

DISEÑO DE UN PROTOCOLO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN A BARRAS CORRUGADAS DE ACERO DE BAJA ALEACIÓN PARA REFUERZO DE CONCRETO, BAJO LAS NORMAS NTC 2289 Y NTC 3353.

DESIGN OF A PROTOCOL FOR TENSILE TESTING OF LOW ALLOY STEEL REBARS FOR STEEL REBARS FOR CONCRETE REINFORCEMENT UNDER NTC 2289 AND NTC 3353. CONCRETE REINFORCEMENT, UNDER NTC 2289 AND NTC 3353 STANDARDS.



Breyner Stevens Largo Arboleda, Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial, Sena Regional Risaralda, Colombia, blargo@sena.edu.co

Diego Alejandro Ramírez Cardona, Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial, Sena Regional Risaralda, Colombia, daramireza@sena.edu.co

José Daniel López Chica, Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial, Colombia, jdlopezc@sena.edu.co

Resumen

Un ensayo de tracción para un material metálico permite realizar una caracterización mecánica de este, para ello se aplica una carga axial a un ítem de ensayo.

A medida que se aplica la carga se toman medidas de deformación, con las cuales se permiten construir la curva esfuerzo deformación, hasta el punto de carga máxima o resistencia máxima.

Con la construcción de la gráfica se obtienen características del material como son el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo máximo y deformación después de la fractura; estos datos son muy importantes para la validación y evaluación de la calidad de los aceros que se van a utilizar en sectores como el acero corrugado el cual es un material de gran interés en la industria de la construcción, dado que este es usado en las obras para refuerzo de concreto en las estructuras con diseño sismo resistente.

No obstante, cuando realizan ensayos de tracción se presentan incógnitas con respecto a cómo los resultados se pueden afectar por causa de la velocidad del ensayo en la determinación de sus características mecánicas.

A pesar que para la ejecución de ensayos de tracción existen normas técnicas internacionales que proporcionan métodos y rangos adecuados para selección de la velocidad del ensayo, la elección final de esta queda aborta para que sea el analista quien decida sobre cuál es la más apropiada, sin embargo, cuando se desea comparar resultados entre distintos laboratorios de un mismo ítem o ítems similares, la elección de un método de velocidad y un valor de velocidad determinado, influyen en la comparabilidad de los resultados.

En este artículo se presenta diseñar un protocolo de ensayos de tracción a barras corrugadas utilizadas en la infraestructura, basados en las normas NTC 2289 BARRAS CORRUGADAS Y LISAS DE ACERO DE BAJA ALEACIÓN, PARA REFUERZO DE CONCRETO y NTC 3353 SIDERURGIA. DEFINICIONES Y MÉTODOS PARA LOS ENSAYOS MECÁNICOS DE PRODUCTOS DE ACERO.

El protocolo de ensayos consta de los requerimientos mínimos que debe tener un laboratorio SENA para realizar un ejercicio de intercomparación; estos laboratorios deben tener reconocimiento ante una entidad de tercera parte como es el Organismo de Acreditación de Colombia (ONAC) para realizar ensayos de tracción.

Fuera de los requisitos administrativos se describen los requisitos que se deben cumplir para ejecutar los ensayos, con base



a la capacidad operativa de la máquina universal de ensayo de cada centro se define la longitud mínima que se debe utilizar en las barras corrugadas, se plantean una serie de velocidades de acuerdo con los requisitos descritos en la norma NTC 3353 en el numeral 8.4 y el diámetro de la barra corrugada.

Una vez diseñado el protocolo de ensayos, para la parte experimental se propone realizar 108 ensayos entre los laboratorios que desean participar en la intercomparación, por lo que en el protocolo de ensayos se especifica la cantidad de probetas a ensayar de acuerdo con las velocidades establecidas con su respectiva designación que posteriormente servirá para realizar el análisis de los resultados por medio de herramientas estadísticas y determinar si la variación de velocidad en los diferentes diámetros de barras corrugadas influye en los resultados.

Con el protocolo de ensayos de tracción a barras corrugadas se pretende dejar plasmada una metodología de acuerdo con las normas técnicas colombianas (NTC) para mejorar la capacidad operativa de los laboratorios y se pueda prestar mayores servicios a la industria conservando los estándares altos de calidad sin que influya en los resultados de los mismos ensayos.

Palabras claves: Acero, Protocolo de ensayos, ensayos de tracción.

Abstract

A tensile test for a metallic material allows to perform a mechanical characterization of the material. An axial load is applied to a test item.

As the load is applied, deformation measurements are taken, which are used to construct the stress-strain curve, up to the point of maximum load or maximum resistance.

With the construction of the graph, characteristics of the material such as yield stress, maximum stress and deformation after fracture are obtained.

This data is very important for the validation and evaluation of the quality of the steels to be used in sectors such as corrugated steel, which is a material of great interest in the construction industry, since it is used in concrete reinforcement works in structures with seismic resistant design.

However, when performing tensile tests there are unknowns with respect to how the results can be affected by the speed of the test in determining your results can be affected by the speed of the test in determining its mechanical characteristics.

