

# Análisis comparativo de la calidad del acero de refuerzo distribuido en Boyacá

## Comparative Analysis of the Quality of Reinforcing Steel Bars Distributed in Boyacá

Fecha de recepción: 8 de septiembre de 2009  
Fecha de aprobación: 3 de diciembre de 2009

Jimmy Vergara Silva\*  
Óscar Javier Gutiérrez Junco\*\*

### Resumen

Presenta los resultados del análisis comparativo de barras de acero de refuerzo, según las exigencias de la Norma Técnica Colombiana NTC 2289 [1], realizado a cinco marcas diferentes distribuidas para la industria de la construcción en Boyacá. Inicialmente se caracterizaron las barras de acero mediante ensayos, para determinar su composición química y sus propiedades físicas y mecánicas; las características de la fractura del acero de refuerzo se observaron con el microscopio electrónico de barrido (MEB). Adicionalmente, se analizaron muestras con microscopio óptico, con técnicas de espectrometría para observar y determinar las características del metal base de las probetas. Los resultados indican que la calidad del acero de refuerzo distribuido en Boyacá cumple en un alto porcentaje con las exigencias sismo-resistentes para construcción; sin embargo, es importante que los constructores realicen control de calidad.

**Palabras clave:** Acero de refuerzo, Control de Calidad, NTC 2289.

### Abstract

It shows the steel reinforcing bars comparative analysis's results, according to the Colombian Technical Standard NTC 2289's requirements, for five different brands used in the construction industry of Boyacá. Initially, the steel bars characterization was carried out by tests to determine their chemical composition and physical and mechanical properties. The reinforcing steel bars fracture's characteristics were observed by using a scanning electron microscope (SEM). In addition, samples were analyzed by an optical microscope with spectroscopy techniques to monitor and establish the sample base metal's characteristics. The results indicate that the quality of the reinforcing steel bars sold in Boyacá meet in a high percentage with the requirements for earthquake resistant construction; however, it is necessary to exert a quality control by the builders.

**Key words:** Reinforcing Steel bars, Quality Control, NTC-2289.

\* Ingeniero Civil, Especialista en Estructuras (candidato), de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Afiliado al Grupo de Investigación en Construcción Antisísmica (GICA) de la UPTC. [ing\\_jvs@hotmail.com](mailto:ing_jvs@hotmail.com)

\*\* Ingeniero Civil, Especialista en Estructuras, Magister en Ingeniería Civil, Estructuras y Sísmica. Docente investigador del Grupo de Investigación en Construcción Antisísmica (GICA), de la UPTC. [javier.gutierrez@uptc.edu.co](mailto:javier.gutierrez@uptc.edu.co)

## I. INTRODUCCIÓN

Las barras de acero de construcción se han convertido en un material determinante para la adecuada respuesta sismo-resistente de las obras civiles; en el mercado regional existen diversas empresas que ofrecen el producto, cuya calidad debe corresponder a las exigencias establecidas en la reglamentación colombiana. La Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Uptc), con el soporte del Grupo de Investigación en Construcción Antisísmica (GICA) y utilizando los equipos con que cuenta la Universidad, realizó una evaluación técnica del acero de refuerzo, para establecer si cumple con las exigencias de las Normas Técnicas Colombianas (NTC 2289). Se presentan en este artículo los resultados de dicha evaluación, para que el gremio de la construcción y el sector de la producción los conozcan y, además, sepan de la existencia en la Uptc de equipos apropiados para el análisis y de la posibilidad de hacer uso de ellos, con el fin de garantizar una mejor calidad del producto.

## II. GENERALIDADES

La especificación ASTM A706/A706M [2], en el capítulo 1, denominado *alcance*, en el numeral 1.1, trata sobre barras de acero de baja aleación, lisas y corrugadas, en tramos cortados o en rollos, para refuerzo de concreto. En el numeral 1.2 define que el grado de las barras son de un único nivel de límite de fluencia mínimo: a saber, 60.000 psi (420 MPa), designado como Grado 60 (420). En el numeral 1.4, esta especificación

limita las propiedades mecánicas para brindar las características deseadas de fluencia/tracción.

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 [3] establece en el numeral C.3.5.4 las limitaciones para el refuerzo liso, que sólo se permite en estribos, refuerzo de retracción y temperatura o refuerzo en espiral, y *no puede utilizarse como refuerzo longitudinal a flexión*, excepto cuando conforma mallas electrosoldadas. Por lo tanto, se siguieron las exigencias de la Norma Técnica Colombiana NTC 2289 [1] para barras (y rollos) corrugadas de acero de baja aleación o termotratadas para refuerzo de concreto.

## III. METODOLOGÍA

Cumpliendo con lo establecido en la norma NTC 2289 [1], se utilizaron lotes de 10 probetas de acero de refuerzo que fueron preparadas con el producto de cada una de las cinco marcas comerciales, para un total de 50 probetas que fueron ensayadas para caracterización de dimensionamiento y pesos. Del total de las probetas se tomaron 30, con lotes de 6 barras por marca, que se fallaron a tracción por carga axial utilizando la Máquina Universal de la Uptc (figura 1), con una capacidad de 500 KN. Para el ensayo se siguieron los lineamientos del formato adaptado del informe del proceso de acreditación de la Máquina Universal [4], en el cual se identifica el tipo de ensayo, las características del acero, la longitud, el peso, el diámetro nominal, las propiedades mecánicas y el gráfico de la curva esfuerzo-deformación.



