

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN O ANTECEDENTES

## 1.1. El Problema

### 1.1.1. Planteamiento

La necesidad de analizar la calidad de los aceros corroídos comprende un campo extenso, siendo un material primordial de las construcciones.

Para el desarrollo de los estudiantes y población que están enfocados en la construcción, es de gran importancia que tengan conocimiento del acero corroído y sus propiedades mecánicas, para así poder garantizar buenas construcciones, evitar fisuraciones y que las obras cumplan con la capacidad de resistencia a la cual fue diseñada, por tal motivo decidí realizar el análisis y evaluación técnica de la resistencia a tracción en armadura de construcción expuesta al medio ambiente.

### 1.1.2. Formulación

¿Qué características mecánicas a tracción llegarán a tener los aceros de construcción corroídos por diferentes periodos de tiempo expuesto a la intemperie en obras paralizadas?

### 1.1.3. Sistematización

El problema nace a consecuencia de las paralizaciones de las obras por: caso fortuito, fuerza mayor u otro tipo de situación (desembolso económico, virus COVID-19 a nivel mundial y entre otros).

El efecto a producir de este problema es de gran importancia, disminuyendo así su calidad, resistencia y deformación del acero, provocando inestabilidad en las estructuras y baja resistencia.

La solución a este problema es el análisis de las armaduras corroídas por medio de ensayos en laboratorio, para saber si cuenta con las características mecánicas mínimas a tracción que debe cumplir.

Para comprender mejor el problema que se pretende resolver se puede observar la matriz PCES que se encuentra en el **Anexo 1**.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar las características mecánicas a tracción de armaduras expuestas al medio ambiente durante diferentes lapsos de tiempo, mediante la máquina universal de ensayo.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Determinar el porcentaje de reducción de la sección transversal de los aceros corroídos.

Realizar pruebas a tracción para diámetros menores e iguales a 20 mm.

Realizar el análisis y comparación de la curva tensión - deformación de aceros corroídos y aceros nuevos.

Comparación de las propiedades mecánicas de los aceros corroídos con las características mecánicas mínimas proporcionadas por la norma boliviana NB 732.

Determinar el alargamiento porcentual, módulo de elasticidad y relación tracción/fluencia de los aceros corroídos.

Determinar el grado de corrosión

Determinar los tipos de protección contra la corrosión de los aceros.

Determinar los métodos de limpieza y/o eliminación de la corrosión.

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Teórica**

Esta investigación se realizará con el propósito de aportar al conocimiento existente sobre la corrosión de los aceros estructurales, debido a que estos estudios serán de gran importancia para la continuación de obras paralizadas.

Además, como parte de mi titulación, podré aplicar todos los conocimientos adquiridos al cursar mis estudios para así fortalecer los mismos, especialmente lo relacionado a la mención de Estructuras. Esta investigación pertenece al área de Ingeniería Civil que corresponde a realizar un análisis de la resistencia a tracción en aceros corroídos.

### **1.3.2. Metodológica**

Se reunirán muestras representativas de barras de acero corroídas de distintas obras paralizadas y serán ensayadas mediante el ensayo de prueba a tracción normalizada por la norma boliviana NB 732 y NB 736, que será realizado en el laboratorio de maderas de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, en la máquina universal de ensayos, como resultado se tendrá la obtención de las propiedades de dichos materiales.

Se hará una comparación y un posterior análisis de los resultados obtenidos.

Para lograr los objetivos propuestos, se recurrirá al empleo de técnicas de investigación de otros estudios o proyectos y su procesamiento en un software para comparar su resistencia, peso, diámetro y esfuerzo primordialmente.

### **1.3.3. Práctica**

La presente investigación se orienta a realizar un análisis comparativo de las características mecánicas a tracción de los aceros corroídos, así también conocer los productos y/o materiales que puedan aplicarse para la limpieza y protección.

Con la finalidad de evitar la pérdida de las propiedades mecánicas del acero debido a la corrosión, no se deben detener los experimentos ni buscar alternativas que tengan la posibilidad de que dicho material se mantenga en buenas condiciones para su uso.

El resultado de la investigación basada en la resistencia a tracción permitirá, por ende, elaborar estrategias concretas para mejorar el uso o no de los aceros corroídos.

## **1.4. Alcance de Estudio**

### **1.4.1. Tipo de estudio**

El presente proyecto es de tipo investigativo.

### **1.4.2. Hipótesis**

Al realizar los ensayos a tracción de los diferentes aceros corroídos, se obtendrá valores menores que las características mecánicas mínimas especificadas por la norma boliviana NB 732.

### **1.4.3. Restricciones**

No se podrá hacer uso de la máquina universal de ensayo del laboratorio de la Facultad de Ciencias y Tecnología debido a las fallas que presenta.

El no contar con el químico Hexametilentetramina (químico especificado por la norma ASTM G1 para la limpieza de corrosión) en el laboratorio de química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, se procede a hacer limpieza de las varillas manualmente mediante un cepillo acerado.