Although there are international technical standards for the execution of tensile tests that provide adequate methods and ranges for the selection of the test speed, there are international technical standards for the execution of tensile tests. the final choice of this is left to the analyst to decide on which is the most appropriate, however, when it is desired to compare results between different laboratories for the same or similar items, the choice of a velocity method and a given velocity value influences the comparability of the results.

This paper presents the design of a tensile test protocol for rebars used in

infrastructure, based on NTC 2289 used in infrastructure, based on the standards NTC 2289 CORRUGATED AND SMOOTH BARS OF LOW ALLOY STEEL FOR CONCRETE REINFORCEMENT and NTC 3353 SIDERURGY.

LOW-ALLOY STEEL SLABS FOR CONCRETE REINFORCEMENT and NTC 3353 SIDERURGY. DEFINITIONS AND METHODS FOR MECHANICAL TESTING OF STEEL PRODUCTS.

The test protocol consists of the minimum requirements that a SENA laboratory must have in order to carry out an intercomparison exercise, this is all guaranteed by a third party entity known as the Colombian Accreditation Body (ONAC, Organismo de Acreditación de Colombia) which is, again, the one in charge to perform the tensile tests.

In addition to the administrative requirements, the requirements that must be met to carry out the tests are described, with the requirements that must be met to perform the tests, based on the operating capacity of the universal testing machine of each center, the length of the minimum length that must be used in the rebars is defined, and a series of speeds are proposed according to the a series of speeds are proposed according to the requirements described in the NTC 3353 standard in numeral 8.4 and the diameter of the rebars to be used.

Once the test protocol has been designed, for the experimental part, it is proposed to perform 108 tests among the laboratories that wish to participate in the intercomparison, so the test protocol specifies the number of specimens to be

tested according to the established speeds with their respective designation, which will later be used to analyze the results by means of statistical tools and determine whether the speed variation in the different diameters of the rebars influences the results.

Keywords: Construction, Metallic Material, Steel Rebars,

Introducción

Con el aumento de las edificaciones en el país, el acero es el producto principal que se utiliza en ellas, ya que sirve como estructura o complemento a la estructura.

Las industrias siderúrgicas toman gran importancia en la fabricación de materiales metálicos, en este caso es el acero de baja aleación usado en las infraestructuras de concreto conocidas como barras corrugadas y mallas electrosoldadas.

Para el año 2021 en su primer semestre presento un crecimiento del 19% siendo uno de los sectores con mayor recuperación tras la pandemia, actualmente en Colombia existen 5 plantas siderúrgicas, ubicadas en Boyacá, Cali y Manizales.

Este panorama con respecto a la producción de acero nacional permite reducir las importaciones de países como China, Turquía, México, Brasil y Estados Unidos entre otros.

Los materiales importados presentaron algunas alteraciones en sus propiedades mecánicas, perjudicando su utilidad y aumentando la probabilidad de que estos materiales no soporten y presenten fallas, las siderúrgicas colombiana solicitaron al gobierno nacional intervenir ante estos



hallazgos por lo se emitió el decreto número 926 del 19 de marzo del 2010, modificado por los Decretos números 2525 de 2010 y 092 de 2011 (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL 2011), en el cual se actualiza el reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10 (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL 2010), incorporando en el título C, numeral 3.5 y exigiendo el cumplimiento a nivel nacional la Norma Técnica Colombiana NTC 2289 Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, para refuerzo de concreto, así mismo expide por medio de la resolución número 0227 del 2015 el reglamento técnico aplicable al alambre de acero liso, grafilado y mallas electro soldadas para el refuerzo de concreto que se fabrique, importe o comercialicen en todo el territorio colombiano.

Ante estas nuevas reglamentaciones con el fin de salvaguardar la integridad de las obras donde se utilice dicho acero y velar por la seguridad se debe tener un procedimiento establecido donde se garantice la validez y confiabilidad de los resultados, con esto se debe cumplir con los requisitos estipulados en las normas de referencia y anteriormente mencionadas.

Para la verificación la calidad de los aceros uno de los ensayos más importantes es el ensayo de tracción, el cual es una de las técnicas experimentales más sencillas y por lo tanto la más usada con el objetivo de caracterizar un material en cuanto a sus propiedades mecánicas.

A partir de la curva fuerza-desplazamiento, se puede construir la curva esfuerzo deformación, hasta el punto de carga máxima o resistencia máxima.

Con la construcción de la gráfica se pueden obtener parámetros como lo son el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo máximo, la deformación después de la fractura, la zona plástica e incluido la zona de rotura.

La velocidad en la ejecución de los ensayos mecánicos a materiales metálicos influyen en el resultado de sus propiedades mecánicas, las normas técnicas internacionales proporcionan métodos y rangos adecuados para selección de la velocidad del ensayo para que sea el analista quien decida sobre el más apropiado para la determinación de estas propiedades mecánicas.

