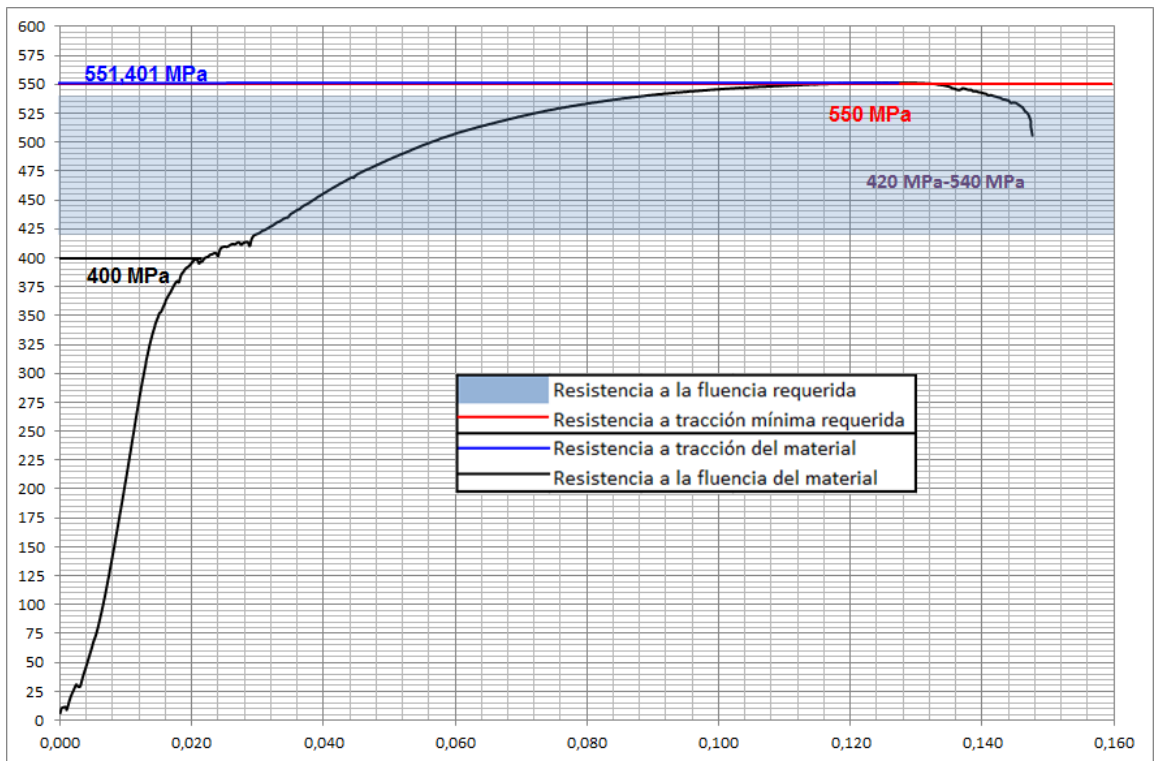


Figura 19. Curva esfuerzo deformación probeta #5. Fuente: Propia.

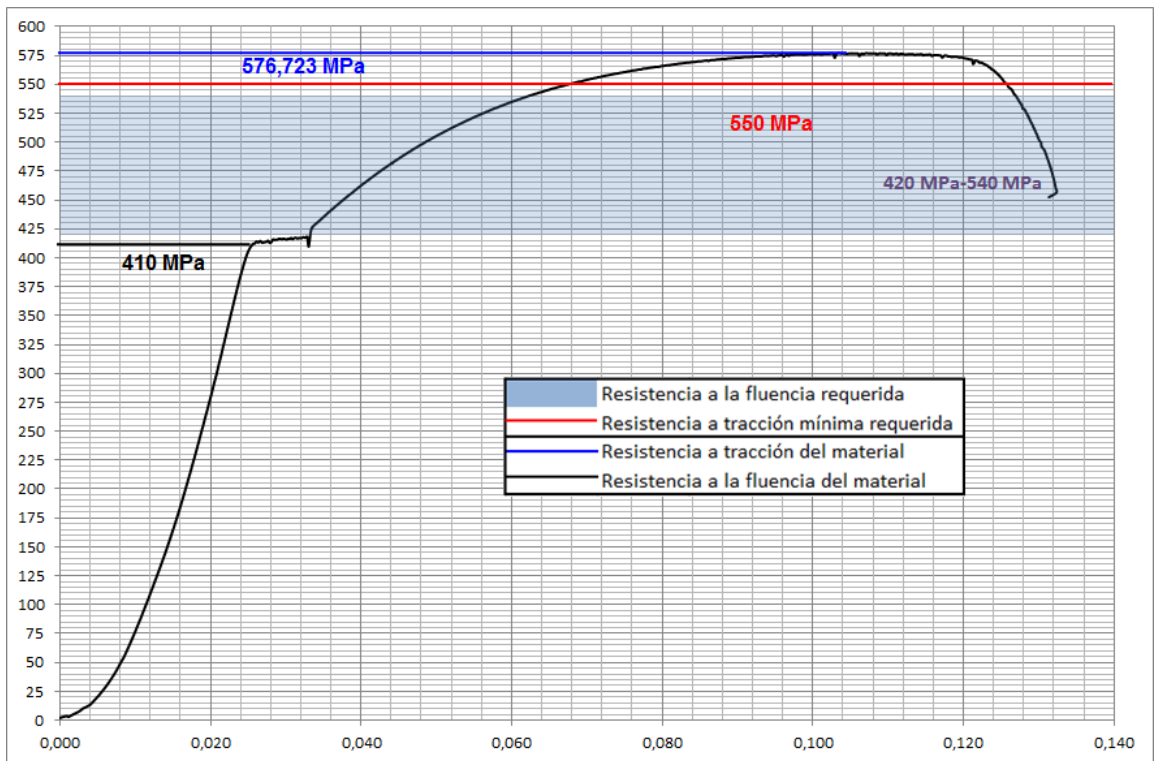


Figura 20. Curva esfuerzo deformación probeta #6. Fuente: Propia.

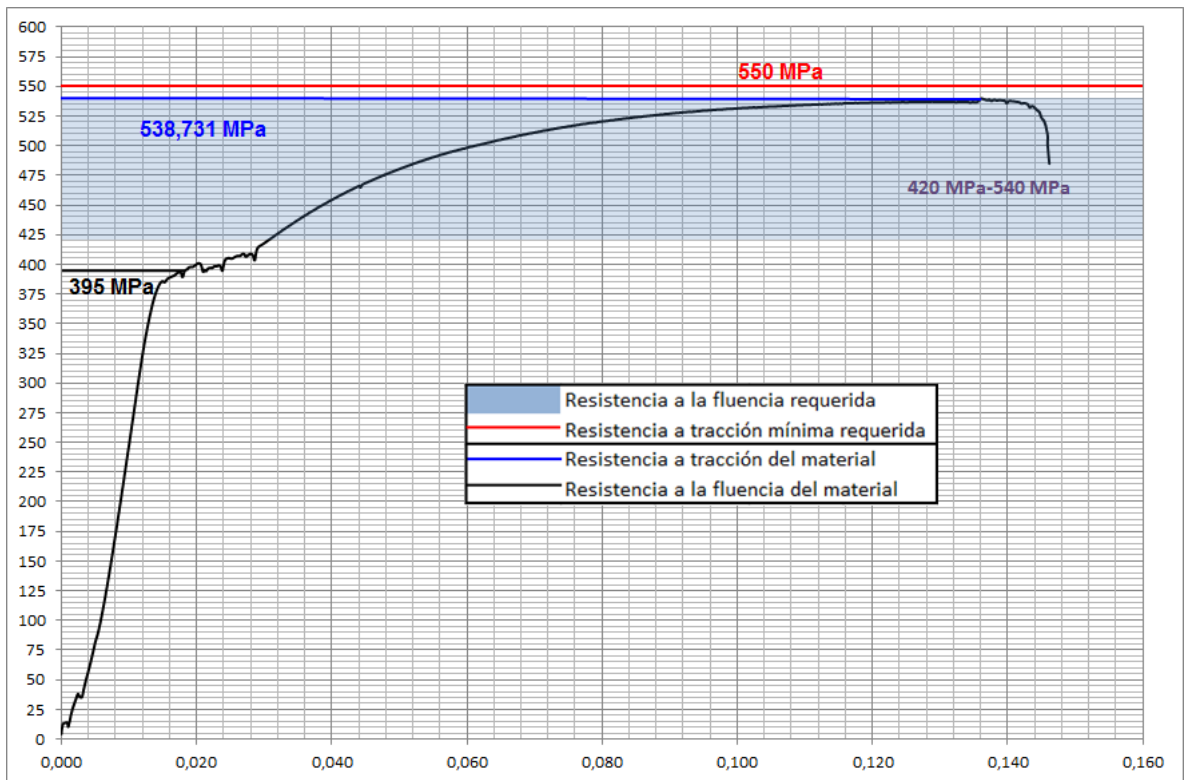


Figura 21. Curva esfuerzo deformación probeta #7. Fuente: Propia.

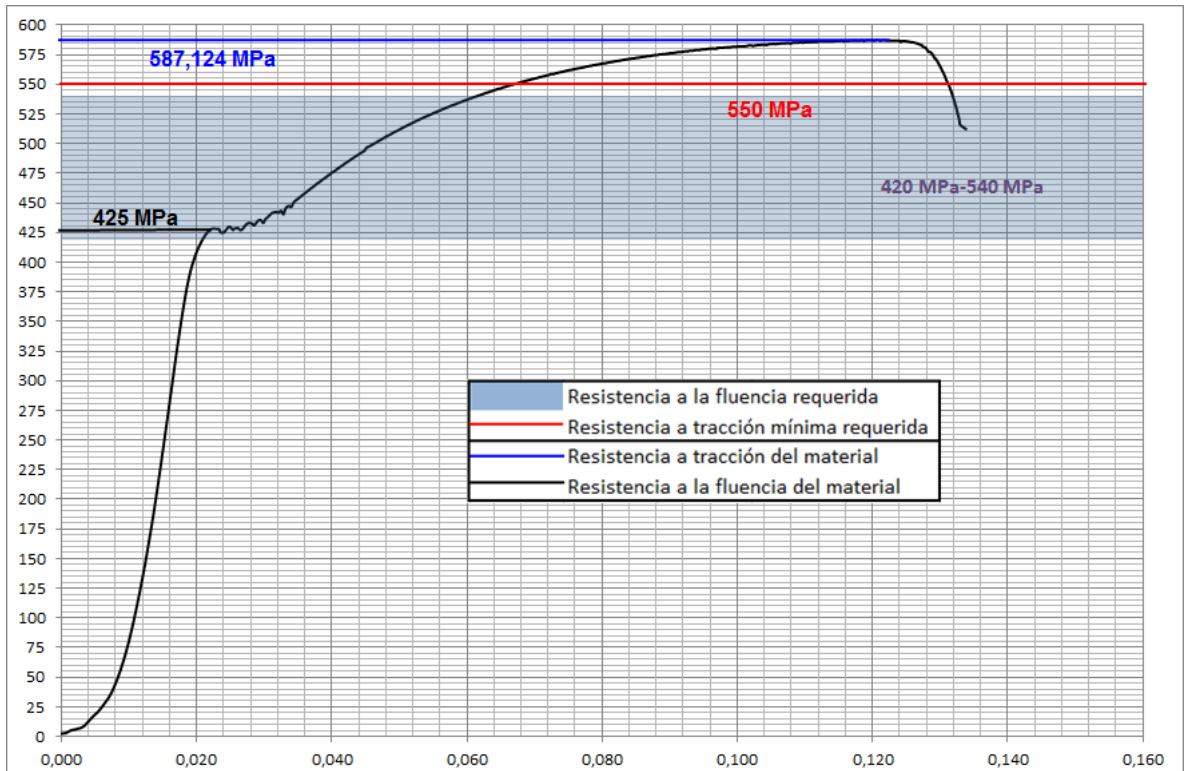


Figura 22. Curva esfuerzo deformación probeta #8. Fuente: Propia.

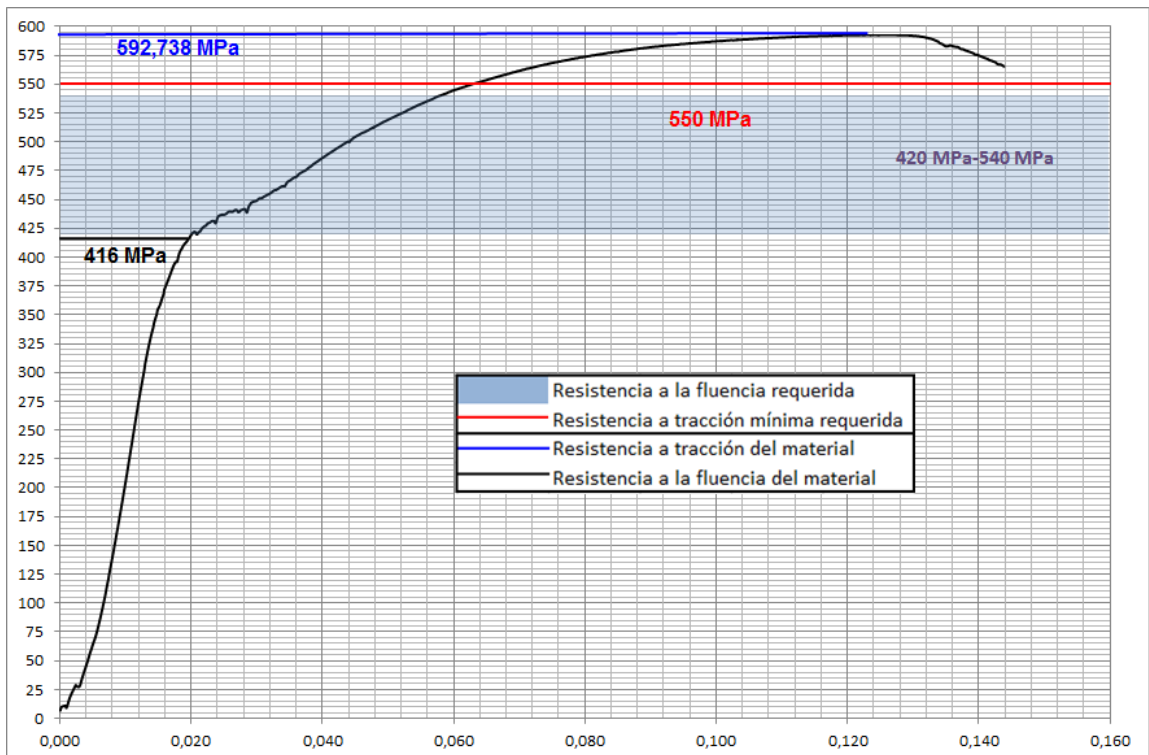


Figura 23. Curva esfuerzo deformación probeta #9. Fuente: Propia.