Figura 1. Máquina Universal

La composición química se determinó a través del Espectrómetro de Emisión por Chispa, utilizando cinco muestras y realizando en cada una de ellas dos quemas, para obtener un análisis químico promedio; de esta forma se pudo confirmar la composición química de los aceros evaluados. Adicionalmente, se hicieron algunos ensayos de dureza y análisis metalográficos y morfológicos con microscopio, que permitieron observar las propiedades de la estructura del acero; igualmente, mediante el empleo del microscopio óptico se observó la estructura que se

revela al someterlo al reactivo de ataque. Algunos de los equipos de la Universidad que permitieron el desarrollo del presente trabajo fueron los siguientes:

- Estereoscopio (figura 2)
- Fluorescencia de Rayos X (figura 3)
- Espectrómetro de Emisión por Chispa (figura 4)
- Microscopio Óptico (figura 5)
- Durómetro (figura 6)
- Microscopio Electrónico de Barrido (figura 7)



Figura 2. Estereoscopio



Figura 3. Fluorescencia de Rayos X



Figura 4. Espectrómetro de Emisión por Chispa

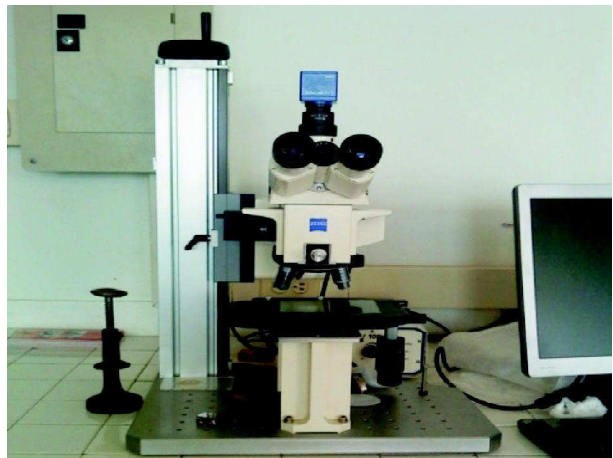


Figura 5. Microscopio Óptico



Figura 6. Durómetro



Figura 7. Microscopio Electrónico de Barrido

#### IV. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

##### A. Dimensionamiento

Las barras que se van a ensayar deben estar limpias; para remover óxidos e impurezas externas de las probetas, se realizó un cepillado con grata metálica, como se muestra en la figura 8. Con el objetivo de

obtener medidas más exactas del peso de las probetas y de que la medida longitudinal tenga un margen de error mínimo, se pulieron los sitios de corte, como se evidencia en la figura 9.

Se realizó la medición de los resaltes para el corrugado del acero, como se observa en la figura 10, cuyos resultados se presentan en la tabla 1.



Figura 8. Limpieza de las barras



Figura 9. Cortes transversales rectos

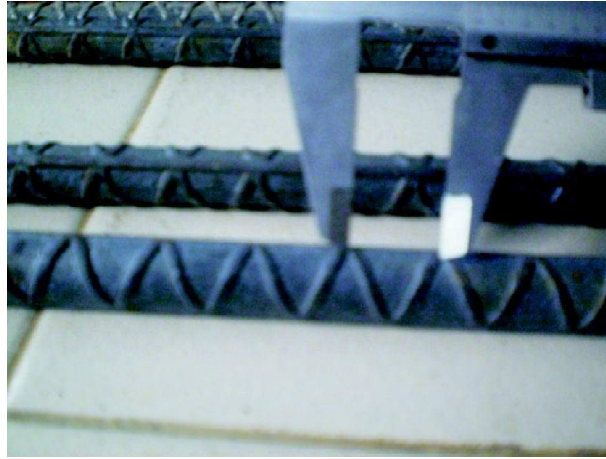


Figura 10. Medición de separación entre resaltes

Tabla 1. Requisitos de resaltes y espaciamiento NTC 2289 vs. ensayo

| Ítem       | Número de designación | Peso (masa) nominal | Dimensiones nominales |                                | Requisitos de los resaltes     |                           |  |
|------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--|
|            |                       |                     | nominal               | Área de la sección transversal | Prom. máximo del espaciamiento | Prom. mínimo de la altura | Ancho de las venas longitudinal (máx. 12.5% del perímetro nominal) |
|            |                       |                     | mm                    | cm <sup>2</sup>                | Mm                             | mm                        | mm   |
| NTC 2289   | 4                     | 0.994               | 12.7                  | 1.290                          | 8.89                           | 0.508                     | 4.85   |
| NTC 2289   | 12M                   | 0.887               | 12                    | 1.131                          | 8.4                            | 0.48                      | 4.71   |
| Muestra 01 | 4                     | 0.962               | 12.50                 | 1.23                           | 8.05                           | 0.90                      | 2.51   |
| Muestra 02 | 4                     | 0.965               | 12.51                 | 1.23                           | 6.95                           | 0.81                      | 2.36   |
| Muestra 03 | 12M                   | 0.773               | 11.20                 | 0.98                           | 7.96                           | 0.63                      | 2.43   |
| Muestra 04 | 4                     | 0.946               | 12.39                 | 1.21                           | 7.32                           | 0.58                      | 1.93   |
| Muestra 05 | 4                     | 0.955               | 12.45                 | 1.22                           | 7.98                           | 1.31                      | 2.94   |

Como se puede observar, el promedio del peso nominal y el diámetro nominal de las barras está cerca al límite mínimo exigido por la norma NTC 2289. Igualmente, cumplen con los requisitos de altura mínima y ancho de las venas. Las probetas cumplen también con el promedio máximo del espaciamiento, teniendo en cuenta que se fabrican barras con resaltes que van paralelamente y en zigzag.

### B. Ensayo a tracción

Para este ensayo se emplearon cinco probetas con acero de cada una de las marcas comerciales, cuatro

muestras en barras de ½” y una en número 12M, las cuales se numeraron del 01 al 05, para diferenciar cada lote de barras. En la figura 11 aparece el total de muestras falladas en la máquina universal.

De los datos obtenidos de la máquina universal se determinaron las características mecánicas promedio de las muestras por lote, que se pueden observar en las tablas 2, 3, 4, 5 y 6. Luego se halló el esfuerzo y la deformación, cuyos valores se representan en la gráfica esfuerzo-deformación, en las figuras 12, 13, 14, 15 y 16, cuyos diagramas evidencian el comportamiento típico de un acero dúctil al ser sometido a tracción.