Sin embargo, cuando se desea comparar resultados entre distintos laboratorios de un mismo ítem o ítems similares, la elección de un método de velocidad y un valor de velocidad determinado, influyen en la comparabilidad de los resultados, y teniendo en cuenta que estos ensayos se realizan bajo el mismo método y que son realizados por personal competente, equipamiento que tiene resultados trazables al Sistema Internacional de unidades, condiciones ambientales son controladas, pues no debería haber diferencias significativas, por otra parte, la comparabilidad entre resultados de laboratorios que tienen las características mencionadas anteriormente.

Con el diseño del protocolo de ensayos de tracción a barras corrugadas se pretende ampliar la capacidad operativa de cada CENTRO y que se puede prestar mayores servicios a la industria apoyado y velando por la calidad de los aceros utilizados, en el protocolo de ensayos se especifica un conjunto de velocidades con la que se aplica la fuerza por separación de los cabezales de la máquina universal de ensayos, se propone tres diferentes diámetros de barras corrugadas las cuales serán ensayadas, para posteriormente realizar

un análisis estadísticos y evaluar la influencia de la velocidad sobre los elementos ensayados.

El problema es claro no solo desde el aspecto técnico, sino también de la importancia normativa y proyecciones departamentales el marco de justificación es el adecuado para dar soporte a cómo y para qué se debe dar solución al problema identificado; donde es de importancia evaluar la influencia mecánica de la velocidad en el desarrollo de ensayos de tracción para la determinación de esfuerzos máximos en barras corrugadas de acero de baja aleación usados en infraestructura de concreto.

Hasta la fecha no hay documentado la afectación en los resultados a causa de la variación de velocidad en ensayos de tracción a barras corrugadas para la construcción.

Es por ello que esta investigación pretende establecer un protocolo de inter comparación y un diseño de experimento con el fin de realizar ensayos para dar respuesta de cuál es el posible efecto de la sensibilidad en los resultados del esfuerzo máximo en ensayos de tracción para aceros usados en infraestructura de concreto frente a variación de la velocidad del ensayo, permitiendo obtener un equilibrio entre la determinación de resultados confiables y el mejoramiento de las capacidades operativas de los equipos utilizados.

Diseño Metodológico

Antes de realizar el protocolo de ensayo de tracción a barras corrugadas se debe tener en cuenta el fundamento teórico, para así poder tener los suficientes argumentos para diseñar todos los pasos que se deben tener en cuenta para el ensayo de tracción.

Este se realiza a objetos a los que se

requieran analizar sus propiedades mecánicas, entre ellas tenemos esfuerzo de fluencia, esfuerzo de tracción, elongación; donde se aplica fuerzas en dirección axial actuando a lo largo del mismo.

En este caso, en las secciones transversales del objeto (barra) aparece sólo una fuerza longitudinal y las fuerzas transversales.

Esta fuerza transversal (de acuerdo con el método de las secciones) es igual a la suma algebraica de las fuerzas externas, que actúan de un lado de la sección, ver figura 1.

Figura 1

Fundamento de Tracción. Ejemplo Objeto a tracción



Nota. Creación Propia

El esfuerzo es un término muy importante en el momento de hablar de los ensayos de tracción, se denomina esfuerzo a la fuerza interior de un objeto con relación a la unidad de superficie en un punto de una sección dada, el esfuerzo este determinado por la ecuación 1.

Ecuación 1.

Diagrama de tracción de una probeta de acero de bajo contenido de carbono.

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

Nota. Creación Propia

El esfuerzo límite se determina experimentalmente y es una propiedad del material.

Se considera como esfuerzo límite, el esfuerzo de resistencia en el caso de materiales frágiles y el esfuerzo de fluencia en el caso de materiales plásticos.

Los ensayos a tracción se realizan para obtener las características mecánicas del material.

Mediante el ensayo se traza el diagrama de la relación que existe entre la fuerza F , que estira la probeta, y el alargamiento de ésta.

Para que los resultados de los ensayos que se realizan con probetas del mismo material, pero de distintas dimensiones, sean comparables, el diagrama de tracción se lleva a otro sistema de coordenadas.

En el eje de las ordenadas se coloca el valor del esfuerzo normal que surge en la sección transversal de la probeta donde AO es el área inicial de la sección de la probeta, y sobre el eje de las abscisas, los alargamientos unitarios, donde AO es el área inicial de la sección de la probeta, y sobre el eje de las abscisas, los alargamientos unitarios.

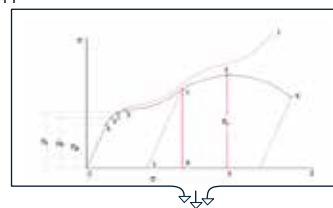
En la Ecuación 1 está representado, el diagrama de tracción de una probeta de acero de bajo contenido de carbono.

Como se puede observar, en el tramo O-A del diagrama las deformaciones crecen proporcionalmente a los esfuerzos, cuando éstos son inferiores a cierto valor.

Así, pues, hasta el límite de proporcionalidad es válida la ley de Hooke.