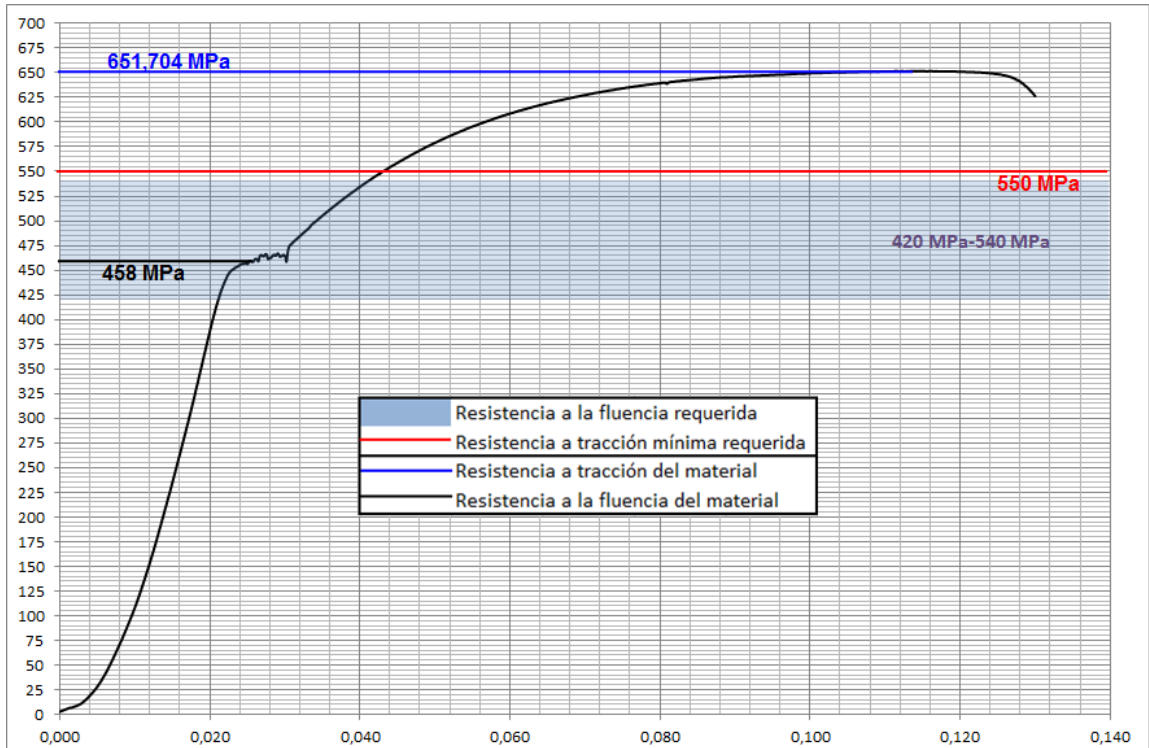


Figura 24. Curva esfuerzo deformación probeta #10. Fuente: Propia.

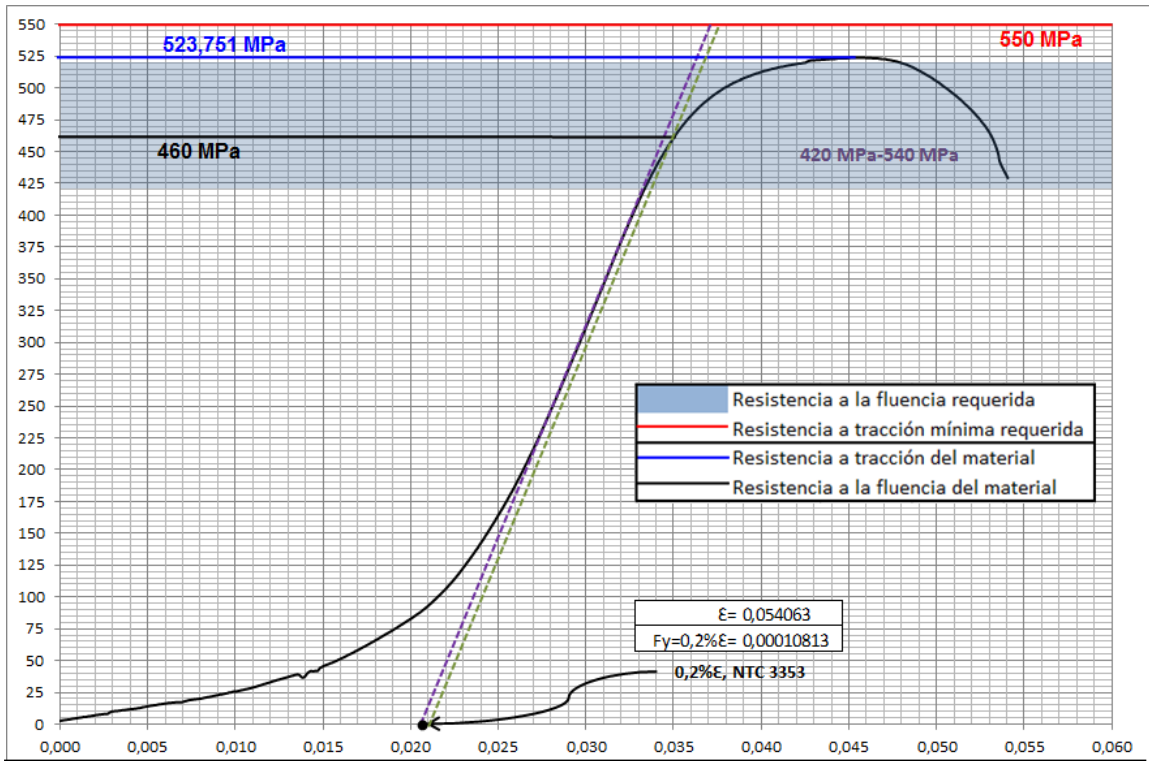


Figura 25. Curva esfuerzo deformación probeta #11. Fuente: Propia.

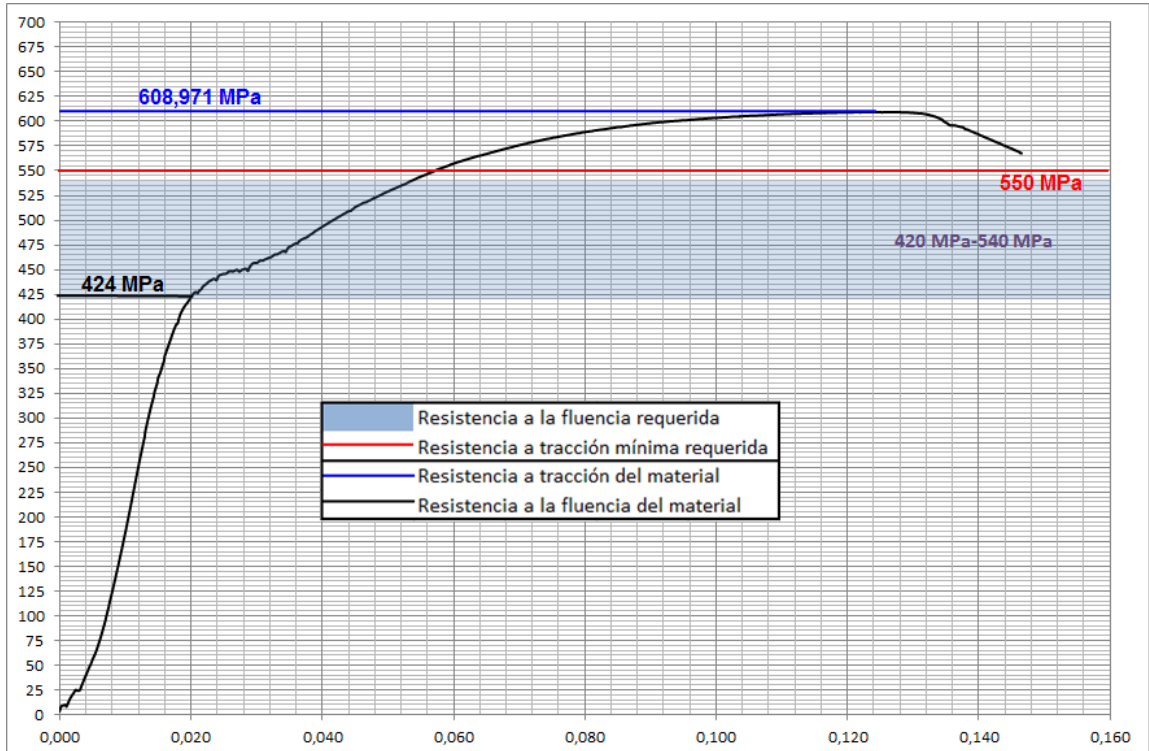


Figura 26. Curva esfuerzo deformación probeta #12. Fuente: Propia.

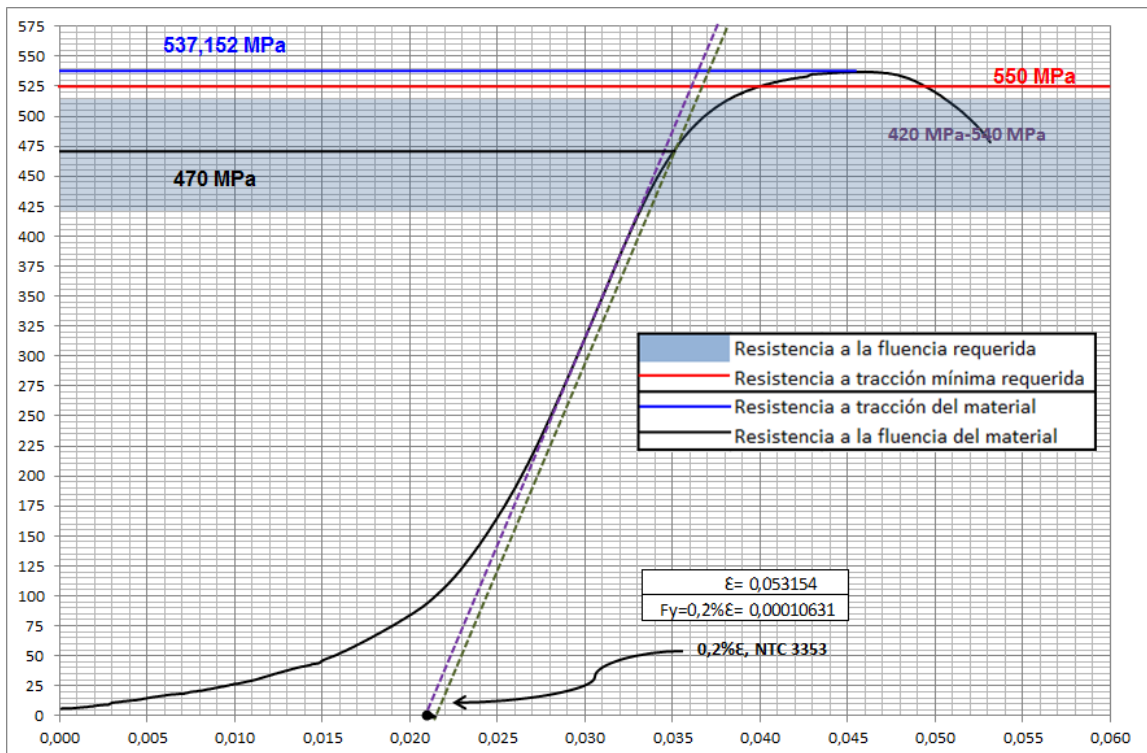


Figura 27. Curva esfuerzo deformación probeta #13. Fuente: Propia.