Figura 11. Muestras ensayadas a tracción

Tabla 2. Características mecánicas muestra 01

| Características mecánicas                              |        |
|--|--------|
| Esfuerzo de Fluencia $f_y$ (MPa)                       | 457,6  |
| Resistencia a la Tracción $f_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 638,9  |
| Relación $f_u/f_y$                                     | 1,4    |
| % Elongación (Mín. 14%)                                | 21,0   |
| % Constricción   | 33,3   |
| Módulo de elasticidad medido (MPa)                     | 217740 |



Figura 12. Gráfico de la curva esfuerzo-deformación probetas muestra 01

Tabla 3. Características mecánicas muestra 02

| Características mecánicas             |        |
|---------------------------------------|--------|
| Esfuerzo de Fluencia $f_y$ (MPa)      | 462.8  |
| Resistencia a la Tracción $f_u$ (MPa) | 628.6  |
| Relación $f_u/f_y$                    | 1.4    |
| % Elongación (Mín. 14%)               | 21.0   |
| % Constricción                        | 17.9   |
| Módulo de elasticidad medido (MPa)    | 269190 |

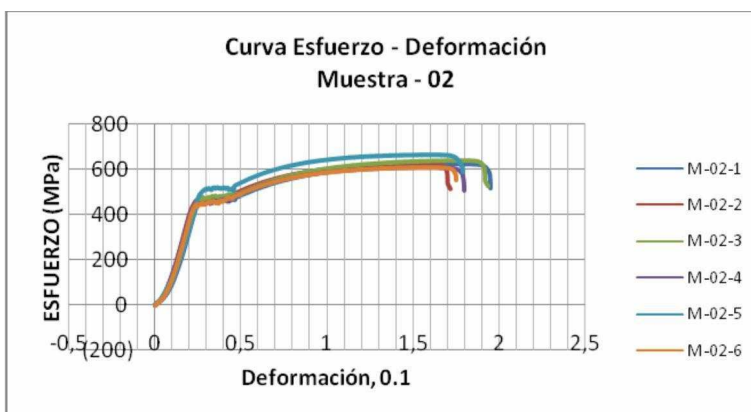


Figura 13. Gráfico de la curva esfuerzo-deformación probetas muestra 02

Tabla 4. Características mecánicas muestra 03

| Características mecánicas             |        |
|---------------------------------------|--------|
| Esfuerzo de Fluencia $f_y$ (MPa)      | 498.2  |
| Resistencia a la Tracción $f_u$ (MPa) | 659.7  |
| Relación $f_u/f_y$                    | 1.3    |
| % Elongación (Mín. 14%)               | 21.0   |
| % Constricción                        | 22.1   |
| Módulo de elasticidad medido (MPa)    | 244680 |

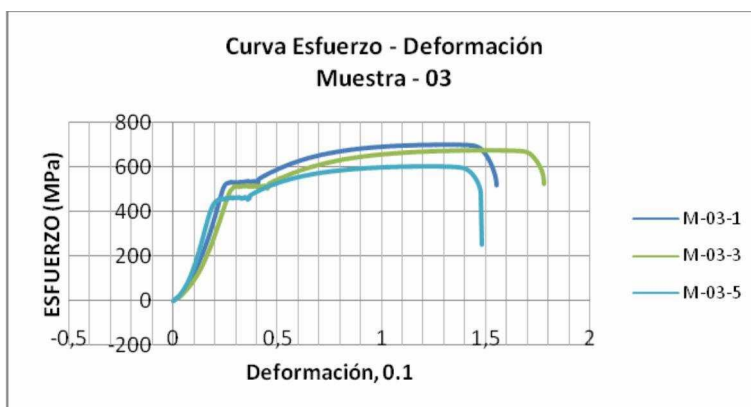


Figura 14. Gráfico de la curva esfuerzo-deformación probetas muestra 03

Tabla 5. Características mecánicas muestra 04

| Características mecánicas             |        |
|---------------------------------------|--------|
| Esfuerzo de Fluencia $f_y$ (MPa)      | 447.8  |
| Resistencia a la Tracción $f_u$ (MPa) | 665.4  |
| Relación $f_u/f_y$                    | 1.5    |
| % Elongación (Mín. 14%)               | 21.0   |
| % Constricción                        | 25.8   |
| Módulo de elasticidad medido (MPa)    | 235020 |

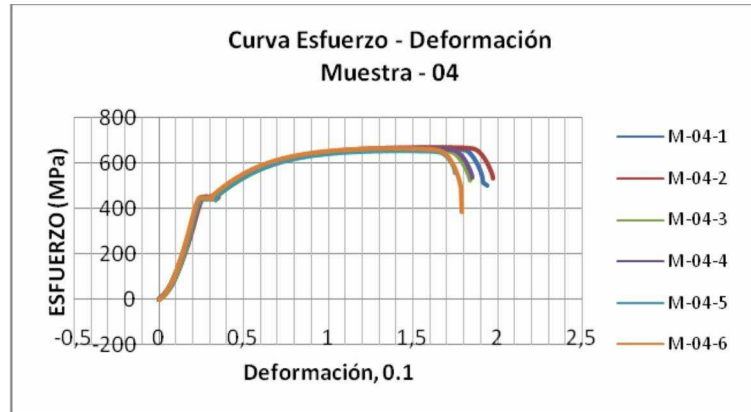


Figura 15. Gráfico de la curva esfuerzo-deformación probetas muestra 04

Tabla 6. Características mecánicas muestra 05

| Características mecánicas             |        |
|---------------------------------------|--------|
| Esfuerzo de Fluencia $f_y$ (MPa)      | 425.1  |
| Resistencia a la Tracción $f_u$ (MPa) | 698.7  |
| Relación $f_u/f_y$                    | 1.6    |
| % Elongación (Mín. 14%)               | 21.0   |
| % Constricción                        | 26.8   |
| Módulo de elasticidad medido (MPa)    | 256440 |

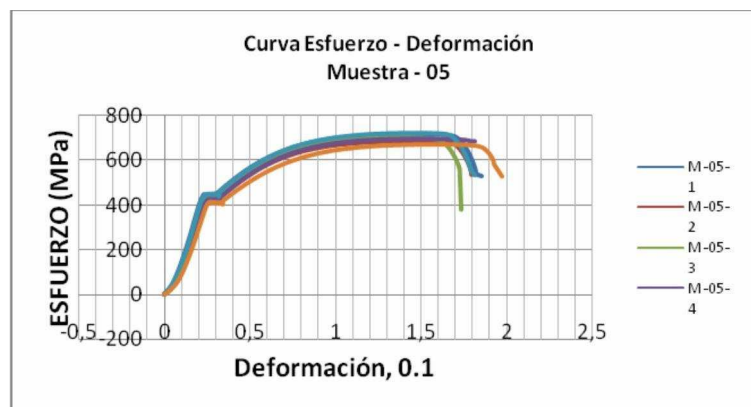


Figura 16. Gráfico de la curva esfuerzo-deformación probetas muestra 05



**Análisis estadístico Ensayo a Tracción.** Se realizó un análisis estadístico de las barras ensayadas a

tracción; sus resultados se muestran en la tabla 7, con un total de 27 probetas falladas.