Figura 2

Aumento de Carga. Diagrama esfuerzo deformación



Nota. Creación Propia

Al aumentar la carga, el diagrama resulta ya curvilíneo. Sin embargo, si los esfuerzos no son superiores a cierto valor, B denominado límite de elasticidad, el material conserva sus propiedades elásticas, es decir, que, al descargar la probeta, ésta recupera su dimensión y su forma iniciales.

Al seguir aumentando la carga, llega un momento (punto C), cuando las deformaciones comienzan a aumentar sin un correspondiente crecimiento sensible del esfuerzo. El tramo horizontal CD del diagrama se denomina escalón de fluencia.

En el caso de ciertos materiales, el diagrama de tracción no tiene un escalón de fluencia bien acentuado. Para estos materiales se introduce el llamado, esfuerzo convencional de

fluencia.

Se denomina esfuerzo convencional de fluencia, el esfuerzo correspondiente a una deformación residual del 0,2%.

Después de que la probeta recibe cierto alargamiento bajo una carga constante, es decir, después de pasar el estado de fluencia, el material de nuevo adquiere la capacidad de oponerse al alargamiento (el material se endurece) y el diagrama, una vez rebasado el punto D, asciende, aunque con menos intensidad.

El punto E del diagrama corresponde al esfuerzo convencional máximo que se denomina límite de resistencia o resistencia temporal.

Cuando el esfuerzo se iguala al límite de resistencia, en la probeta se observa una reducción brusca y local de la sección, en forma de cuello. El área de la sección disminuye súbitamente en el lugar del cuello y, como consecuencia, se reduce la fuerza y el esfuerzo convencional. La rotura de la probeta ocurre por la sección menor del cuello.

Posterior a las bases teóricas para ejecutar ensayos de tracción a barras corrugadas se deben seguir unos pasos de acuerdo con la operación de la máquina universal de ensayos y los requerimientos de las diferentes normas que se apliquen.

Se recomienda como mínimo tener los siguientes elementos y seguir los siguientes pasos para ejecutar el ensayo.

Se debe contar con la máquina universal de ensayos para llevar a la rotura los ítems de ensayo y registrar la fuerza soportada por los materiales ensayados. Ver Figura 3

Figura 3.



Máquina Universal de Ensayos



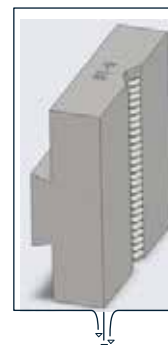
Nota. Creación Propia

Para el ensayo de tracción a barras corrugadas es necesario seleccionar adecuadamente las caras de las mordazas, los laboratorios participantes deben seleccionar las mordazas correctas para el agarre de los ítems de ensayos y cambiarlos cuando sea necesario de acuerdo con el número de designación de la barra corrugada, estas poseen una forma "acanalada" con el objetivo de garantizar la axialidad antes y durante el ensayo.

En la Figura 4 se muestran las caras de las mordazas disponibles en el laboratorio de Ensayos Mecánicos para el ensayo de tracción a barras corrugadas y lisas de acero para refuerzo de concreto.

Figura 4.

Mordazas para ítem de ensayo

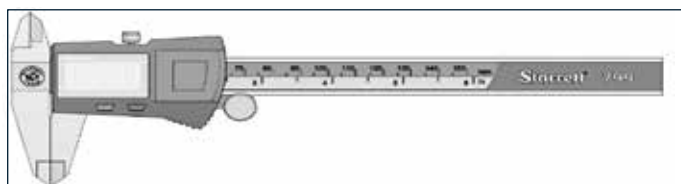


Nota: Creación Propia

Pie de rey digital o análogo para medir la longitud calibrada inicial y final del ítem de ensayo. Ver Figura 5.

Figura 5.

Pie de rey digital



Nota: Creación Propia

Cinta métrica para medir la longitud del ítem de ensayo, así como la distancia entre mordazas, Figura 6.

Figura 6

Cinta métrica.



Nota: Creación Propia

- El termohigrómetro para registrar la temperatura ambiente y humedad relativa, ver Figura 7.

Figura 7.

Termohigrómetro

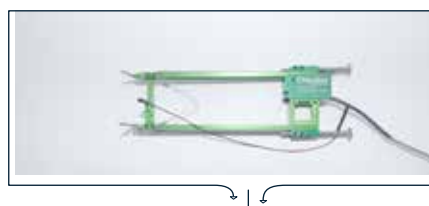


Nota: Creación Propia

El extensómetro electrónico para la determinación de la resistencia a la fluencia por el método de desplazamiento (offset al 0,2%), ver Figura 8.

Figura 8.

Extensómetro del laboratorio.



Nota: Creación Propia

Marcar de la longitud calibrada deben ser marcas finas o puntos; se pueden realizar con un marcador permanente de punta fina y la regla graduada o la cinta métrica, realizando el siguiente paso, ver esquema en la Figura 9.

Mida la longitud total del ítem de ensayo, esta no debe ser menor que la suma de 2 veces la longitud de agarre, más la longitud calibrada, más 4 veces el diámetro nominal del ítem de ensayo, así:

Ecuación 2

Formula de longitud de Ensayo

$$2l+L_0+4d>L_t$$

Nota: Creación Propia

Siendo:

l: Longitud de agarre.