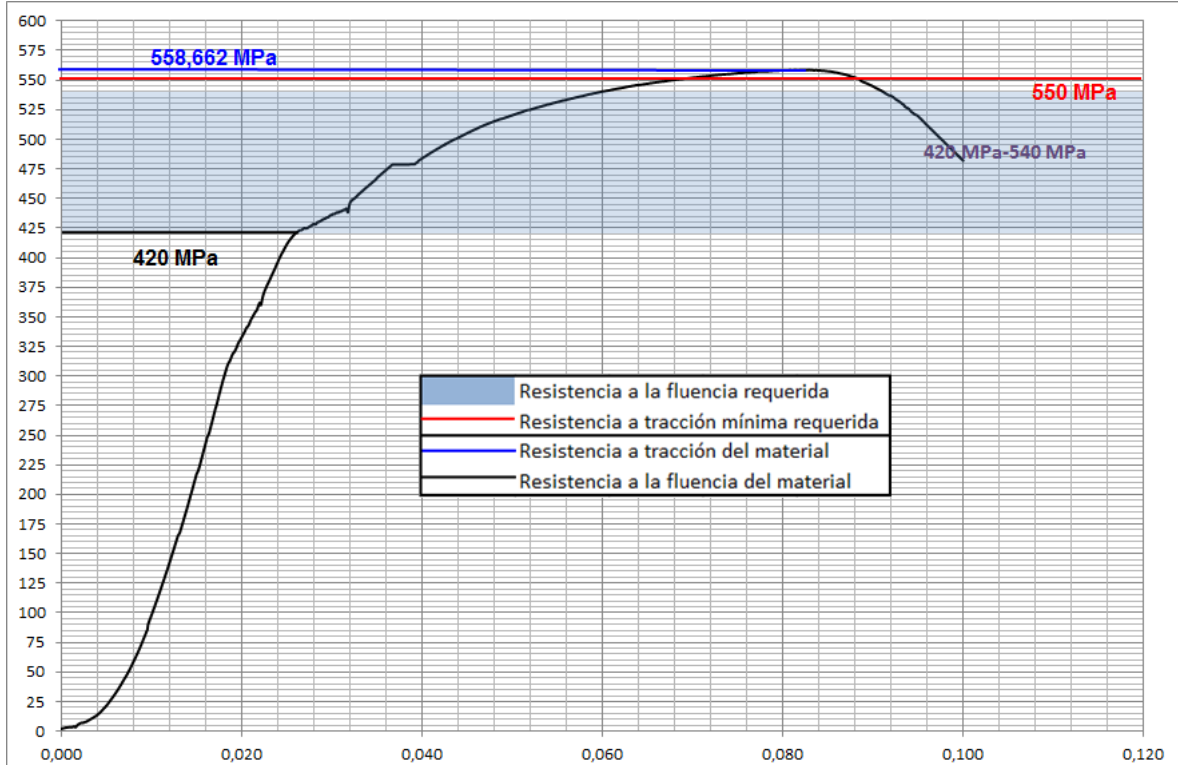


Figura 28. Curva esfuerzo deformación probeta #14. Fuente: Propia.

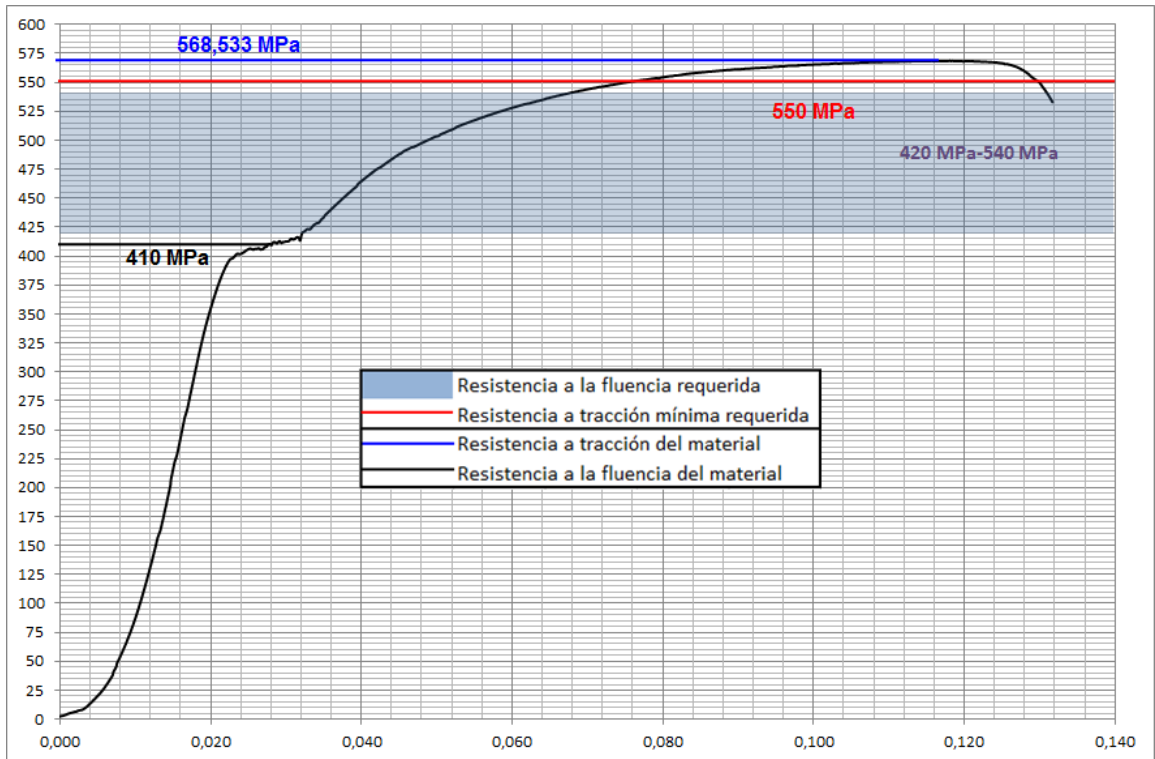


Figura 29. Curva esfuerzo deformación probeta #15. Fuente: Propia.

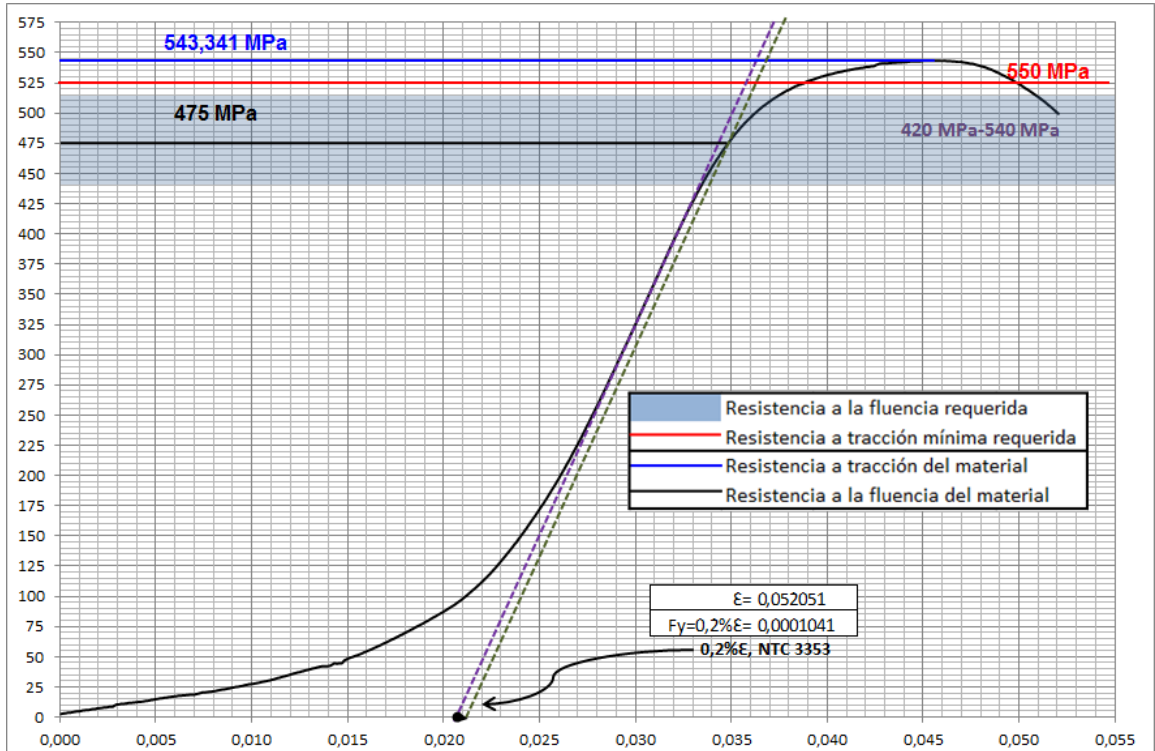


Figura 30. Curva esfuerzo deformación probeta #16. Fuente: Propia.



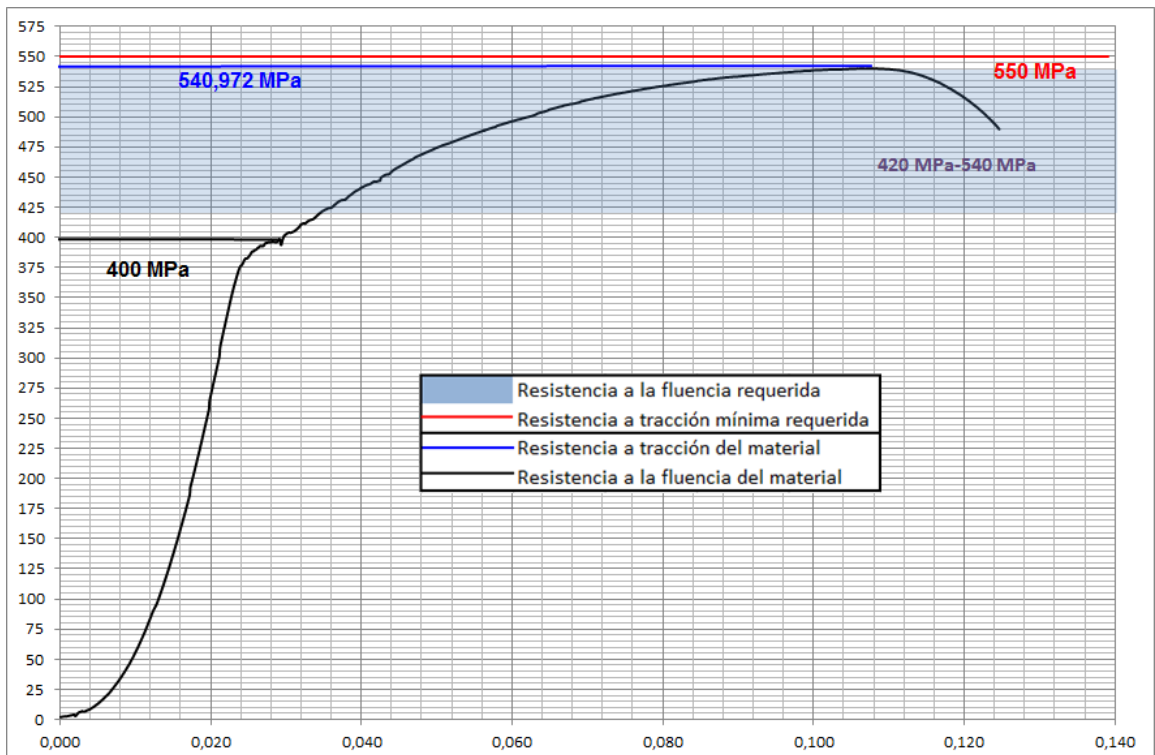


Figura 31. Curva esfuerzo deformación probeta #17. Fuente: Propia.

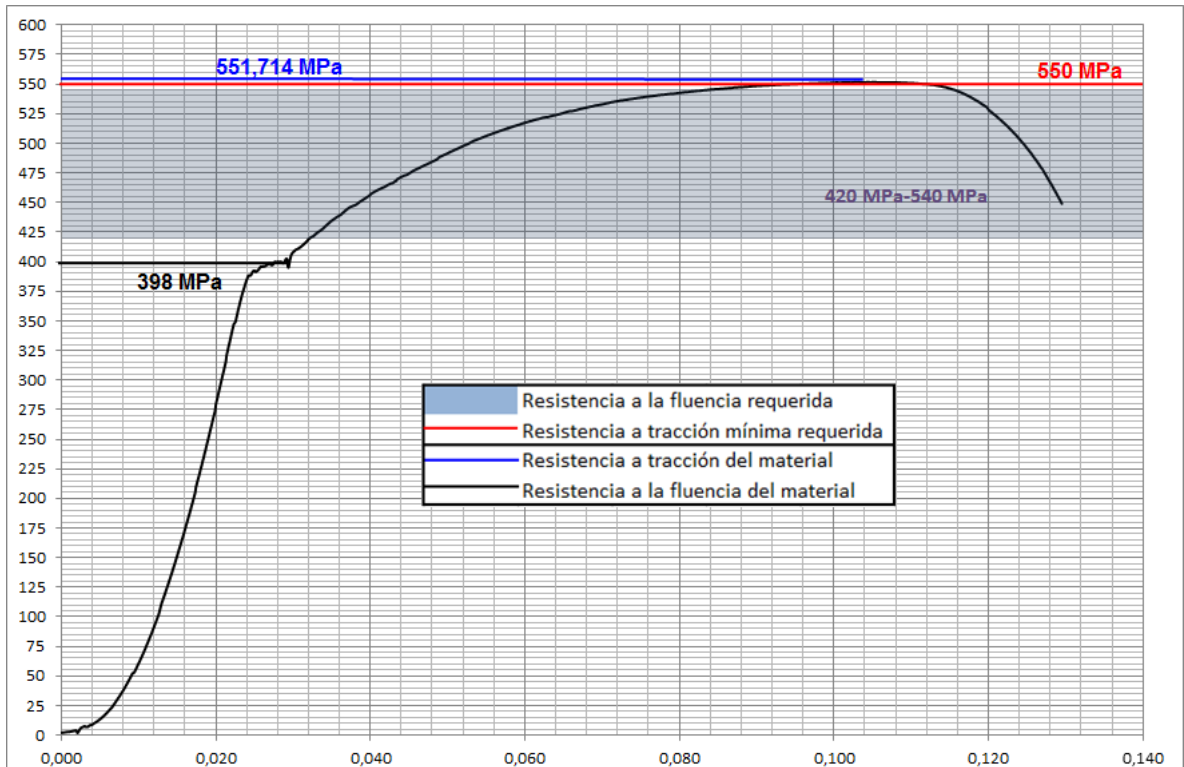


Figura 32. Curva esfuerzo deformación probeta #18. Fuente: Propia.