Tabla 7. Valores estadísticos para las barras ensayadas a tracción

| Datos         | Designación | Fy (MPa) | Fu (MPa) | Relación Fu/Fy | 1,25*Fy (MPa) |
|---------------|-------------|----------|----------|----------------|---------------|
| 1             | M-01-1      | 476.2    | 656.0    | 1.38           | 595,26        |
| 2             | M-01-2      | 456.3    | 639.3    | 1.40           | 570,41        |
| 3             | M-01-3      | 436.2    | 646.2    | 1.48           | 545,22        |
| 4             | M-01-4      | 460.8    | 633.6    | 1.37           | 575,96        |
| 5             | M-01-5      | 463.0    | 635.1    | 1.37           | 578,70        |
| 6             | M-01-6      | 453.1    | 623.2    | 1.38           | 566,36        |
| 7             | M-02-1      | 453.3    | 624.1    | 1.38           | 566,57        |
| 8             | M-02-2      | 456.8    | 626.6    | 1.37           | 570,95        |
| 9             | M-02-3      | 466.1    | 639.4    | 1.37           | 582,62        |
| 10            | M-02-4      | 448.1    | 610.3    | 1.36           | 560,12        |
| 11            | M-02-5      | 511.8    | 664.4    | 1.30           | 639,73        |
| 12            | M-02-6      | 440.8    | 606.9    | 1.38           | 550,94        |
| 13            | M-03-1      | 526.8    | 698.9    | 1.33           | 658,52        |
| 14            | M-03-3      | 511.4    | 675.0    | 1.32           | 639,28        |
| 15            | M-03-5      | 456.4    | 605.1    | 1.33           | 570,44        |
| 16            | M-04-1      | 446.1    | 665.9    | 1.49           | 557,58        |
| 17            | M-04-2      | 452.8    | 672.1    | 1.48           | 566,06        |
| 18            | M-04-3      | 443.5    | 662.0    | 1.49           | 554,39        |
| 19            | M-04-4      | 451.5    | 667.3    | 1.48           | 564,32        |
| 20            | M-04-5      | 444.4    | 657.6    | 1.48           | 555,52        |
| 21            | M-04-6      | 448.4    | 667.3    | 1.49           | 560,51        |
| 22            | M-05-1      | 441.7    | 714.8    | 1.62           | 552,18        |
| 23            | M-05-2      | 421.5    | 693.4    | 1.65           | 526,90        |
| 24            | M-05-3      | 417.2    | 686.3    | 1.65           | 521,53        |
| 25            | M-05-4      | 422.4    | 694.7    | 1.64           | 527,98        |
| 26            | M-05-5      | 446.7    | 724.4    | 1.62           | 558,37        |
| 27            | M-05-6      | 403.5    | 672.6    | 1.67           | 504,44        |
| MEDIA         |             | 453,08   | 657,33   | 1.45           | 566,36        |
| DESVIACIÓN    |             | 27,64    | 32,31    | 0.12           | 34,55         |
| MÍNIMO        |             | 403,55   | 605,13   | 1.30           | 504,44        |
| MÁXIMO        |             | 526,82   | 724,43   | 1.67           | 658,52        |
| V             |             | 0,06     | 0,05     | 0.08           | 0,06          |
| PERCENTIL 5%  |             | 417,83   | 607,94   | 1.32           | 522,29        |
| PERCENTIL 95% |             | 511,68   | 710,14   | 1.66           | 639,60        |

Según la norma NTC 2289, el esfuerzo mínimo de fluencia debe ser de 420 MPa, y el máximo, de 550 MPa. El valor mínimo de esfuerzo de fluencia obtenido en los ensayos fue de 403.5 MPa, y el máximo, de 526.82 MPa, lo cual indica que el total de las barras cumplen cabalmente con el rango máximo. Así mismo, se observa que las muestras

M-05-3 y M-05-6 están por debajo del valor mínimo 1% y 4%, respectivamente. El valor arrojado de la media es de 453.08 MPa, indicando que el muestreo se encuentra dentro de los parámetros mínimos y máximos de la norma NTC 2289, con un coeficiente de desviación es de 0.06.

El esfuerzo último, de acuerdo con la NTC 2289, debe ser mínimo de 550 MPa, y mayor a 1.25 veces el esfuerzo de fluencia; de los ensayos de las probetas se obtuvo un esfuerzo último mínimo de 605.13 Mpa, mayor que los dos parámetros correspondientes a 550 Mpa y  $1.25 \cdot F_y = 535.74$

Mpa. El valor de la media fue de 657.3 MPa, con una desviación de 0.05.

De las muestras tipo M-03 se fallaron probetas provenientes del despunte, y se obtuvieron los resultados de la tabla 8.

Tabla 8. Valores estadísticos para las barras de despunte

| Datos         | Designación | Fy (MPa) | Fu (MPa) |
|---------------|-------------|----------|----------|
| 1             | M-03-2      | 235.2    | 340.2    |
| 2             | M-03-4      | 269.7    | 412.7    |
| 3             | M-03-6      | 265.8    | 393.1    |
| MEDIA         |             | 283.06   | 256.42   |
| DESVIACIÓN    |             | 38.38    | 18.89    |
| MÍNIMO        |             | 244.71   | 235.20   |
| MÁXIMO        |             | 321.20   | 269.70   |
| V             |             | 0.14     | 0.07     |
| PERCENTIL 5%  |             | 249.09   | 238.26   |
| PERCENTIL 95% |             | 317.93   | 269.31   |

Se estableció que este tipo de barras son sobrantes de la fabricación y no cumplen con la norma NTC 2289, ya que solo tienen una resistencia a la fluencia promedio del 67%, con respecto a la mínima de 420 MPa.

### C. Ensayos de dureza

Se realizaron ensayos de dureza (“Vickers”), con la finalidad de correlacionar este valor con el esfuerzo de tensión aproximado dado en la NTC 3353 [5] tabla 2B, como se muestra en la tabla 9. Cada ensayo se

realizó enfocando la probeta con un lente de 400 aumentos, de tal forma que cuando esta se encuentra centrada, se procede a cambiar el indentador de punta de diamante, aplicando una carga de 9,8 N. Se da inicio a la indentación, que tiene un tiempo de contacto, entre el indentador de diamante y la probeta, de 20 segundos. Pasado el tiempo de contacto se coloca nuevamente el lente de 400x, para medir las diagonales de la huella del indentador que sean en forma de rombo. La medida de las diagonales da como resultado el valor de la dureza Vickers.