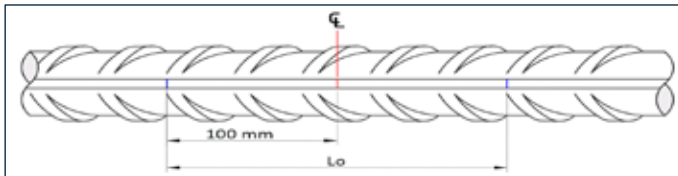
L₀: Longitud calibrada.

d: Diámetro nominal.

L_t: Longitud total.

Figura 9

Marcación de la longitud calibrada.



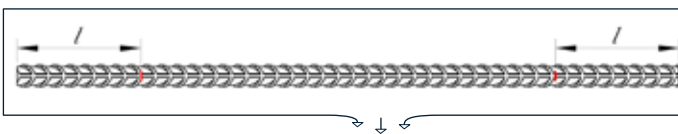
Nota: Creación Propia

Marcar de la longitud de agarre tomando como referencia el extremo de la barra.

La longitud de agarre depende de la necesidad de cada máquina universal de ensayo, ver Figura 10.

Figura 10.

Marcación de la longitud de agarre.



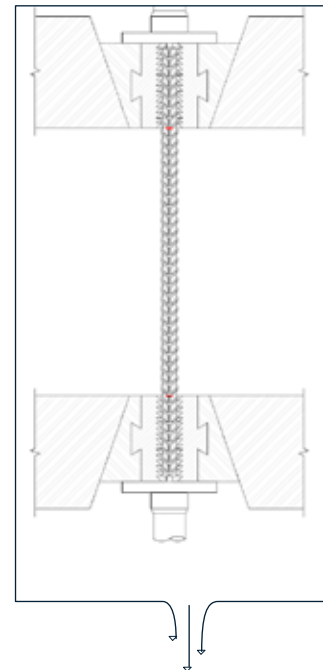
Nota: Creación Propia

Ubicar el ítem de ensayo entre las mordazas de la maquina universal de ensayo, en la Figura 11 se muestra el esquema del montaje del ítem de ensayo entre las mordazas.

Figura 11.

Ítem de ensayo sujeta de los extremos

(Ver figura columna siguiente).



Nota: Creación Propia

Programar el ensayo con los datos de entrada correspondientes a la velocidad con la que se aplica la fuerza, diámetro nominal para el cálculo de los esfuerzos.

Ubicar el extensómetro en el ítem de ensayo es el paso que antecede a la ejecución del ensayo, ver montaje Figura 12.

Figura 13.

Ilustración del montaje del extensómetro del laboratorio de Ensayos Mecánicos.



Nota: Creación Propia

Iniciar el ensayo para obtener la gráfica de esfuerzo contra deformación y determinar las propiedades mecánicas de interés, en la Figura 13 se evidencia una curva esfuerzo de formación de un ensayo de tracción.

Figura 13.

Diagrama esfuerzo-Deformación con comportamiento de fluencia discontinua.



Nota: Creación Propia.

Una vez finalizado el ensayo determinar el porcentaje de elongación del ítem de ensayo. Si cualquier parte de la fractura ocurre dentro de la porción media del ítem de ensayo, es decir, dentro de los 50 mm marcados a cada lado del center line, el laboratorio puede determinar el porcentaje de elongación después de la fractura como sigue, en la Figura 15 se observa un montaje para tomar la elongación del ítem de ensayo.

Mida la longitud final entre las marcas realizadas inicialmente de la longitud calibrada y determine el porcentaje de elongación después de la fractura como:

Ecuación 3

$$A(\%) = \frac{(Lu - Lo)}{Lo} \times 100$$

Donde:

Lo: Longitud calibrada original.

Lu: Longitud final.

Nota: Creación Propia.

Figura 14.

Ejemplo de montaje de un ítem para determinar porcentaje de elongación después de la fractura usando los elementos de Fijación por sujeción mecánica



Nota: Creación Propia.

En trabajo colaborativo con el Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria (ASTIN) se planteó la metodología y se diseñó el protocolo de ensayos que se llevó a cabo para ejecutar la totalidad de los ensayos.

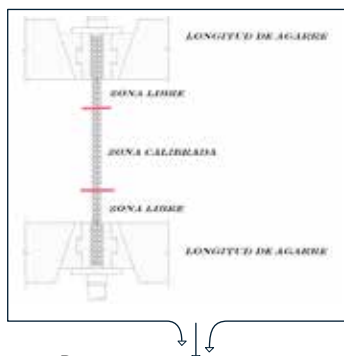
La metodología planteada, consistió en definir el procedimiento para determinar las longitudes de las barras y la velocidad con la que se seleccionan las velocidades. También se planteó la manera con la que realiza el análisis estadístico de los resultados obtenidos.

Con base a la longitud de agarre se determina la longitud total del ítem a ensayar, esto se realiza de acuerdo con el numeral 15.2.1 de la norma NTC 2289, donde especifica que los ítems

a ensayar debe ser de una longitud calibrada de 200 mm, más una distancia libre de dos (2) veces el diámetro en cada extremo de la barra, más la longitud de agarre. Ver Figura 15.