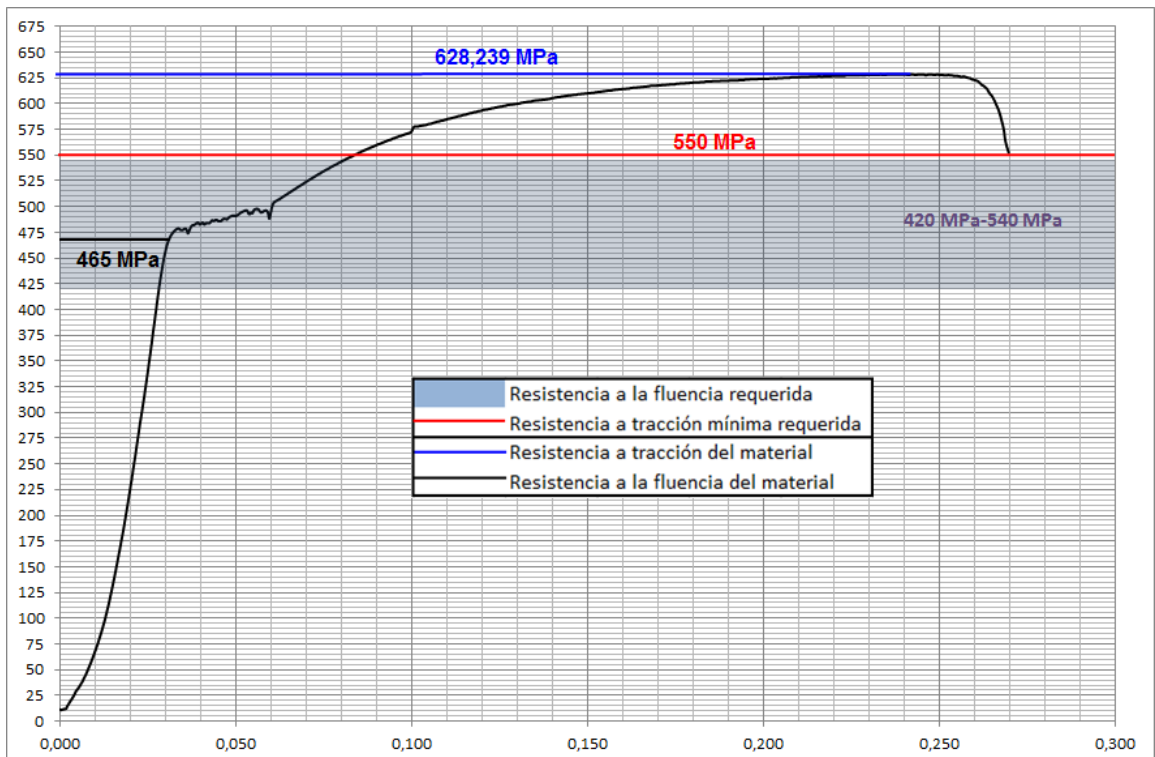


Figura 33. Curva esfuerzo deformación probeta #19. Fuente: Propia.

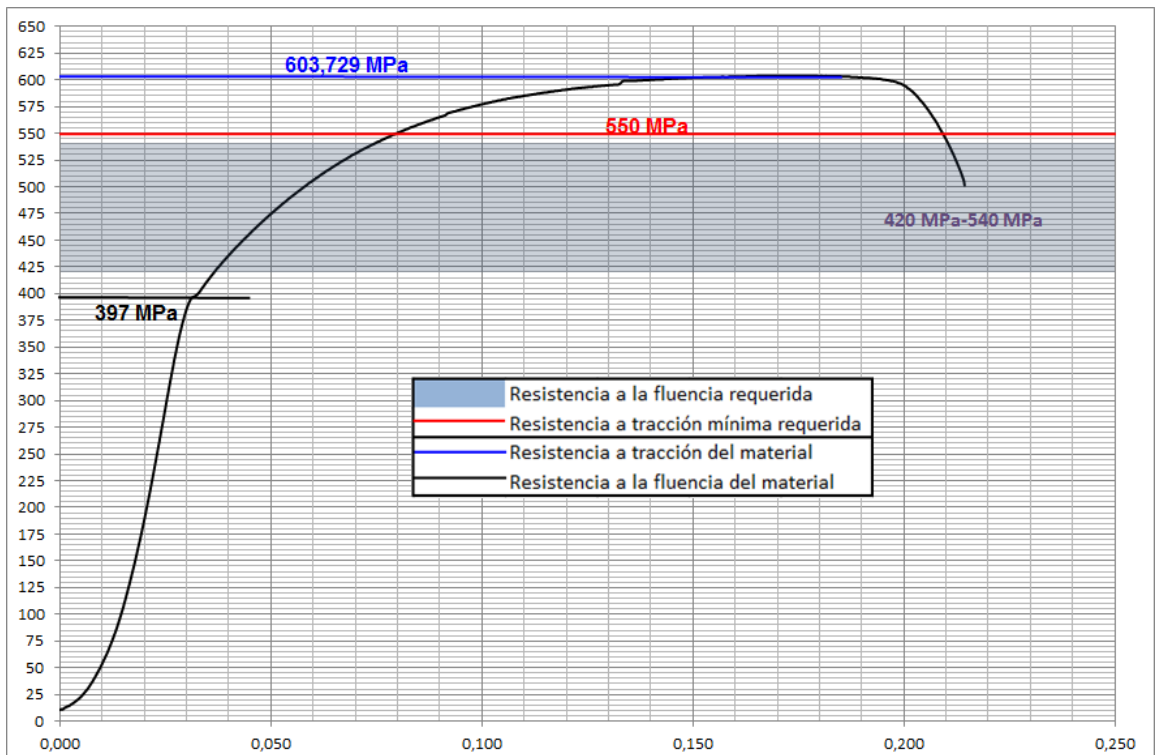


Figura 34. Curva esfuerzo deformación probeta #20. Fuente: Propia.

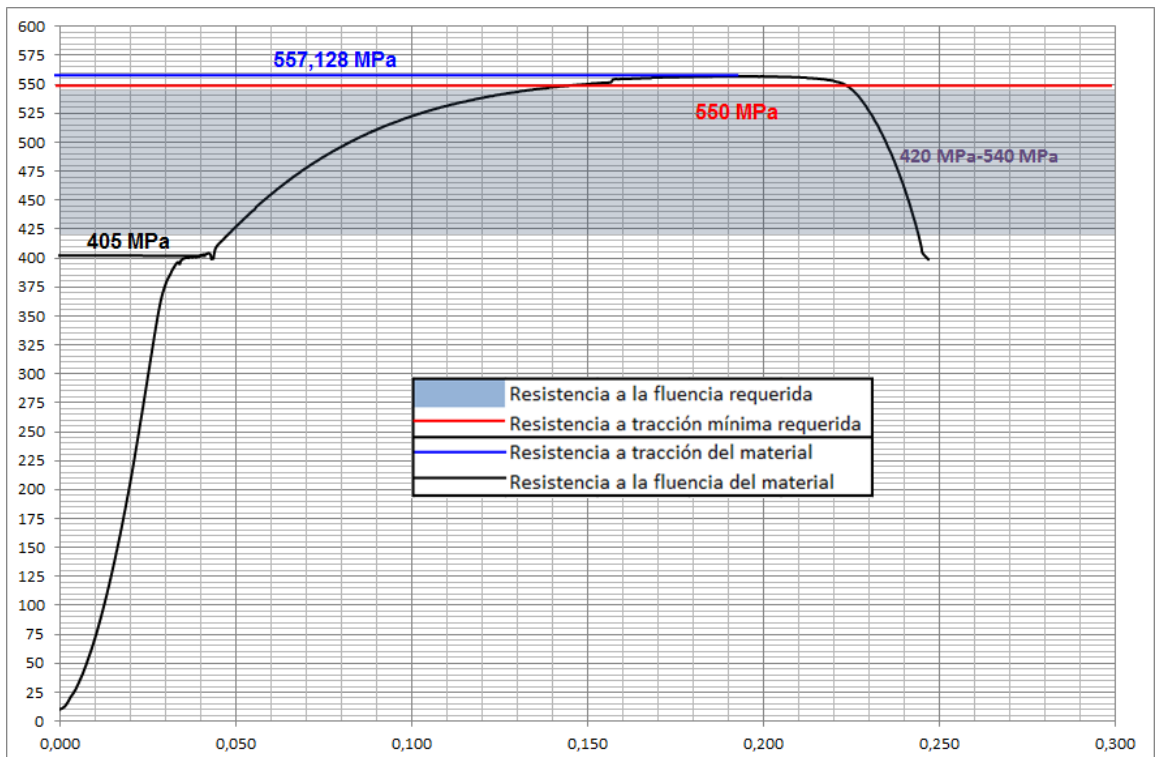


Figura 35. Curva esfuerzo deformación probeta #21. Fuente: Propia.

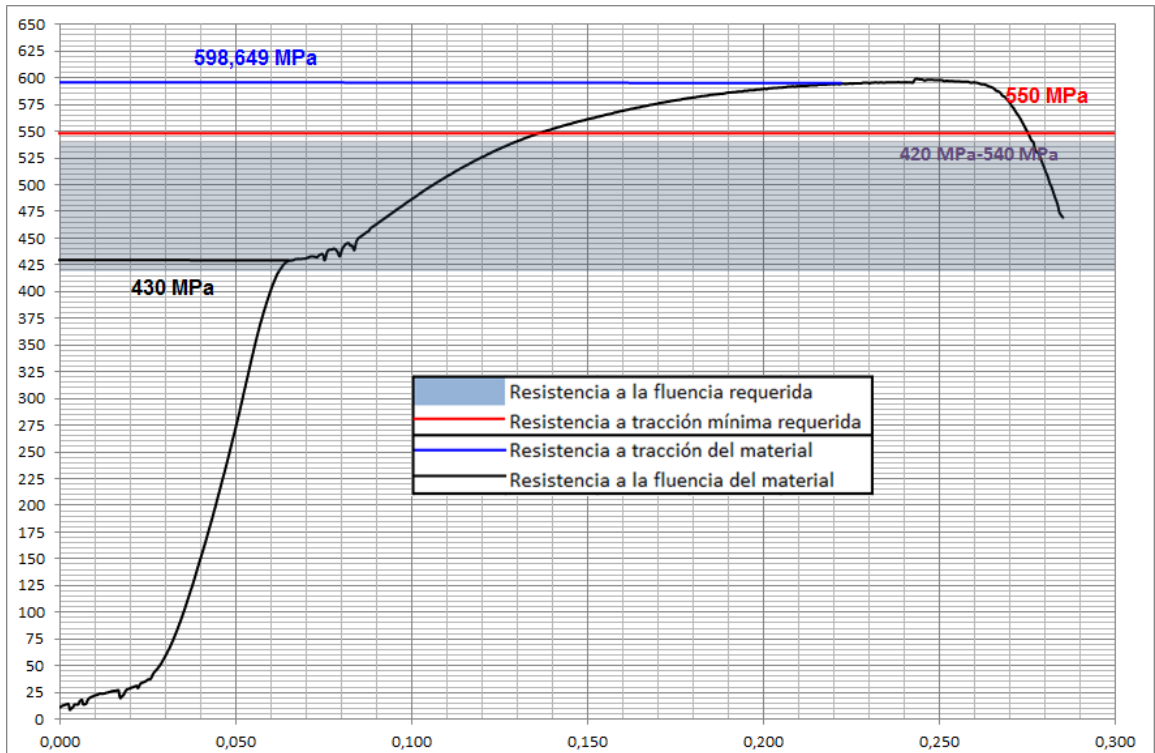


Figura 36. Curva esfuerzo deformación probeta #22. Fuente: Propia.

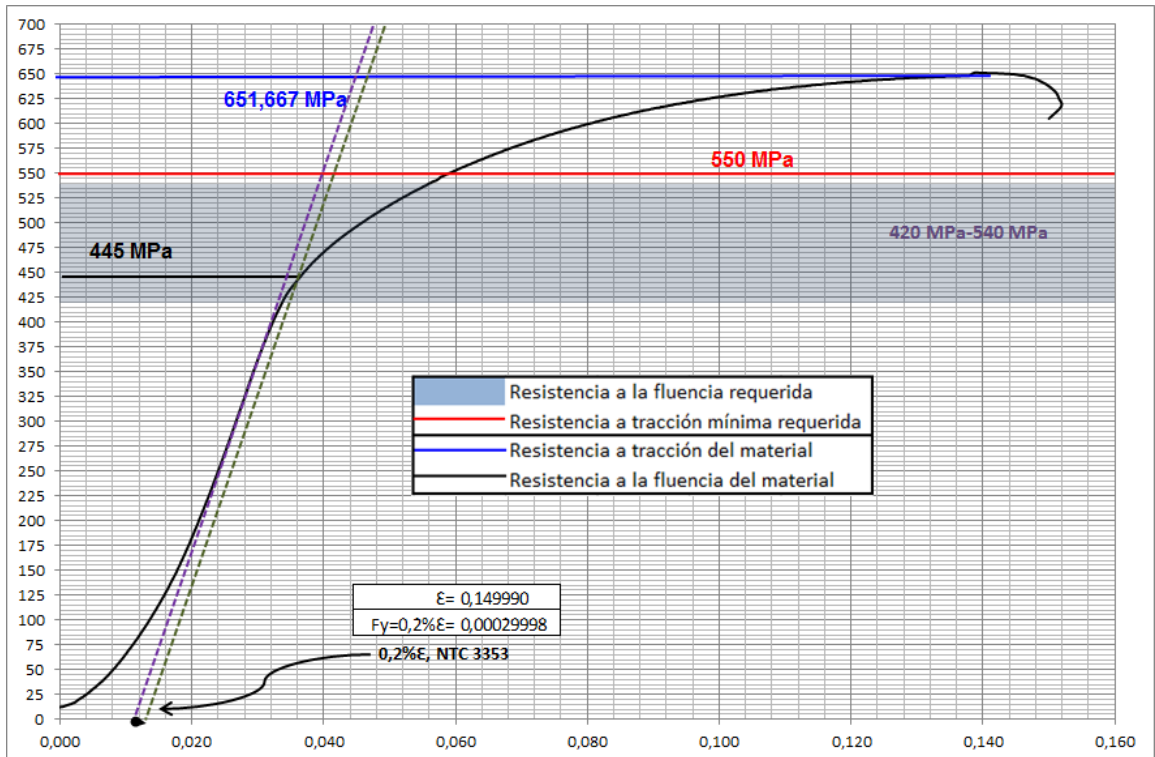


Figura 37. Curva esfuerzo deformación probeta #23. Fuente: Propia.