Tabla 9. Ensayo de dureza. Fuente: Tabla 2B NTC 3353

| Probeta      | Número de dureza Vickers | Esfuerzo de tensión aproximado (Mpa) |
|--------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Muestra # 01 | 200                      | 650                                  |
| Muestra # 02 | 190                      | 620                                  |
| Muestra # 03 | 180                      | 605                                  |
| Muestra # 04 | 205                      | 675                                  |
| Muestra # 05 | 228                      | 705                                  |

Correlacionando el esfuerzo a tensión obtenido del ensayo a tracción por la máquina universal y el esfuerzo a tensión obtenido de la tabla 2B de la norma NTC 3353, se concluye que es menor el primero; sin embargo, este ensayo no se puede tomar como referencia, ya que se usa para medir profundidad de recubrimientos de capas exteriores o piezas de sección pequeña. Los valores son de lectura

microscópica, y no son aplicables en materiales de construcción.

*D. Espectrometría de emisión por chispa*

El ensayo de espectrometría de emisión por chispa, efectuado para las cinco muestras de ensayo, arrojó la composición que se resume en la tabla 10.

Tabla 10. Porcentaje composición química muestras ensayadas

| <b>COMPOSICIÓN QUÍMICA ENSAYO</b>                     |          |           |          |          |           |
|---|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| <b>ANÁLISIS DE CHEQUEO PARA EL PRODUCTO TERMINADO</b> |          |           |          |          |           |
| <b>Elemento</b>                                       | <b>C</b> | <b>Mn</b> | <b>P</b> | <b>S</b> | <b>Si</b> |
| <b>Muestra # 01</b>                                   | 0.333    | 1.33      | 0.019    | 0.0131   | 0.131     |
| <b>Muestra # 02</b>                                   | 0.312    | 0.951     | 0.0163   | 0.0237   | 0.214     |
| <b>Muestra # 03</b>                                   | 0.272    | 1.09      | 0.0134   | 0.0257   | 0.122     |
| <b>Muestra # 04</b>                                   | 0.371    | 1.07      | 0.0098   | 0.0311   | 0.216     |
| <b>Muestra # 05</b>                                   | 0.427    | 1.21      | 0.0205   | 0.0143   | 0.243     |

La composición química exigida por la norma NTC 2289 (tabla 3.1) para barras de refuerzo se especifica en la tabla 11.

La comparación entre los resultados obtenidos por el ensayo de espectrometría y lo exigido por la norma NTC 2289 se realiza en la tabla 12.

Tabla 11. Porcentaje máximo de composición química. Fuente: NTC 2289 Tabla 3.1

| <b>COMPOSICIÓN QUÍMICA (NTC-2289)</b>                 |          |           |          |          |           |
|---|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| <b>ANÁLISIS DE CHEQUEO PARA EL PRODUCTO TERMINADO</b> |          |           |          |          |           |
| <b>Elemento</b>                                       | <b>C</b> | <b>Mn</b> | <b>P</b> | <b>S</b> | <b>Si</b> |
| <b>% Máximo</b>                                       | 0.33     | 1.56      | 0.043    | 0.053    | 0.55      |

Tabla 12. Chequeo composición química muestras ensayadas

| <b>CHEQUEO CUMPLIMIENTO COMPOSICIÓN QUÍMICA (NTC-2289)</b> |           |           |          |          |           |
|--|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
| <b>Elemento</b>  | <b>C</b>  | <b>Mn</b> | <b>P</b> | <b>S</b> | <b>Si</b> |
| <b>% Máximo</b>  | 0.33      | 1.56      | 0.043    | 0.053    | 0.55      |
| Muestra # 01   | OK        | OK        | OK       | OK       | OK        |
| Muestra # 02   | OK        | OK        | OK       | OK       | OK        |
| Muestra # 03   | OK        | OK        | OK       | OK       | OK        |
| Muestra # 04   | No cumple | OK        | OK       | OK       | OK        |
| Muestra # 05   | No cumple | OK        | OK       | OK       | OK        |

Se puede observar que las muestras 04 y 05 sobrepasan la máxima composición de carbono (C) exigida por la norma NTC 2289, situación que puede presentar mayores características de dureza, lo que genera probabilidades de una falla frágil, y que las muestras 01, 02 y 03 cumplen en su totalidad la máxima composición química exigida por la norma.

*E. Espectrometría por fluorescencia de rayos x*

El equipo de fluorescencia por rayos x realiza un análisis cualitativo y semicuantitativo de la composición química de las muestras, pero sólo

detecta los elementos con número atómico (Z) mayores al sodio (Na); por lo tanto, puede arrojar un listado de composición que en muchos casos no presenta el acero en estudio.

Para el presente estudio se prepararon y ensayaron un total de cinco probetas, una por cada muestra, pero solo se presentan en forma gráfica los resultados de la muestra M-03-2 en la figura 17.

A continuación se presentan los valores del análisis por fluorescencia de rayos x (tabla 13), para las cinco probetas ensayadas.