Figura 15

Longitud Total



Nota: Creación Propia

Con la ecuación 4 se determina la distancia total de los ítems de ensayo, esta ecuación se aplica de acuerdo con el diámetro de barra que se utilice y a la longitud de agarre para cada máquina universal de ensayos. De esta manera se determina la longitud total de las barras para cada uno de los centros. Ver tabla 2.

Ecuación 2

$$Lt = Lc + 2(2 \times \phi)$$

Donde:

Lt = Longitud total

Lc = Longitud calibrada

ϕ = Diámetro nominal de barra corrugada

Una vez determinada las longitudes totales de las barras corrugadas que se van a ensayar en cada uno de los Centros se determina las velocidades que se van a utilizar y la cantidad de ítems a ensayar. Las velocidades seleccionadas, longitud de ítems y cantidad de ítems son datos

esenciales para el protocolo de ensayos ya que en este se especifica el paso a paso y los requerimientos solicitados para realizar una intercomparación de los resultados obtenidos.

De acuerdo con los requerimientos de la norma NTC 3353 y la capacidad de trabajo de las máquinas universales de ensayos se procede a seleccionar las velocidades correspondientes para barras corrugadas que se deseen ensayar.

Ecuación 5

velocidad máxima para fluencia.

$$= 1/16 \times (\text{Longitud calibrada} + 4 \text{ veces el diámetro})$$

Ecuación 6

Velocidad mínima para fluencia

$$= 1/10 \times \text{Velocidad de fluencia máxima.}$$

Para el cálculo de la velocidad máxima y mínima se realiza de acuerdo con la ecuación 7 y ecuación 8.

Ecuación 7

Velocidad de tracción mínima

$$= 1/2 \times (\text{Longitud calibrada} + 4 \text{ veces el diámetro})$$

Ecuación 8

Velocidad de tracción mínima

$$= 1/10 \times \text{Velocidad de tracción máxima}$$

Los ítems de ensayos se extraerán de barras de seis (6) metros de longitud, las cuales

son de un mismo lote y una misma colada con el fin de garantizar la trazabilidad y homogeneidad de los resultados.

Los laboratorios participantes deben realizar los ensayos de acuerdo con los métodos de ensayos establecidos por la norma NTC 2289:2020, NTC 3353:2019 y NTC 2:2018 y los requerimientos establecidos en el protocolo.

Por último, se propone para el análisis de los resultados y evaluar el sistema de medición de las variables y los niveles está dada por el estudio R&R; que por medio de un análisis de varianza ANOVA, con un diseño factorial de dos factores con interacción, teniendo en cuenta el supuesto de homogeneidad entre las barras utilizadas y dado que una misma designación será evaluada por todos los laboratorios participantes.

El uso de ANOVA permitirá descomponer la varianza de cada componente y su interacción, así como determinar la repetibilidad y reproducibilidad del sistema de medición.

Dado que se usarán designaciones diferentes de barras corrugadas, se propone separar el análisis por cada una de ellas, es decir, hacer un estudio R&R por cada designación, puesto que de antemano se sabe, que lo más probable es que se tengan diferencias significativas debidas a la designación usada, diferencias asignables a la composición misma de la barra.

De aquí, las diferencias que se encuentren y se determinen como importantes, serían asignadas al laboratorio y a la velocidad usada. En la tabla 1 se observa las fuentes de variación con sus respectivos niveles.

Tabla 1

Fuentes de variación y sus niveles

Fuente de variación	Niveles	Descripción
Laboratorio	4	<i>Laboratorios acreditados por ONAC</i>
Velocidad	3	1,5 Rp y 12 Rm – Velocidades bajas 8,0 Rp y 20 Rm – Velocidades intermedias 15 Rp y 60 Rm – Velocidades altas
Designación barra corrugada	3	No. 3 (9,525 mm), No. 5 (15,875 mm) y No. 7 (22,225 mm)

Nota: Creación Propia.

De acuerdo con las variables establecidas y a los niveles que se obtuvieron se determina que cada laboratorio participante realizara 108 ensayos de tracción en total. En la tabla 2 se observa el análisis de varianza ANOVA de dos factores con interacción

Tabla 2

Análisis de varianza ANOVA de dos factores con interacción

Fuente de variación	GL	SC	MC	F	P
Laboratorio	$k-1$	SS_L	$MC_L = SS_L / (k-1)$		
Velocidad	$n-1$	SS_V	$MC_V = SS_V / (n-1)$		
Interacción	$(n-1)(k-1)$	SS_{LV}	$MC_{LV} = SS_{LV} / ((n-1)(k-1))$	MC_V / MC_L	
Repetibilidad	$nk(r-1)$	SS_R	$MC_R = SS_R / (nk(r-1))$		
Total	$nkr-1$	TSS			

Nota: Creación Propia

Se asume un valor Alpha (α) de 0,05 % como criterio de decisión. Si el valor P es inferior al valor α , se considera como significativa la fuente de variación relacionada, en otras palabras, dicha fuente se considera importante.