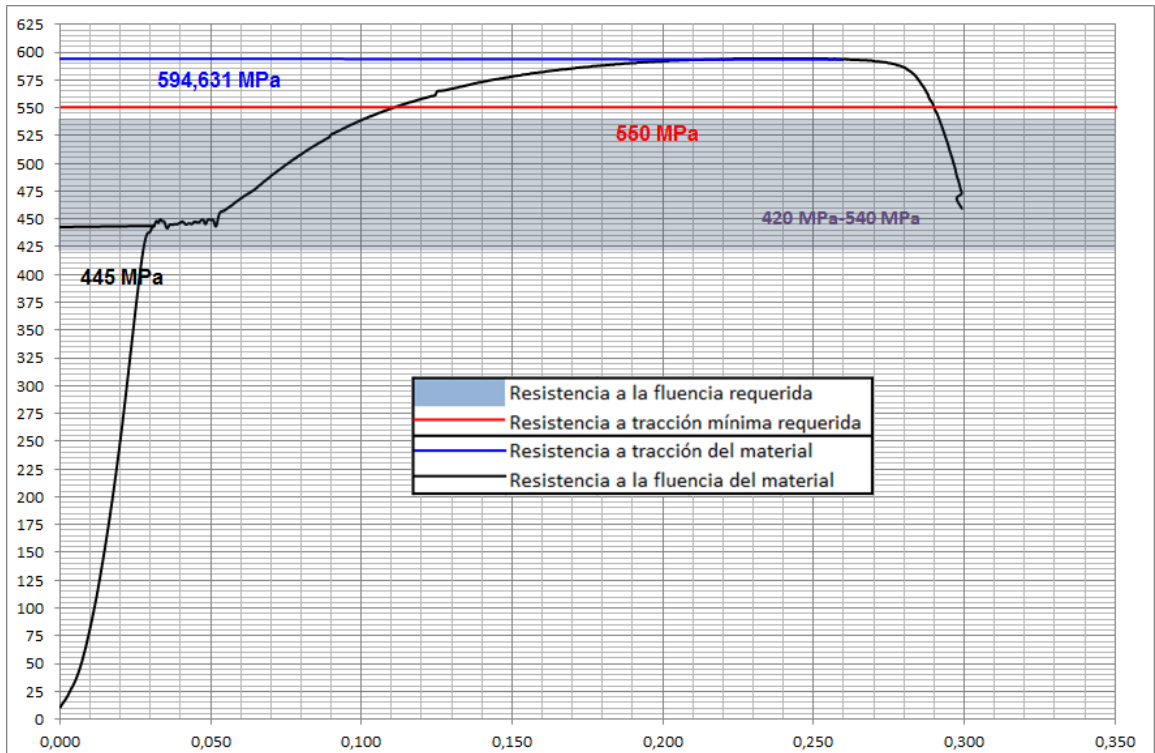


Figura 38. Curva esfuerzo deformación probeta #25. Fuente: Propia.

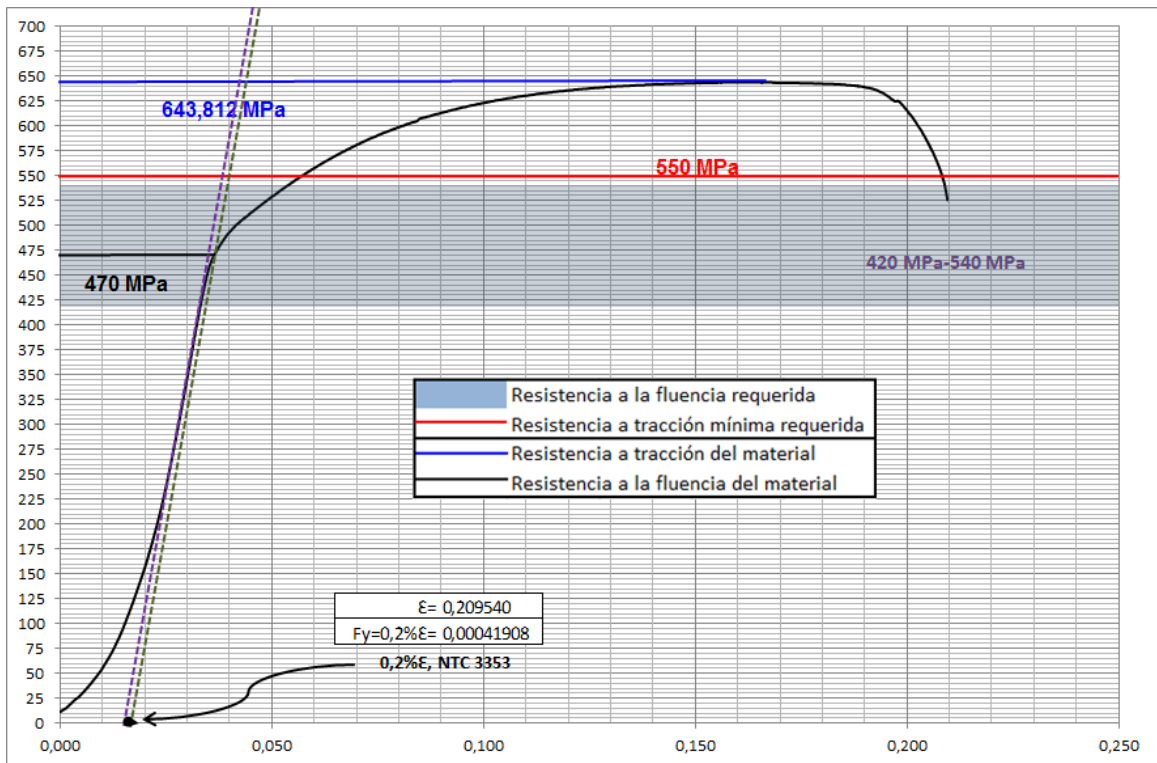


Figura 39. Curva esfuerzo deformación probeta #26. Fuente: Propia.

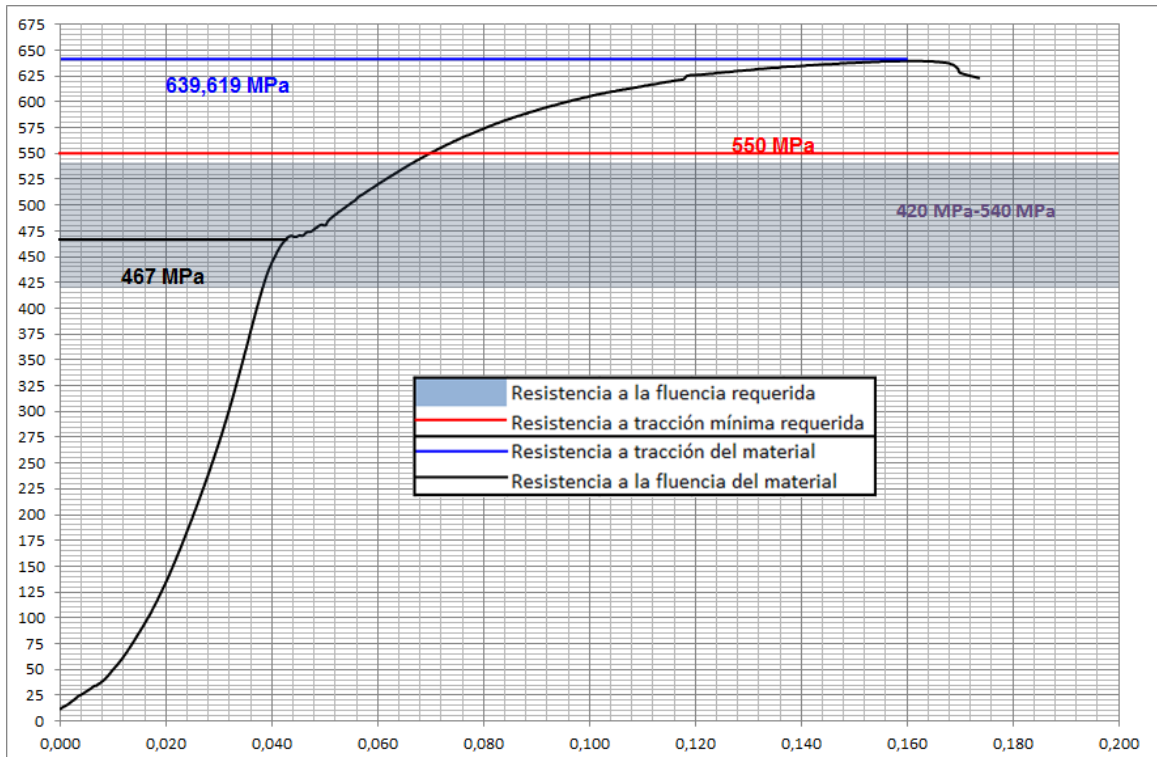


Figura 40. Curva esfuerzo deformación probeta #27. Fuente: Propia.

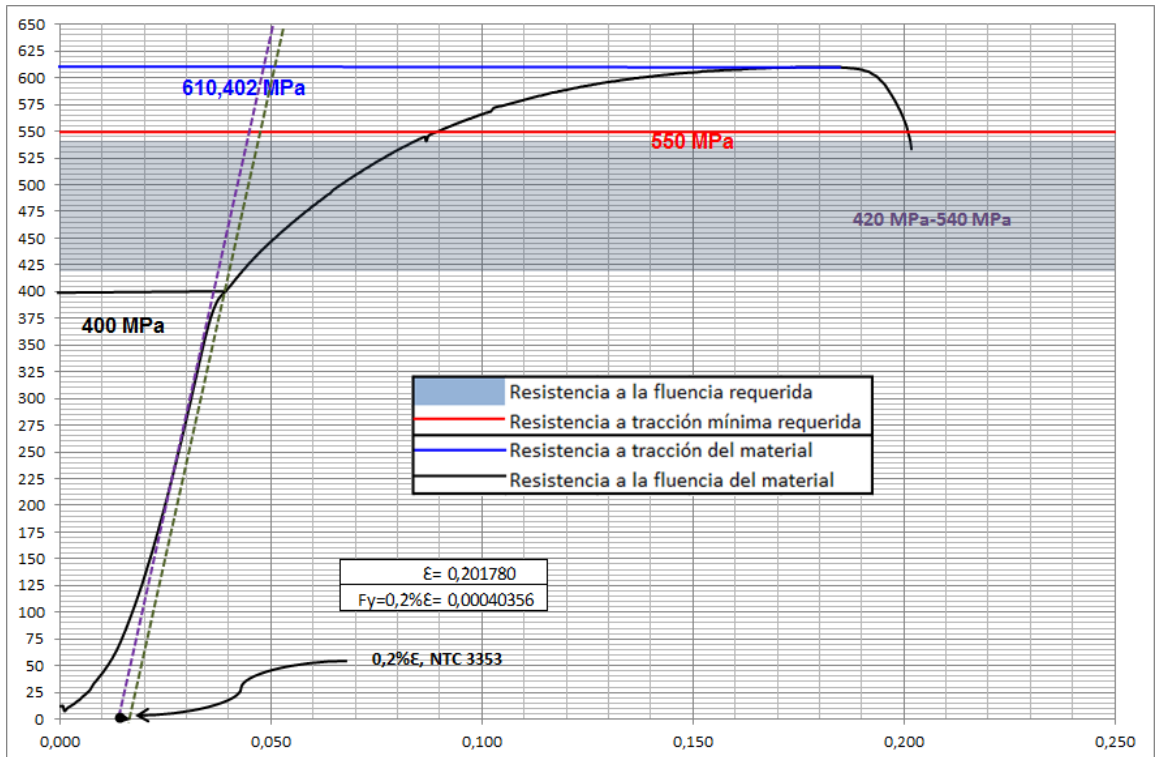


Figura 41. Curva esfuerzo deformación probeta #28. Fuente: Propia.