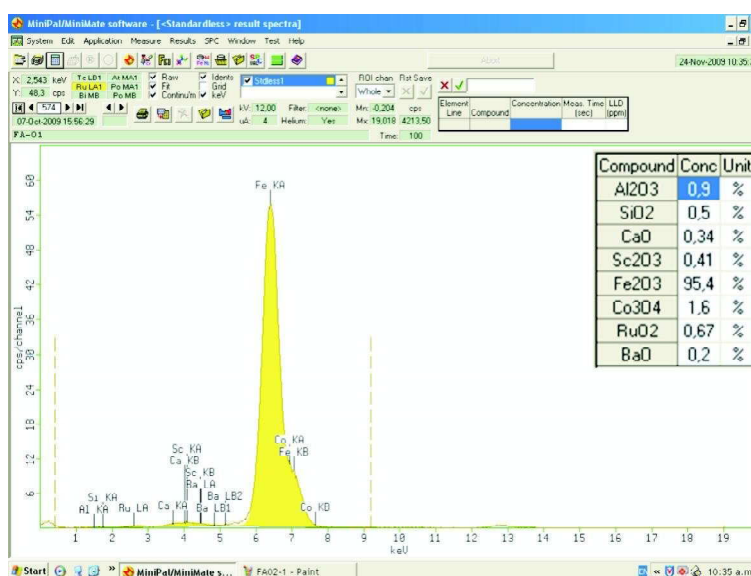


Figura 17. Muestra 03-2 Fluorescencia de rayos x

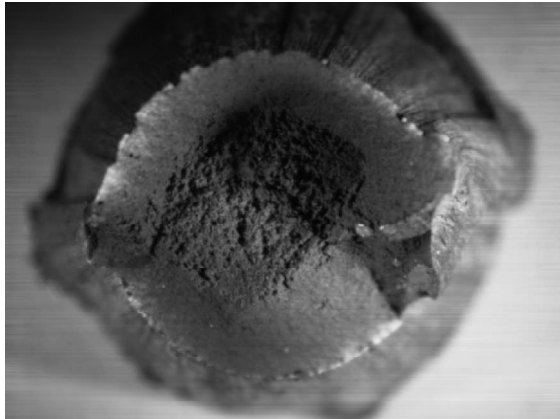
Tabla 13. Porcentaje composición química con Equipo de Fluorescencia de Rayos X

| Composición    | FLUORESCENCIA DE RAYOS X |        |        |        |        |       |           |           |          |       |          |           |          |         |           |          |         |        |        |      |
|----------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-----------|-----------|----------|-------|----------|-----------|----------|---------|-----------|----------|---------|--------|--------|------|
|                | Cl (%)                   | Fe (%) | Co (%) | Pd (%) | Cs (%) | U (%) | Fe2O3 (%) | Co3O4 (%) | TeO2 (%) | I (%) | Cs2O (%) | Al2O3 (%) | SiO2 (%) | CaO (%) | Sc2O3 (%) | RuO2 (%) | BaO (%) | Ru (%) | Ba (%) |      |
| Muestra # 01-1 | 0.46                     | 96.9   | 2      | 0.57   |        | 0.06  |           |           |          |       |          |           |          |         |           |          |         |        |        |      |
| Muestra # 01-2 |                          |        |        |        |        |       | 97.6      | 1         | 0.99     | 0.1   | 0.1      |           |          |         |           |          |         |        |        |      |
| Muestra # 02-1 |                          |        |        |        |        |       | 97.6      | 1         | 0.99     | 0.1   | 0.1      |           |          |         |           |          |         |        |        |      |
| Muestra # 02-2 |                          |        |        |        |        |       | 97.6      | 1         | 0.99     | 0.1   | 0.1      |           |          |         |           |          |         |        |        |      |
| Muestra # 03-1 | 0.43                     | 96.4   | 2.4    | 0.62   | 0.09   | 0.1   |           |           |          |       |          |           |          |         |           |          |         |        |        |      |
| Muestra # 03-2 |                          |        |        |        |        |       | 95.4      | 1.6       |          |       |          | 0.9       | 0.5      | 0.34    | 0.41      | 0.67     | 0.2     |        |        |      |
| Muestra # 04-1 |                          | 97.7   | 2.3    |        |        |       |           |           |          |       |          |           |          | 0.36    | 0.32      |          |         |        |        |      |
| Muestra # 04-2 |                          |        |        |        |        |       | 96.4      | 2.9       |          |       | 0.07     |           |          |         |           |          |         |        |        |      |
| Muestra # 05-1 |                          | 96     | 2.1    |        |        | 0.04  |           |           |          |       |          |           |          |         |           |          |         |        | 1.8    | 0.09 |
| Muestra # 05-2 | 0.18                     |        |        |        |        |       | 97.3      | 1.6       |          | 0.5   |          |           |          | 0.28    | 0.2       |          |         |        |        |      |

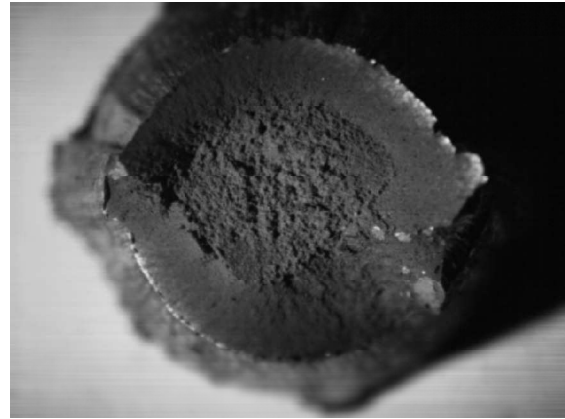
### *F. Ensayo de morfología*

Con las muestras falladas a tracción se prepararon probetas de tal forma que se pudiese observar en el

estereoscopio la morfología y determinar el tipo de falla. Las fotografías observadas a 10x corresponden a las figuras 18, 19, 20, 21 y 22.



*Figura 18. Muestra 01. Microscopia Óptica a 10x*



*Figura 19. Muestra 03. Microscopia Óptica a 10x*



*Figura 20. Muestra 02. Microscopia Óptica a 10x*



*Figura 21. Muestra 04. Microscopia Óptica a 10x*



*Figura 22. Muestra 05. Microscopia Óptica a 10x*

Se puede observar que la falla típica de las muestras es de forma copa-cono, lo que indica que el acero es dúctil. En el total de las muestras se puede observar el inicio de la fractura en el centro y el labio de corte en el contorno.

#### G. Análisis microfractográfico

En el Microscopio Óptico de Barrido (MEB) se tomaron fotografías de las muestras a 3000X, como se muestra en la figura 23, y se observó que el origen

de la falla se presenta al mismo tiempo en diferentes sectores por la aparición de microhoyuelos; coherente con la falla de tipo dúctil.

#### H. Microestructura

Este ensayo permite observar la estructura que se revela al someter el acero al reactivo de ataque luego de hacer el proceso de desbaste, pulido y ataque con Nital al 3% para lograr probetas con brillo espejo (figura 24).