La descomposición de la varianza permite llegar a los porcentajes de contribución que tiene cada fuente a la variación total, lo cual permitirá obtener el porcentaje del R&R del sistema de medición. De acuerdo con (Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General

Motors Corporation, 2010), si este porcentaje está por debajo del 10% se considera ideal; si está entre el 10 % y el 30 % aceptable pero sujeto a mejorar y, si está por encima del 30 % es inaceptable.

Las rutinas para ejecutar los cálculos requeridos se encuentran disponibles en software estadístico tal como Minitab o R, o se podrían construir algoritmos en hojas de cálculo de Excel, siguiendo los lineamientos del MSA 4ta edición. Los resultados de los ensayos ejecutados serán utilizados para uso académicos y de investigación, por ende, los resultados pueden ser publicados en artículos, ponencias y donde sea necesario la divulgación de los resultados.

La toma de muestras se realiza mediante la preparación de probetas que provienen de barras de un máximo de 6 metros de largo, el total de barras disponibles oscila entre 11 y 12 unidades según designación. Se asume homogeneidad entre barras de una misma designación.

Resultados.

Para ejecutar ensayos de tracción a barras corrugadas se debe seguir las recomendaciones y el paso a paso del protocolo de ensayos, posteriormente se propone una intercomparación entre laboratorios, con lo que se pretende evaluar la variación de la velocidad con la se aplica la fuerza para ejecutar un ensayo de tracción y observar los posibles efectos que se presente en los resultados.

Los laboratorios que participen deben en la intercomparación deben estudiar detenidamente el protocolo de ensayos y cumplir con los requisitos y recomendaciones establecidos en el, principalmente en la selección de las velocidades que se van a evaluar, las longitudes de los ítems de ensayos, corte y designación de los ítems, ejecución de los ensayos y los variables que se deben reportar

para realizar el análisis de los resultados.

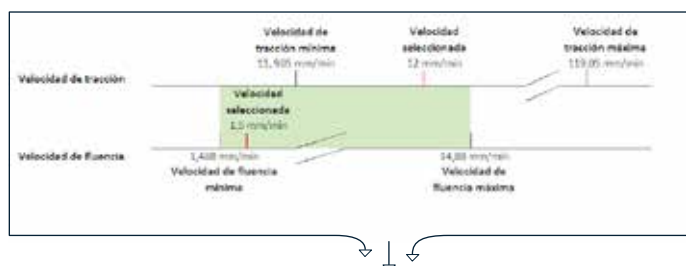
A continuación se muestra a manera de ejemplo y con base a las ecuaciones 5, 6, 7 y 8 anteriormente nombradas como se selecciona los diferentes valores para las velocidades con las que se realizaran el ensayo. Como ejemplo se tiene una barra corrugada No. 3.

- Velocidad de fluencia máxima = $1/16 \times$ (Longitud calibrada + 4 veces el diámetro)
- Velocidad de fluencia máxima = $1/16 \times (200 \text{ mm} + (4 \times 9,525 \text{ mm}))$
- Velocidad de fluencia máxima = 14,88 mm min
- Velocidad de fluencia mínima = $1/10 \times$ Velocidad de fluencia máxima
- Velocidad de fluencia mínima = $1/10 \times 14,88 \text{ mm min}$
- Velocidad de fluencia mínima = 1,488 mm min
- Velocidad de tracción máxima = $1/2 \times$ (Longitud calibrada + 4 veces el diámetro)
- Velocidad de tracción máxima = $1/2 \times (4 \times 9,525 \text{ mm})$
- Velocidad de tracción máxima = 119,05 mm min
- Velocidad de tracción mínima = $1/10 \times$ Velocidad de tracción máxima
- Velocidad de tracción mínima = $1/10 \times 119,05 \text{ mm min}$
- Velocidad de tracción mínima = 11,905 mm min

En la Figura 16 se muestra el diagrama donde se especifican la velocidad de tracción mínima, velocidad de tracción máxima, velocidad de fluencia mínima y velocidad de fluencia máxima, en la zona demarcada se muestra las velocidades seleccionadas para ejecutar los ensayos de tracción en una barra corrugada No. 3.

Figura 16

Esquema de velocidades para barra corrugada No.3



Nota: Creación Propia

La longitud de los ítems se calculan de acuerdo con la ecuación 2, en este caso se observa un ejemplo para una barra corrugada No.3 y un área de agarre de una máquina universal de ensayos de un laboratorio X de 75 mm por cada extremo.

$$L_c = 200 \text{ mm}$$

$$\phi = 9,525 \text{ mm}$$

$$L_t = L_c + 2(2 \times \phi)$$

$$L_t = 200 \text{ mm} + 2(2 \times 9,525 \text{ mm})$$

$$L_t = 238,1 \text{ mm}$$

Con base al resultado obtenido se determina que para el laboratorio X, con el área de trabajo la longitud total del ítem es de 238,

mm para una barra corrugada No.3.