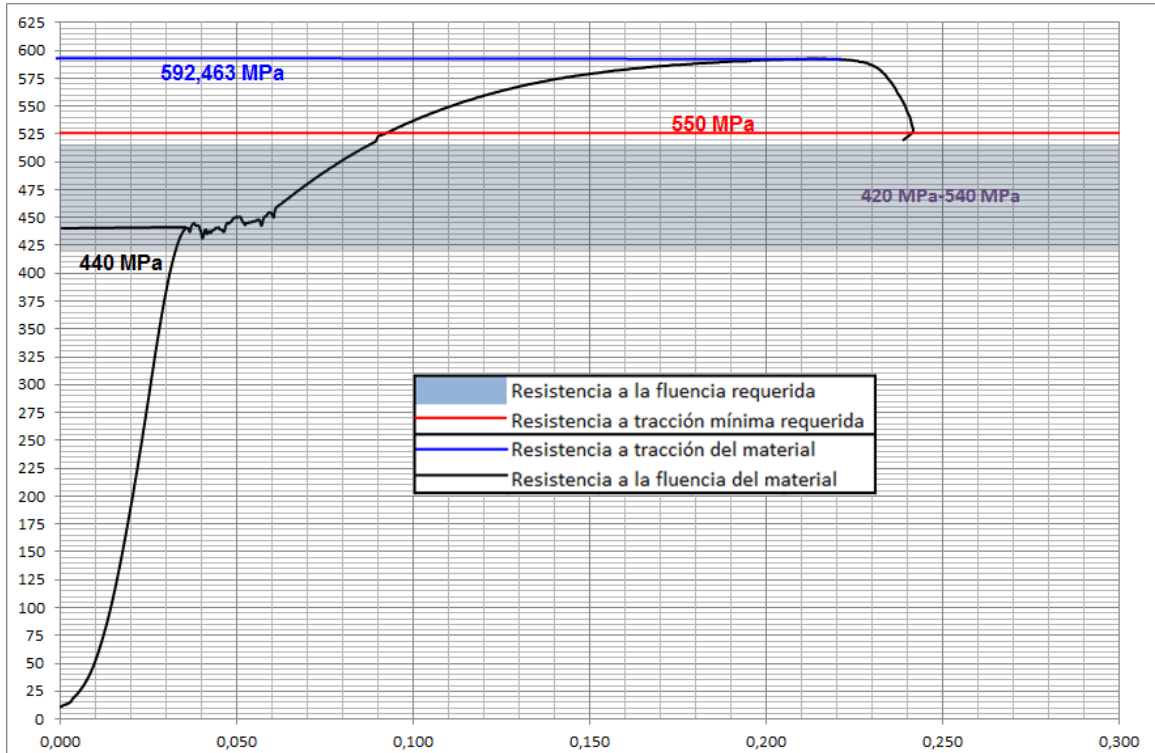


Figura 42. Curva esfuerzo deformación probeta #29. Fuente: Propia.

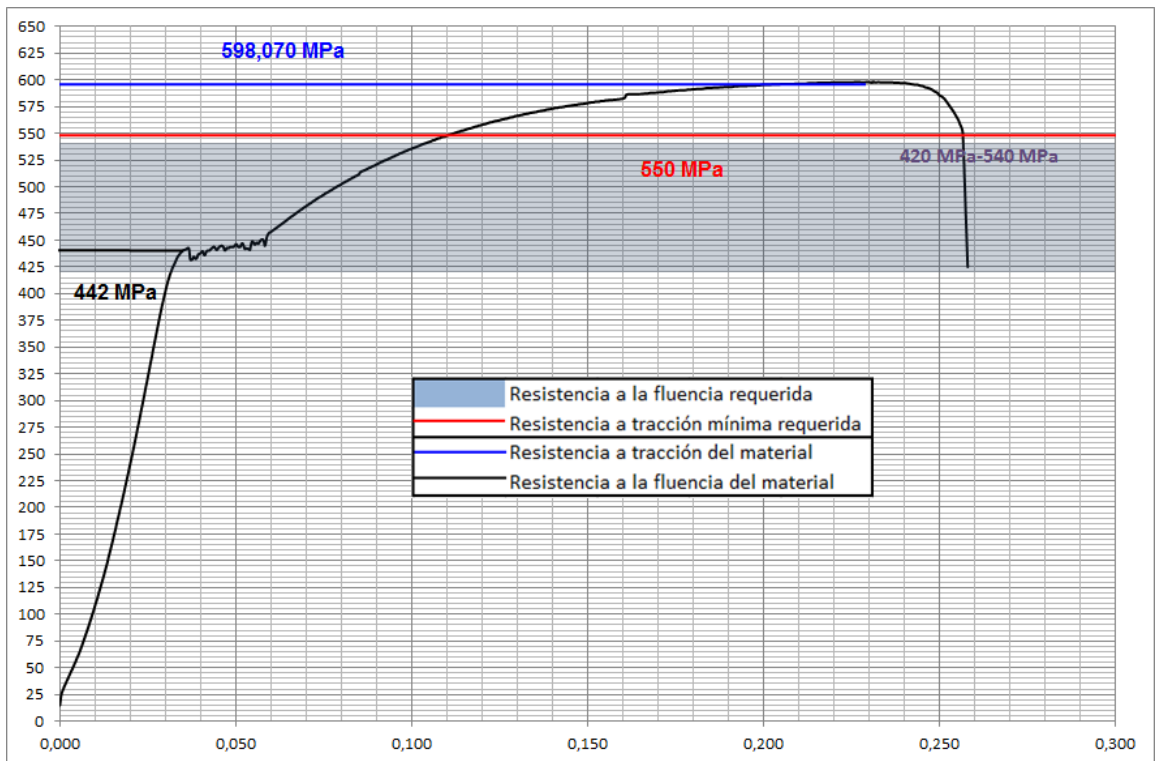


Figura 43. Curva esfuerzo deformación probeta #30. Fuente: Propia.

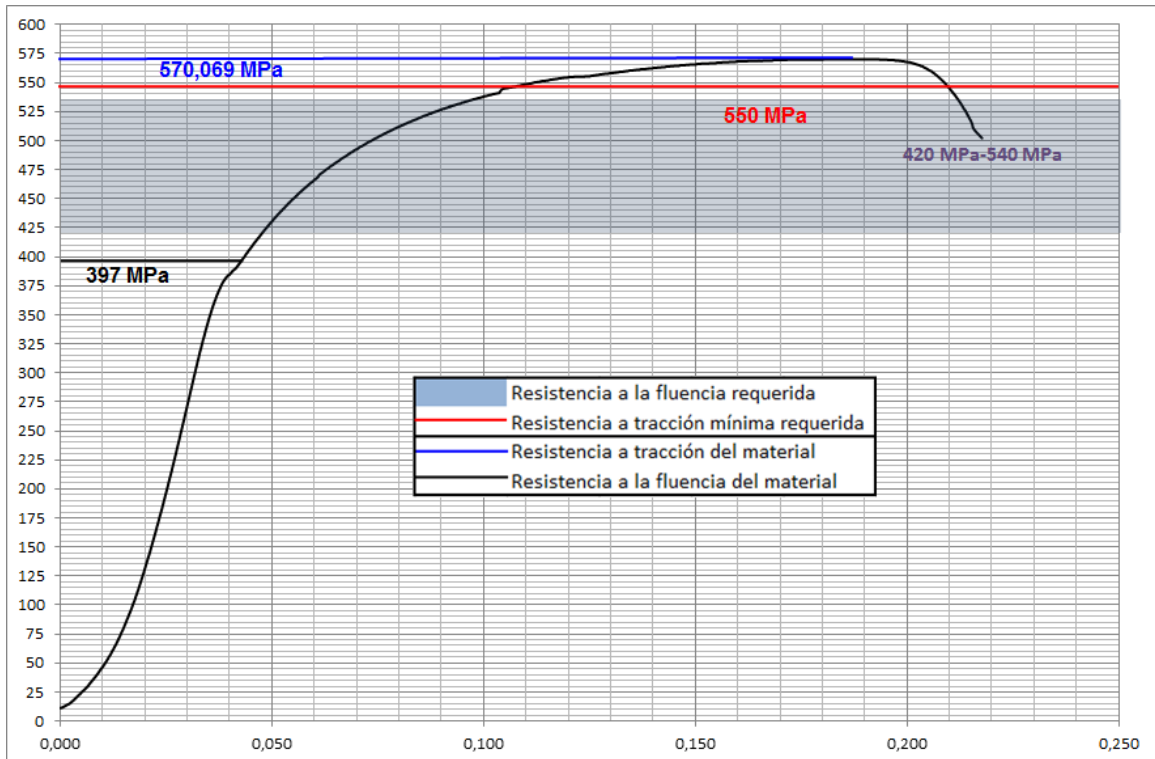


Figura 44. Curva esfuerzo deformación probeta #31. Fuente: Propia.

Para completar la información requerida por la NTC 2289, medimos la longitud y el diámetro de las barras después de ser ensayadas, y generamos un cuadro resumen de todas las propiedades que tenemos de las probetas: Longitudes, áreas, resistencias,  $\% \epsilon$  y  $\% Av$ .



Figura 45. Barras falladas y medición de sus propiedades. Imágenes propias.



BARRAS DE REFUERZO														
N	Li (mm)	Lf (mm)	Δl (mm)	%E	D nominal	D (mm)	Df (mm)	Área nominal	Ao (mm <sup>2</sup> )	Af (mm <sup>2</sup> )	%Av	CARGA SOPORTADA (Tn)	RESISTENCIA FLUENCIA (MPa)	RESISTENCIA TRACCIÓN (MPa)
1	402,00	438,00	36,00	9%	12,70	13,31	10,31	126,68	139,14	83,48	-40%	8,16	430,00	575,54
2	300,00	334,00	34,00	11%	12,70	13,36	7,34	126,68	140,19	42,31	-70%	8,30	415,00	580,54
3	401,00	441,00	40,00	10%	12,70	13,44	8,33	126,68	141,87	54,50	-62%	8,02	400,00	554,36
4	403,00	450,00	47,00	12%	12,70	13,02	10,11	126,68	133,14	80,28	-40%	7,34	425,00	591,72
5	400,00	451,00	51,00	13%	12,70	13,12	10,18	126,68	135,19	81,39	-40%	7,60	400,00	551,40
6	401,00	441,00	40,00	10%	12,70	13,56	8,29	126,68	144,41	53,98	-63%	8,49	410,00	576,72
7	403,00	452,00	49,00	12%	12,70	13,22	10,24	126,68	137,26	82,35	-40%	7,54	395,00	538,73
8	403,00	445,00	42,00	10%	12,70	12,45	8,65	126,68	121,74	58,77	-52%	7,29	425,00	587,12
9	404,00	444,00	40,00	10%	12,70	12,69	10,08	126,68	126,48	79,80	-37%	7,64	416,00	592,74
10	403,00	444,00	41,00	10%	12,70	12,72	10,10	126,68	127,08	80,12	-37%	8,44	458,00	651,70
11	402,00	410,00	8,00	2%	9,53	11,95	7,29	71,26	112,16	41,74	-63%	5,99	460,00	523,75
12	402,00	441,00	39,00	10%	12,70	12,55	8,61	126,68	123,70	58,22	-53%	7,68	424,00	608,97
13	402,00	409,00	7,00	2%	9,53	11,80	7,32	71,26	109,36	42,08	-62%	5,99	470,00	537,15
14	402,00	441,00	39,00	10%	12,70	13,51	8,19	126,68	143,35	52,68	-63%	8,16	420,00	558,62
15	400,00	439,00	39,00	10%	12,70	13,14	9,21	126,68	135,61	66,62	-51%	7,86	410,00	568,53
16	401,00	411,00	10,00	2%	9,53	11,88	7,32	71,26	110,85	42,08	-62%	6,06	475,00	543,34
17	302,00	330,00	28,00	9%	12,70	13,29	7,41	126,68	138,72	43,12	-69%	7,64	400,00	540,07
18	300,00	337,00	37,00	12%	12,70	13,42	7,39	126,68	141,45	42,89	-70%	7,96	398,00	551,71
19	200,00	235,00	35,00	18%	12,70	12,90	10,30	126,68	130,70	83,32	-36%	8,37	465,00	628,24
20	200,00	244,00	44,00	22%	12,70	13,30	9,16	126,68	138,93	65,90	-53%	8,55	397,00	603,73
21	200,00	231,00	31,00	16%	12,70	13,60	7,95	126,68	145,27	49,64	-66%	8,25	405,00	557,13
22	200,00	221,00	21,00	11%	12,70	13,10	10,10	126,68	134,78	80,12	-41%	8,23	430,00	598,65
23	200,00	233,00	33,00	17%	12,70	12,70	9,00	126,68	126,68	63,62	-50%	8,42	445,00	651,67
25	200,00	236,00	36,00	18%	12,70	13,20	6,95	126,68	136,85	37,94	-72%	8,30	445,00	594,63
26	200,00	235,00	35,00	18%	12,70	12,80	8,50	126,68	128,68	56,75	-56%	8,45	470,00	643,81
27	200,00	215,00	15,00	8%	12,70	12,80	9,85	126,68	128,68	76,20	-41%	8,39	467,00	639,62
28	200,00	225,00	25,00	13%	12,70	13,20	9,55	126,68	136,85	71,63	-48%	8,52	400,00	610,40
29	200,00	234,00	34,00	17%	12,70	13,10	9,30	126,68	134,78	67,93	-50%	8,14	440,00	592,46
30	200,00	233,00	33,00	17%	12,70	12,80	10,80	126,68	128,68	91,61	-29%	7,85	442,00	598,07
31	200,00	224,00	24,00	12%	12,70	12,90	9,79	126,68	130,70	75,28	-42%	7,60	397,00	570,07

Figura 46. Barras en estudio y sus características. Imagen propia.

Al examinar las curvas de esfuerzo-deformación, podemos ver que en la zona elástica ocurren varios fenómenos: el primero es que la gráfica en unos casos, no nace en el origen, pero si sobre el eje Y (esfuerzo), indicándonos que durante un mínimo de tiempo, la máquina de ensayo aplicó cierta cantidad de carga a la probeta sin que esta se deformara.

Al fallar la muestra No 7 (una de las más deterioradas visualmente), la máquina de ensayos se apagó durante el la aplicación de la carga, esto debido a que las mordazas que sujetan la probeta se deslizaban al tratar de agarrar al material. La gráfica que arrojó el computador es la siguiente:

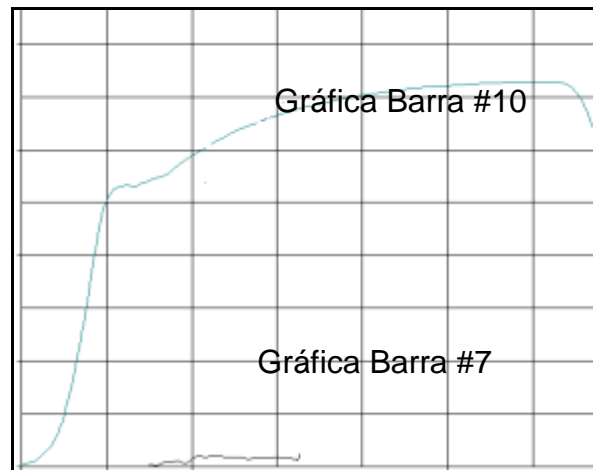


Figura 47. Gráfica barra #7. Imagen propia.