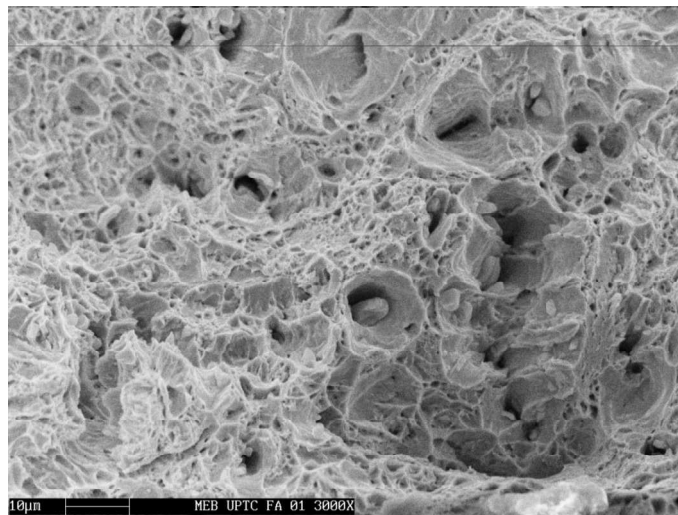


Figura 23. Muestra 03. MEB 3000X Falla dúctil

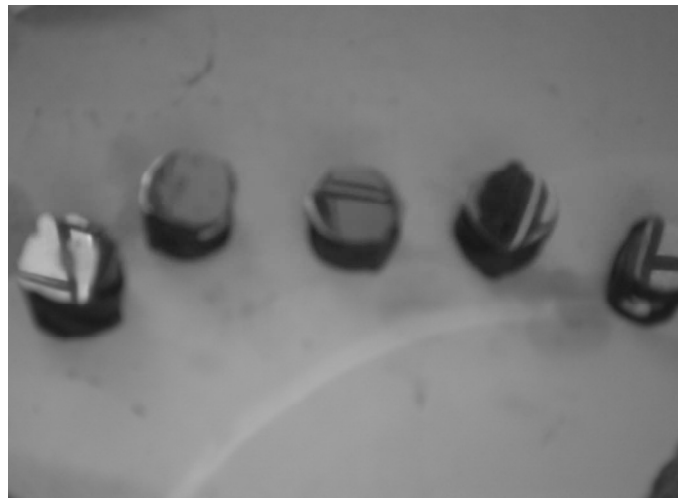


Figura 24. Probetas con Brillo Espejo

Con el microscopio óptico se tomaron fotografías a las cinco probetas con 50X, 200X, 500X y 1000X; las fotos para la muestra 04 aparecen a continuación (figuras 25, 26, 27 y 28).

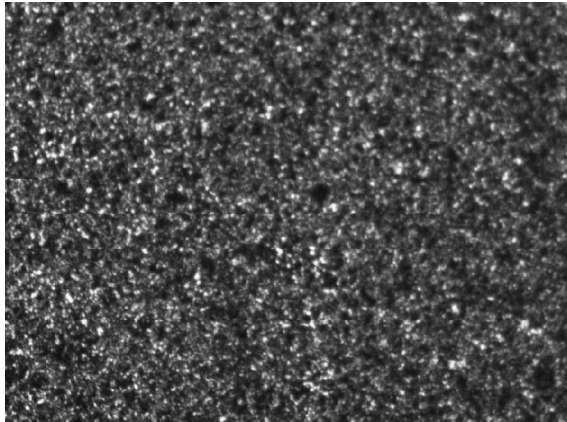


Figura 25. Muestra 04. Microscopio Óptico a 50x

Las siguientes fotografías corresponden al ensayo de las muestras con Brillo Espejo a 1000x (figuras 29, 30, 31 y 32).