En el momento de realizar el corte de los ítems de ensayo se deben ser cortados garantizando la longitud necesaria en función del diámetro nominal y la longitud de agarre de cada una de las máquinas de los laboratorios que estén participando en una intercomparación, cumpliendo los requisitos mínimos para ejecutar un ensayo de tracción; también se garantiza que los ítems de ensayo estén libres de soldaduras, cemento ni presencia de óxido, ni de corrosión que afecte la integridad de la muestra que se va a ensayar.

Posterior al corte los de las barras estas son marcadas inmediatamente por la designación sugerida en el protocolo de ensayos.

La identificación de los ítems de ensayo de tracción en la intercomparación de laboratorios deben estar identificadas. Esta identificación no se debe modificar en ningún momento cuando se estén ejecutando los ensayos, esto con el fin de garantizar la trazabilidad en todo el proceso y que no afecte el estudio estadístico.

La Identificación será de la siguiente manera, ver tabla 3.

Tabla 3

Identificación de las barras

B	#	-	Z	#	-	N	#	-
Barras corrugadas	Número de designación de la barra corrugada	-	Zona de donde se extrae la muestra	Número asignado de la zona	-	Número de la barra utilizada	Número asignado a la barra	-

Rp	#	-	Rm	#
Velocidad para la resistencia a tracción	Valor de la velocidad correspondiente al ítem de ensayo	-	Velocidad para la resistencia máxima	Valor de la velocidad correspondiente al ítem de ensayo

Nota: Creación Propia

[illegible]

Nota: Creación Propia

- Designación de ítem: Se refiere a la designación del ítem de ensayo.
- No. De informe de Ensayo: hace referencia al número del informe de resultados.
- R_m (MPa): Resultado del esfuerzo máximo.
- R_p Método Autográfico MPa: Se refiere al método utilizado para calcular el esfuerzo de fluencia.
- R_p Método offset (0,2%) MPa: Se refiere al método utilizado para calcular el esfuerzo de fluencia.
- A %: Porcentaje de elongación del ítem de ensayo
- Velocidad de fluencia (mm/min): Velocidad utilizada para el esfuerzo de fluencia.
- Velocidad máxima (mm/min): Velocidad utilizada para el esfuerzo máximo.
- Observaciones: En el caso que se requiera comentar algo sobre el ítem de ensayo.

En la Figura 17 se muestra un ejemplo del formato utilizado para la adquisición de los datos.

Formato adquisición de datos

Discusión y conclusiones

El presente trabajo confirma que la condiciones dimensiones de longitud de las muestras de ensayo para cada uno de los laboratorios participantes son diferentes y dependen directamente de la disposición de la máquina de ensayos usada en cada uno de ellos, es por esto que para el uso correcto de la guía de ensayos se debe contar con muestras con medidas específicas para el uso en cada uno de los laboratorios.

Si bien es cierto que los rangos de velocidad del ensayo están incluidos en la norma NTC 3353, esta establece que dichos rangos se deben calcular con base en las condiciones de las máquinas de ensayos usada y no se tienen rangos de velocidad específicos que permitan relacionar resultados de esfuerzo máximo a altas velocidades con los resultados experimentales obtenidos en el ensayo.

Con el protocolo de ensayos se pretende tener un documento guía para realizar una intercomparación entre laboratorios y conocer la influencia que tiene el cambio de la velocidad con la que se aplica la fuerza para un ensayo de tracción a diferentes diámetros de barras corrugadas. Por lo que se invitara a otros laboratorios que cumplan con los requisitos mínimos del protocolo y realizar el ejercicio de intercomparación.

5. Referencias Bibliográficas

EPM, (2019), NORMA DE CONSTRUCCIÓN ACERO DE REFUERZO. Consultado en: https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Aguas/NC_MN_OCO7_07_Acero_de_refuerzo.pdf?ver=2019-03-19-113444-017

F. Gálvez, J.M. Atienza, J. Ruiz, M. Elices.
EL EFECTO DE LA VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN EN LA ROTURA DE ALAMBRES DE ACERO DURANTE

EL TREFILADO. Consultado en: https://www.researchgate.net/profile/F_Galvez/publication/266070388_EL_EFECTO_DE_LA_VELOCIDAD_DE_DEFORMACION_EN_LA_ROTURA_DE_ALAMBRES_DE_ACERO_DURANTE_EL_TREFILADO/links/5506c3ce0cf2d60c0e6d8a1d.pdf.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (2011). Decreto 92. (17, enero, 2011), Por el cual se modifica el Decreto 926 de 2010. (Diario Oficial 47957, enero 19 de 2011 y Diario Oficial 47969, enero 31 de 2011). Bogotá. Colombia.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSRIO, Segunda actualización. Bogotá: Asociación colombiana de ingeniería sísmica. AIS, 2010. Bogotá. Colombia.

ICONTEC (2010), NTC 2289 barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación para refuerzo de concreto. Octava actualización. Bogotá. Colombia. ICONECTC.

ICONTEC (2019), NTC 3353. Definiciones y métodos para los ensayos mecánicos de productos de acero. Bogotá. Colombia. ICONECTC.