El segundo es que en esta misma zona, la gráfica no toma el valor de una recta, lo que idealmente debería ocurrir; inicia con un salto, tanto en Deformación como en Esfuerzo, seguido por una parábola que tiende a tener la pendiente del Módulo de Elasticidad de material, esto nos indica que antes de la zona plástica existe otra zona en donde al aplicar una carga mínima, se sufren deformaciones altas, y progresivamente estas van disminuyendo hasta ser proporcionales a la carga aplicada. Otra interpretación a este fenómeno puede ser que hay un error en el ensayo, ya sea por falta de calibración de la máquina, o porque la superficie del material no tiene una buena sujeción con las mordazas.

Para realizar el análisis con respecto a las resistencias de las barras, primero hay que señalar que la resistencia a la fluencia exigida por la NTC 2289 es de 420 MPa, y que si la barra se encuentra a 7 Mpa de este valor (osea 413 MPa), se harán reensayos, pero no se rechazará la barra.

De la resistencia a la fluencia obtenida en los 30 ensayos, obtenemos un promedio de 428,86 MPa, lo que nos indica que, visto desde este punto de vista, las barras en estudio cumplen con la resistencia exigida en la norma.

Al detallar los datos de las resistencia, observamos que varían ampliamente con respecto a la media aritmética calculada, con un rango de valores entre los 395 y los 475 MPa. Para calcular la varianza de los datos, sumamos las diferencias al cuadrado entre cada dato de la resistencia a la fluencia y el promedio.

BARRAS DE REFUERZO								
N	RESISTENCIA FLUENCIA Fy (MPa)	Fy- $\bar{X}$	(Fy- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>	428,86 ± 46,97 Mpa	428,86 ± 6,85 Mpa	Extra inferiores	Extra superiores	BARRAS ÚTILES
1	430,00	1,138	1,295	X	X			X
2	415,00	-13,862	192,157	X		X		X
3	400,00	-28,862	833,019	X		X		95%
4	425,00	-3,862	14,916	X	X			X
5	400,00	-28,862	833,019	X		X		95%
6	410,00	-18,862	355,778	X		X		98%
7	395,00	-33,862	1146,640	X		X		94%
8	425,00	-3,862	14,916	X	X			X
9	416,00	-12,862	165,433	X		X		X
10	458,00	29,138	849,019	X			X	X
11	460,00	31,138	969,571	X			X	X
12	424,00	-4,862	23,640	X	X			X
13	470,00	41,138	1692,329	X			X	X
14	420,00	-8,862	78,536	X		X		X
15	410,00	-18,862	355,778	X		X		98%
16	475,00	46,138	2128,709	X			X	X
17	400,00	-28,862	833,019	X		X		X
18	398,00	-30,862	952,467	X		X		95%
19	465,00	36,138	1305,950	X			X	X
20	397,00	-31,862	1015,191	X		X		95%
21	405,00	-23,862	569,398	X		X		96%
22	430,00	1,138	1,295	X	X			X
23	445,00	16,138	260,433	X			X	X
25	445,00	16,138	260,433	X			X	X
26	470,00	41,138	1692,329	X			X	X
27	467,00	38,138	1454,502	X			X	X
28	400,00	-28,862	833,019	X			X	X
29	440,00	11,138	124,054	X			X	X
30	442,00	13,138	172,605	X			X	X
31	397,00	-31,862	1015,191	X		X		95%
$\bar{X}$ =	<b>428,862</b>	<b>S<sup>2</sup>=Varianza= 46,972</b>						
		<b>S=Desviación estandar= 6,854</b>						

Tabla 15. Análisis estadístico de las resistencias. Imágenes propias.

Este dato nos indica que existe una variación de 46,97 MPa con respecto a la media aritmética, decimos que las barras de acero de refuerzo en estudio tiene una resistencia a la fluencia de 428,86 ± 46,97 MPa.

La desviación estandar es la raíz cuadrada de la varianza, y se puede interpretar como la diferencia promedio entre las resistencias y su media aritmética; esto significa que las barras de acero de refuerzo en estudio tienen una resistencia de 428,86 ± 6,85 MPa, y cualquier dato que esté fuera de este rango, se considera como extra, ya sea extra superior o extra inferior. De este modo, tenemos 14 datos considerados como extrinferiores, 5 datos normales, y 11 extrasuperiores.

De las 14 resistencias extrínsecas, 3 están por encima de los 413 MPa, así que tenemos que 21 barras cumplen con la resistencia exigida por la norma, y 9 que no lo hacen. Cabe resaltar que la resistencia de estas últimas es al menos el 94% de la resistencia de fluencia exigida por la norma.

#### *6.2.3.3 Masa de las barras*

Según la NTC 2289, se deben realizar el ensayo de peso de las barras, y verificar si la masa por unidad de longitud es superior al 94% de la nominal. Se tomaron muestras de entre 10 y 15cm de longitud y se determinó su masa mediante una Balanza de Precisión SCIENTECH SA 2100, en el laboratorio de Química de la Universidad Distrital. La balanza tolera masas hasta de 200 gramos, por esta razón se tomaron muestras inferiores a los 20cm de longitud, debido al peso por unidad de longitud de los refuerzos.

Según el fabricante Diaco, la masa por unidad de longitud de las barras tiene una tolerancia del -6 % sobre la masa nominal del acero. Esto corresponde con lo exigido en la NTC 2289 numeral 10.

En la tabla 17 tenemos los valores de la medición de la masa de las barras, así como también su longitud. Estos datos los relacionamos entre sí y luego los comparamos con los valores que obtenemos de la Tabla 1 de la NTC 2289 Ver Anexo A).



Figura 48. Medición de longitud y masa de las barras. Imágenes propias.

BARRA	Masa (g)	Longitud (cm)			L (cm)	L/M	PORCENTAJE
		L1	L2	L3			
<b>Ideal N°4</b>	994,000	100,00	100,00	100,00	100,00	9,94	100,00%
<b>Ideal N°3</b>	560,000	100,00	100,00	100,00	100,00	5,6	100,00%
<b>1</b>	147,088	14,96	14,95	15,00	14,97	9,8255177	98,85%
<b>2</b>	145,136	14,85	15,30	15,00	15,05	9,64358804	97,02%
<b>3</b>	141,831	15,20	15,20	15,10	15,17	9,35149451	94,08%
<b>4</b>	143,300	14,70	14,61	14,79	14,70	9,74829932	98,07%
<b>5</b>	142,541	14,85	15,05	14,90	14,93	9,54515625	96,03%
<b>6</b>	148,730	14,90	14,91	15,00	14,94	9,95737559	100,17%
<b>7</b>	137,960	15,10	14,95	15,05	15,03	9,17694013	92,32%
<b>8</b>	141,857	14,74	14,71	14,80	14,75	9,61742373	96,75%
<b>9</b>	134,977	14,05	14,00	14,08	14,04	9,61146451	96,69%
<b>10</b>	137,514	13,90	13,95	13,90	13,92	9,88124551	99,41%
<b>11 (N°3)</b>	92,365	15,20	15,18	15,20	15,19	6,07931111	108,56%
<b>12</b>	134,439	14,30	14,27	14,30	14,29	9,40790763	94,65%
<b>13 (N°3)</b>	98,568	15,91	15,81	15,91	15,88	6,20900787	110,88%
<b>14</b>	132,560	14,05	14,10	14,05	14,07	9,42369668	94,81%
<b>15</b>	139,330	14,05	14,07	14,01	14,04	9,92143366	99,81%
<b>16 (N°3)</b>	92,951	15,11	15,19	15,21	15,17	6,12729071	109,42%
<b>17</b>	135,580	14,10	14,12	14,15	14,12	9,59971678	96,58%
<b>18</b>	137,786	14,19	14,20	14,19	14,19	9,70779709	97,66%

Tabla 16. Masa de barras en estudio. Fuente: Propia.

Según en punto 10 de la NTC 2289, el peso por unidad de longitud las barras deben ser como mínimo un 94% del obtenido en la Tabla 1 de esa Norma, y no serán rechazadas las barras que presenten un sobrepeso.

Tan solo la barra N° 7 presenta una relación de 92,32%, las otras 17 barras se encuentran por encima del 94% exigido.

#### 6.2.3.4 Doblado de las barras

Para barras de refuerzo No 4, el diámetro del mandril de doblamiento según la Tabla 3 de la NTC 2289, es de 3 veces el diámetro de la barra (38,1 mm aproximadamente), y para que las barras cumplan con lo establecido en la NTC 2289, deben soportar ser dobladas alrededor del mandril, sin que en el radio exterior de la zona doblada se agriete (según dice la NTC 3353, este ensayo no es un método cuantitativo para predecir el funcionamiento de la barra en operaciones de doblamiento).

Se realizó el pliegue de 18 varillas formando un ángulo de  $135^\circ$ , para verificar si al figurarse como refuerzo transversal su superficie externa se ve afectada durante el proceso. La longitud de las muestras fue de más de 15cm según lo fijado en la Tabla A1.2 de la NTC3353.



Figura 49. Barras dobladas sin agrietamientos. Imágenes propias.

En solo la barra No7, la más deteriorada visualmente, se evidenció un agrietamiento paralelo a los resaltes localizados en la curvatura externa de la varilla. En las otras 17 varillas, la superficie externa no sufrió ningún tipo de descascaramiento, fisura o agrietamiento.



Figura 50. Barra 7 agrietada por doblamiento. Imágenes propias.

#### 6.2.3.5 Resaltes

Según la Tabla 1 de la NTC 2289, los resaltes deben cumplir con las siguientes características: promedio de espaciamiento, promedio mínimo de altura y separación entre los extremos de los resaltes, según el número de designación de la barra.

Como medida de qué tan deterioradas están las barras en estudio, se realizó la medición del segundo ítem para los resaltes de la Tabla 1, los otros ítems no se tuvieron en consideración, ya que dependen de la fabricación de la barra y no se ve alterada por el uso de la varilla.



Por cada barra se tomaron 3 medidas para determinar el diámetro d de la barra y la distancia entre resaltes D y el promedio se anotó en las columnas 3 y 4 de la Tabla 17:

BARRAS DE REFUERZO					
N	d NOMINAL (mm)	d BARRA (mm)	D (mm) (NTC 2289 ANEXOB)	D-d (mm)	ALTURA PROMEDIO DE RESALTES (D-d)/2 (mm)
1	12,70	11,67	13,31	1,64	0,82
2	12,70	11,77	13,36	1,59	0,80
3	12,70	11,89	13,44	1,55	0,77
4	12,70	11,72	13,02	1,30	0,65
5	12,70	11,71	13,12	1,41	0,70
6	12,70	12,07	13,56	1,49	0,75
7	12,70	11,76	13,22	1,46	0,73
8	12,70	11,42	12,45	1,03	0,52
9	12,70	11,50	12,69	1,19	0,60
10	12,70	11,40	12,72	1,32	0,66
11	9,53	9,40	11,95	2,55	1,28
12	12,70	11,54	12,55	1,01	0,51
13	9,53	9,51	11,80	2,29	1,15
14	12,70	12,01	13,51	1,50	0,75
15	12,70	11,79	13,14	1,35	0,68
16	9,53	9,28	11,88	2,60	1,30
17	12,70	11,81	13,29	1,48	0,74
18	12,70	11,56	13,42	1,86	0,93
19	12,70	11,50	12,90	1,40	0,70
20	12,70	12,00	13,30	1,30	0,65
21	12,70	11,90	13,60	1,70	0,85
22	12,70	11,30	13,10	1,80	0,90
23	12,70	11,60	12,70	1,10	0,55
25	12,70	11,70	13,20	1,50	0,75
26	12,70	11,70	12,80	1,10	0,55
27	12,70	11,60	12,80	1,20	0,60
28	12,70	11,70	13,20	1,50	0,75
29	12,70	11,80	13,10	1,30	0,65
30	12,70	11,50	12,80	1,30	0,65
31	12,70	11,10	12,90	1,80	0,90

Tabla 17. Medición de resaltes. Fuente: Propia.

La columna 6 de la Tabla nos muestra la altura promedio de resaltes de cada barra en estudio. En esta podemos observar que todas las barras cumplen con lo establecido en la Tabla 1 de la NTC 2289, donde dice que para barras No 4, el Promedio mínimo de altura es de 0.51mm, y para las barras No3, debe ser mínimo 0.38 mm.

### 6.2.3.6 Acabado

Para determinar el estado en que superficialmente se encuentran las barras en estudio, se tomó como referencia la norma ISO 8501[10], la cual clasifica el grado de corrosión de un metal dependiendo del estado de su superficie. La clasificación identifica 4 niveles o grados de corrosión que se encuentran en el acero no pintado ni revestido.

En la Tabla 18 se detalla la superficie especificada en la norma y cuáles barras estudiadas pertenecen a cada nivel. También según el nivel de corrosión que tengan las barras en estudio, debe realizarse un procedimiento para el mejoramiento superficial de las barras.