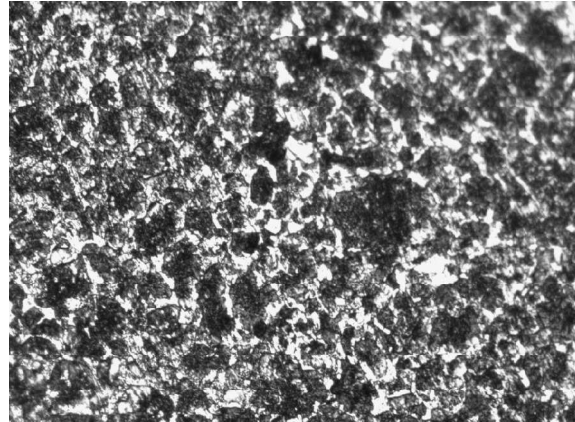


Figura 26. Muestra 04. Microscopio Óptico a 200x

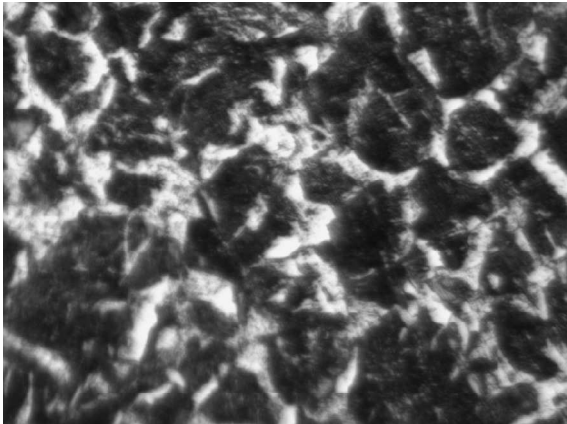


Figura 27. Muestra 04. Microscopio Óptico a 500x

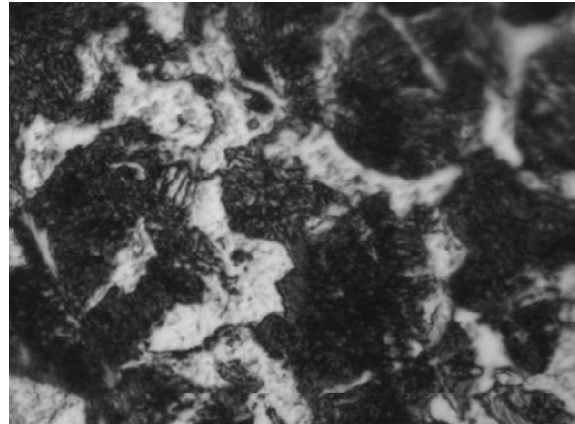


Figura 28. Muestra 04. Microscopio Óptico a 1000x

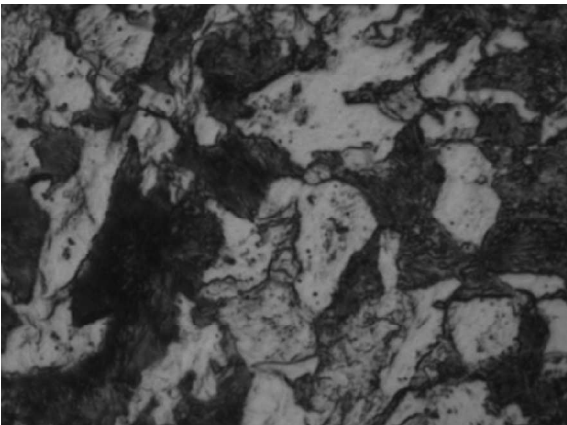


Figura 29. Muestra 01. Microscopio Óptico a 1000x

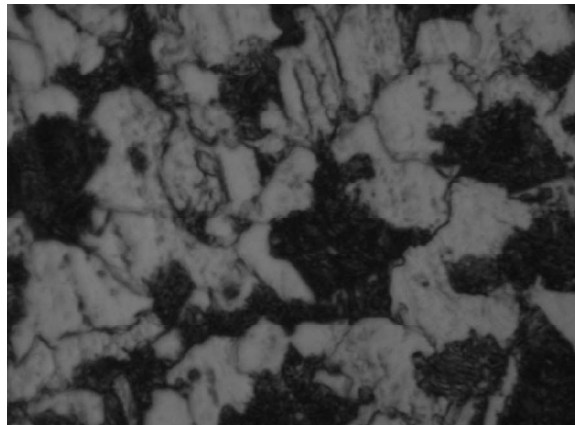


Figura 30. Muestra 03. Microscopio Óptico a 1000x

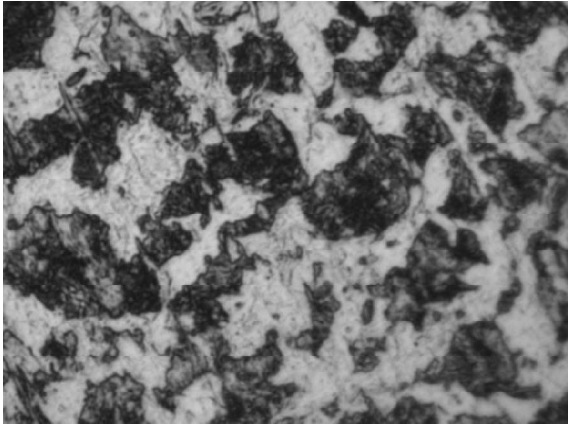


Figura 31. Muestra 02. Microscopio Óptico a 1000x

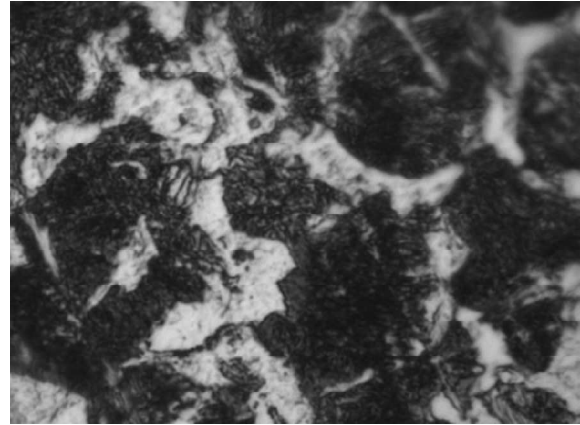


Figura 32. Muestra 04. Microscopio Óptico a 1000x

Este ensayo permitió observar que la composición del acero es perlita (oscuro) y ferrita (claro), estructuras típicas de este tipo de acero.

#### V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La mayoría de las barras de acero que se distribuyen en el mercado de Boyacá cumplen con las exigencias de la norma NTC 2289; por lo tanto, son aptas para la construcción de estructuras sismo-resistentes, de acuerdo con las exigencias vigentes de la NSR-10.

En una producción es difícil garantizar el 100% de la calidad del producto terminado, de acuerdo con lo exigido por la normatividad; por lo tanto, se aceptan rangos de aceptabilidad con el fin de evitar rechazo total del producto para la salida al comercio, lo cual puede afectar negativamente el área de la construcción.

El trabajo realizado permitió comprobar que los equipos de ensayos asignados para los laboratorios de la Facultad de Ingeniería no sólo responden a las especificaciones establecidas en la norma NTC 2289, sino también a cualquier tipo de especificaciones en metales y otros materiales empleados en la construcción. Al contar la Uptc con equipos integrales y personal calificado, se puede ofrecer al gremio constructor y al sector industrial los servicios de asesoría y ejecución de ensayos de laboratorio con una alta calidad, que permitirán un mayor control

del cumplimiento de los estándares de calidad exigidos para la construcción de estructuras sismo-resistentes.

Los resultados muestran que la mayoría de pruebas cumplen las especificaciones, aunque algunas barras están por debajo de los requerimientos normativos; en consecuencia, se recomienda la realización de ensayos de laboratorio para control de calidad a las industrias constructoras. Se destaca el hecho del buen nivel en la producción de las fábricas nacionales, sin embargo, el mercado presenta gran variedad de materiales, entre los cuales se pueden presentar diferencias.

Es importante aclarar que el estudio no se puede considerar representativo, debido al escaso número de probetas ensayadas, dada la limitación de recursos; sin embargo, constituye un indicador de la calidad del material utilizado en Boyacá.

Otro factor de incertidumbre en los resultados expuestos en este documento es el carácter académico y formativo con el que se hicieron los ensayos; un ejemplo de esto es la diferencia presentada en procedimientos, inadecuado uso de extensómetros, instrumentación y cambios de velocidades de carga respecto a la estipulada en la norma, lo cual puede incluso invalidar ensayos. En consecuencia, se recomienda considerar los resultados con criterio, al igual que desarrollar investigaciones complementarias.



## REFERENCIAS

- [1] ICONTEC Norma Técnica Colombiana NTC 2289. *Barras (y rollos) corrugadas de acero de baja aleación y/o termotrataadas para refuerzo de concreto*. Bogotá: 2001. Adaptada de la ASTM A706/A706M. 2001.
- [2] American Society for Testing and Materials ASTM A 706/A706M. *Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement*. Easton. Md., mayo 1996.
- [3] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá D.C., 2010.
- [4] O. Gutiérrez Junco. *Informe proceso de acreditación Máquina Universal*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Tunja, 2006.
- [5] ICONTEC Norma Técnica Colombiana NTC 3353. *Definiciones y métodos para los ensayos mecánicos de productos de acero*. Bogotá: 2002. Adaptada de la ASTM A370, 2001.