GRADO	SUPERFICIE	DESCRIPCIÓN	BARRAS EN ESTUDIO	
A		Superficie del acero cubierto por película normal de laminación, sin nada de corrosión.	30	
			12	
			3	
			6	
			14	
			19	
B		Superficie de acero con pocas manchas de oxidación, y donde la capa de laminación empieza a perderse.	1	23
			4	25
			5	29
			10	16
			12	
			13	26
C		Superficie de acero corroída, la capa de laminación está muy suelta y se retira fácilmente.	22	27
			2	28
			8	31
			9	15
			11	21
			18	20
D		Superficie con corrosión generalizada, sin capa de laminación, con picadas o cavidades.	7	
			27	

Figura 51. Grado de corrosión de barras en estudio según ISO8501, 2011.


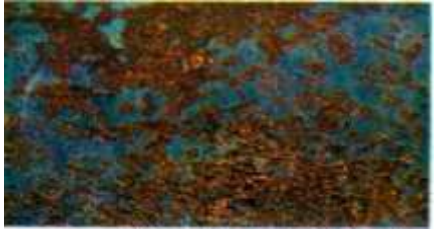


GRADO	SUPERFICIE	REPARACIÓN
A		Limpieza por chorro abrasivo ligero.
B		Limpieza por chorro abrasivo intenso.
		Limpieza manual y mecánica intensa.
C		Limpieza por chorro abrasivo a fondo.
		Limpieza manual y mecánica a fondo.
D		Limpieza por chorro abrasivo a fondo.
		Limpieza manual y mecánica intensa.

Figura 52. Limpieza según grado de corrosión. ISO 8501, 2011.

Hay que tener en cuenta que sin importar el método de limpieza efectuado sobre la superficie de las barras, no es necesaria a eliminación total de la película de óxido que tengan las barras.

#### 6.2.4 Análisis de resultados:

Realizamos el chequeo de las propiedades de las barras y así sabemos qué barras cumplen con las características mínimas exigidas por la NTC 2289, que a su vez cumplen con la NSR-10:

BARRAS DE REFUERZO									
N	ALTURA DE RESALTES (D-d)/2 (mm)	CUMPLE	RESISTENCIA FLUENCIA Fy (MPa)	BARRAS ÚTILES	GRADO DE CORROSIÓN	MASA POR UNIDAD DE LONGITUD (g/cm)	PORCENTAJE DEL PESO NOMINAL	CUMPLE	DOBLADO
1	0,82	SI	430,00	SI	B	9,826	99%	SI	SIN GRIETAS
2	0,80	SI	415,00	SI	C	9,644	97%	SI	SIN GRIETAS
3	0,77	SI	400,00	95%	A	9,351	94%	SI	SIN GRIETAS
4	0,65	SI	425,00	SI	B	9,748	98%	SI	SIN GRIETAS
5	0,70	SI	400,00	95%	B	9,545	96%	SI	SIN GRIETAS
6	0,75	SI	410,00	98%	A	9,957	100%	SI	SIN GRIETAS
7	0,73	SI	395,00	94%	D	9,177	92%	NO	CON GRIETAS
8	0,52	SI	425,00	SI	C	9,617	97%	SI	SIN GRIETAS
9	0,60	SI	416,00	SI	C	9,611	97%	SI	SIN GRIETAS
10	0,66	SI	458,00	SI	B	9,881	99%	SI	SIN GRIETAS
11	1,28	SI	460,00	SI	C	6,079	109%	SI	SIN GRIETAS
12	0,51	SI	424,00	SI	B	9,408	95%	SI	SIN GRIETAS
13	1,15	SI	470,00	SI	B	6,209	111%	SI	SIN GRIETAS
14	0,75	SI	420,00	SI	A	9,424	95%	SI	SIN GRIETAS
15	0,68	SI	410,00	98%	C	9,921	100%	SI	SIN GRIETAS
16	1,30	SI	475,00	SI	B	6,127	109%	SI	SIN GRIETAS
17	0,74	SI	400,00	SI	B	9,600	97%	SI	SIN GRIETAS
18	0,93	SI	398,00	95%	C	9,708	98%	SI	SIN GRIETAS
19	0,70	SI	465,00	SI	A				
20	0,65	SI	397,00	95%	C				
21	0,85	SI	405,00	96%	C				
22	0,90	SI	430,00	SI	C				
23	0,55	SI	445,00	SI	B				
25	0,75	SI	445,00	SI	B				
26	0,55	SI	470,00	SI	B				
27	0,60	SI	467,00	SI	D				
28	0,75	SI	400,00	SI	C				
29	0,65	SI	440,00	SI	B				
30	0,65	SI	442,00	SI	A				
31	0,90	SI	397,00	95%	C				




Tabla 18. Chequeo de características. Fuente: Propia.

## 7. CONCLUSIONES

- De acuerdo a las diferentes exigencias contenidas en la NTC 2289, las barras de acero de refuerzo en estudio son aptas para ser utilizadas como material de refuerzo estructural, a excepción de aquellas que presenten un grado de oxidación D.
- Las barras en estudio que cumplen con las características exigidas por la Norma, solo podrán ser utilizadas en construcción siempre y cuando se cumpla con las recomendaciones trazadas en esta investigación.
- La resistencia a tracción de las barras de ensayo es de  $428,86 \pm 46,97$  MPa.
- Proveedores como Diaco o Acerías Paz del Río (Ver Anexo B) especifican una resistencia a la fluencia de 420MPa, sin embargo, una de las barras en estudio(marcada con el número 30) tuvo una resistencia de 442 MPa. Esta barra fue adquirida en Homecenter y superficialmente estaba en excelente estado.
- Las barras con grado de oxidación D no cumplen con el peso por unidad de longitud, las propiedades de doblamiento y de resistencia a la fluencia que exige la Norma.

## 8. RECOMENDACIONES

- Por seguridad, las barras únicamente serán utilizadas en el Grupo de uso I: estructuras de ocupación normal [8].
- Antes de utilizar las barras de refuerzo, se deberá limpiar cualquier impureza como aceite, lodo, mortero, concreto y otros recubrimientos que no sirvan al material como capa pasivante. La limpieza se realizará según lo indicado en la Figura 52, teniendo en cuenta la norma ISO 8501.
- Luego se deberán proteger las barras de refuerzo que han sido previamente limpiadas, por medio de sustancias anticorrosivas, como puentes de adherencia, morteros especiales o pinturas epóxicas, con el fin de aislar la superficie del acero ante una futura oxidación.
- A la hora de comprar las barras, se deberán escoger las que mejor apariencia tengan, barras con oxidación moderada, sin pliegues o fisuras, con venas y resaltes en el mejor estado posible.
- Las barras de refuerzo contempladas en esta investigación, no serán utilizadas como acero de preesfuerzo, ya que este exige tener un material en excelente condiciones.
- Las barras con grado de oxidación D no deberán usarse como material de refuerzo estructural, su utilización será únicamente en elementos no estructurales que no soporten mayor cantidad de carga.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] BIO SERVICE (1º: 2011: Paris) “Service Contract on Management of Construction and demolition Waste”, Comisión Europea.
- [2] SDA, Resolución 2397. Por la cual se regula técnicamente el tratamiento y/o aprovechamiento de escombros en el Distrito Capital, Secretaria Distrital de Ambiente, Bogotá, 2011
- [3] PRIMER FORO INTERNACIONAL PARA LA GESTION Y CONTROL DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN –RCD-(7º: 2012: Bogotá). MANUAL DE MANEJO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION PARA OBRAS EN BOGOTÁ. Carlos César Parrado Delgado.
- [4] CASTAÑO, Jesús; RODRIGUEZ, Rodrigo; LASSO, Leonardo; CABRERA, Adriana y OCAMPO, Manuel. Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. En: Revista Tecnura: Publicación institucional de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Vol. 17, No. 38 (Dic. 2013); P. 121-129.
- [5] SEMINARIO INTERNACIONAL GESTIÓN TEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS EXPORESIDUOS (2º: 2013: Bogotá). PROPUESTA DE AJUSTE AL PLAN MAESTRO PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS DE BOGOTA (2013-2027). Secretaría Distrital de Ambiente.
- [6] CASTELLANOS QUINTERO, Omar Hernán. Comportamiento estructural del acero de refuerzo en barras número 2, 3 y 4, para su reutilización en vivienda de uno y dos pisos, proveniente de demoliciones. Bogotá D.C., 2012. 192p. Tesis (Ingeniero Civil). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad Tecnológica.
- [6] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC 2289: Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, para refuerzo de concreto. Bogotá: ICONTEC, 2007. p. 27
- [7] ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, Decreto 523. Por el cual se adopta la microzonificación sísmica de Bogotá D.C., Bogotá, 2010.

- [8] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente: NSR-10 TÍTULO A y C. Bogotá: Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes, 2010, p. 1628.
- [9] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC 3353: Siderurgia. Definiciones y métodos para los ensayos mecánicos de productos de acero. Bogotá: ICONTEC, 1997. p. 98
- [10] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 8501-1: Preparation of steel substrates before application of paints and related products -- Visual assessment of surface cleanliness. Maia (Portugal): Corporacao Industrial do Norte, 2011. p. 74



## ANEXOS

### ANEXO A

Tabla 1. Número de designación de las barras corrugadas y rollos, peso (masa) nominal, dimensiones nominales y requisitos de los resaltes

Número de designación de la barra <sup>A</sup>	Peso (masa) nominal lb/pie (kg/m)	Dimensiones nominales <sup>B</sup>			Requisitos de los resaltes, pulgadas (mm)		
		Diámetro pulgada (mm)	Área de la sección transversal pulgadas <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Perímetro pulgadas (mm)	Promedio máximo del espaciamiento	Promedio mínimo de altura	Separación entre los extremos de los resaltes (máximo 12,5 % del perímetro nominal)
2	0,167 (0,249)	0,250 (6,35)	0,049 (31,67)	0,785 (19,95)	0,175 (4,45)	0,010 (0,25)	0,098 (2,49)
3	0,376 (0,560)	0,375 (9,5)	0,11 (71)	1,178 (29,9)	0,262 (6,7)	0,015 (0,38)	0,143 (3,6)
4	0,668 (0,994)	0,500 (12,7)	0,20 (129)	1,571 (39,9)	0,350 (8,9)	0,020 (0,51)	0,191 (4,9)
5	1,043 (1,552)	0,625 (15,9)	0,31 (199)	1,963 (49,9)	0,437 (11,1)	0,028 (0,71)	0,239 (6,1)
6	1,502 (2,235)	0,750 (19,1)	0,44 (284)	2,356 (59,8)	0,525 (13,3)	0,038 (0,97)	0,286 (7,3)
7	2,044 (3,042)	0,875 (22,2)	0,60 (387)	2,749 (69,8)	0,612 (15,5)	0,044 (1,12)	0,334 (8,5)
8	2,670 (3,973)	1,000 (25,4)	0,79 (510)	3,142 (79,8)	0,700 (17,8)	0,050 (1,27)	0,383 (9,7)
9	3,400 (5,060)	1,128 (28,7)	1,00 (645)	3,544 (90,0)	0,790 (20,1)	0,056 (1,42)	0,431 (10,9)
10	4,303 (6,404)	1,270 (32,3)	1,27 (819)	3,990 (101,3)	0,889 (22,6)	0,064 (1,63)	0,487 (12,4)
11	5,313 (7,907)	1,410 (35,8)	1,56 (1006)	4,430 (112,5)	0,987 (25,1)	0,071 (1,80)	0,540 (13,7)
14	7,65 (11,38)	1,693 (43,0)	2,25 (1452)	5,32 (135,1)	1,185 (30,1)	0,085 (2,16)	0,648 (16,5)
18	13,60 (20,24)	2,257 (57,3)	4,00 (2581)	7,09 (180,1)	1,58 (40,1)	0,102 (2,59)	0,864 (21,9)

<sup>A</sup> Los números de las barras están basados en octavos de pulgada y corresponden al diámetro nominal de las barras.

<sup>B</sup> Las dimensiones nominales de las barras corrugadas son equivalentes a las de las barras lisas que tengan el mismo peso (masa) nominal por pie (metro) de longitud.

NOTA 1 Para otros diámetros véase la Tabla A.1.

NOTA 2 La barra número 9 tiene un área de sección transversal equivalente al área de la sección transversal de un cuadrado de 1 pulgada; número 10, al área de la sección transversal de un cuadrado de 1 1/8 de pulgada; número 11, al área de la sección transversal de un cuadrado de 1 1/4 de pulgada; número 14, al área de la sección transversal de un cuadrado de 1 1/2 de pulgada y la número 18, al área de la sección transversal de un cuadrado de 2 pulgadas.

## ANEXO B



### BARRAS CORRUGADAS

Para ser usadas en todo tipo de construcciones sismoresistentes

#### PROPIEDADES MECÁNICAS

UNIDADES	LÍMITE DE FLUENCIA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	ALARGAMIENTO EN 200 mm		
			Designación	% min	
kgf/mm <sup>2</sup>	42 - 55	56 min	No. de octavos	2 a 6	14
lbf/pulg <sup>2</sup>	60,000 - 78,000	80,000 min	de pulgada	7 a 10	12
MPa	420 - 540	550 min	en mm	6M a 12 M	14

Producto con sello de calidad ICONTEC bajo norma NTC 2289 y certificación ISO 9001

Sabía que?...  
Nuestras Barras y Rollos corrugados son producidos con acero micro aleado (mejorado) teniendo un óptimo desempeño estructural (doblado, soldabilidad, elasticidad).

#### DIMENSIONES

BARRAS EN PULGADAS		LONGITUD
Designación No.	Pulgadas	Metros
2	1/4	6 y 12
3	3/8	6 y 12
4	1/2	6 y 12
5	5/8	6 y 12
6	3/4	6 y 12
7	7/8	6 y 12
8	1	6 y 12
10	1 1/4	6 y 12



#### USOS

Para refuerzo de estructuras de concreto en todo tipo de proyectos de construcción.



#### IDENTIFICACIÓN DE LAS BARRAS SISMORRESISTENTES