No se realizará ensayos químicos para la determinación de la pérdida de compuesto por colada debido a que no se cuenta con la instrumentación necesaria en el laboratorio de química de la Facultad de Ciencias y Tecnología.

Se realizará ensayos únicamente para diámetros menores e iguales a los 20 mm debido a que la mordaza de mayor diámetro se rompió y no son aptas para ser usadas en los ensayos.

Debido a que la máquina universal es muy antigua, y que a su vez se realizaron muchos ensayos, esta se malogro en la función que cumplía para poder graficar la curva tensión vs deformación.

Los ensayos se realizarán solo por las mañanas debido a los protocolos de bioseguridad.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Fundamento Teórico**

Debido a la gran cantidad de información que puede obtenerse a partir de este ensayo, es sin duda alguna, uno de los test mecánicos más empleados para el acero. La versatilidad del ensayo de tracción radica en el hecho de que permite medir al mismo tiempo, tanto la ductilidad, como la resistencia. El valor de resistencia es directamente utilizado en todo lo que se refiere al diseño. Los datos relativos a la ductilidad, proveen una buena medida de los límites hasta los cuales se puede llegar a deformar el acero en cuestión, sin llegar a la rotura del mismo.

Este ensayo consiste en someter una muestra corroída de acero, denominada probeta, de sección uniforme y conocida, a una fuerza de tracción que va aumentando progresivamente. En forma simultánea se van midiendo los correspondientes alargamientos de la probeta.

Por diferentes razones y en todo lugar se puede apreciar una obra paralizada, ya sea por una u otra razón, dando lugar a la presente investigación que proporcionara el análisis de los aceros corroídos durante diferentes periodos de tiempo. **Anexo 2**

#### **2.1.1. Acero**

El acero es el metal más importante utilizado para fines estructurales porque combina una alta resistencia, tanto en tensión como en compresión, con gran rigidez (módulo de elasticidad elevado), y facilidad de fabricación. El acero es un material dúctil por naturaleza, que tiene, además un comportamiento estable bajo inversiones de carga y tiene una relación resistencia/peso favorable (AHMSA, 2013).

Es una aleación en caliente de carbono con el metal hierro y puede tener más aleaciones como el azufre, fósforo, manganeso, etc. en la que el porcentaje de carbono no supera el 2% en peso.

Cuando los valores son superiores al 2% de carbono se forman fundiciones y aleaciones con muy pequeña cantidad de carbono y se denomina hierro o hierro dulce.

La diferencia entre ambos es que las fundiciones se fabrican mayormente por moldeo, mientras que los aceros son, por su ductilidad, fácilmente deformables en caliente mediante la técnica de forja, extrusión o laminación.

De hecho, el acero también se le ha conocido como "hierro forjable" y a la fundición "hierro colado" en virtud de la técnica más favorable para trabajar el material.

El acero se distingue del hierro dulce en que este puede templarse adquiriendo una gran dureza mientras que el hierro dulce (dúctil y blando, aunque resistente) no puede endurecerse mediante dicho procedimiento, incluso a este estado endurecido se le llama "acritud" por contraposición a la "dulzura" natural del hierro.

Para las barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, para refuerzo de concreto el análisis químico de cada colada se debe realizar de acuerdo con la norma ASTM A751. El fabricante debe efectuar un análisis de cada colada de acero a partir de muestras de ensayo tomadas preferiblemente durante el vaciado de la colada. Se deben determinar los porcentajes de carbono, manganeso, fósforo, azufre, silicio, cobre, níquel, cromo, molibdeno, niobio y vanadio.

La composición química para el análisis de colada debe limitarse a los siguientes valores:

*Tabla 1. Composición química para el análisis de colada.*

| <b>Composición química de colada</b> |                 |
|--------------------------------------|-----------------|
| <b>Elemento</b>                      | <b>% máximo</b> |
| Carbono (C)                          | 0,35            |
| Manganeso (Mn)                       | 1,5             |
| Fósforo (P)                          | 0,05            |
| Azufre (S)                           | 0,05            |
| Silicio (Si)                         | 0,5             |
| Carbono equivalente                  | 0,55            |

\*El carbono equivalente (%) se determina con la siguiente ecuación:

$$C.E. = \%C + \%Mn/6 + (\%Cr+\%Mo+\%V)/5 + (\%Ni+\%Cu)/15$$

*Fuente: Norma Boliviana NB 732, Anexo A (Características adicionales).*

Colada del acero. Es el proceso que se realiza a partir del material fundido en los hornos, que se pasa a una cuchara y de esta a moldes llamados lingoteras.

### **2.1.2. Acero en barras corrugadas**

El acero corrugado es el más empleado para construir estructuras de hormigón armado como ser: vigas, columnas, fundaciones, losas entre otros por el cual es necesario realizar controles

de calidad para garantizar su comportamiento mecánico cuando este sea parte de los elementos estructurales ya mencionados.

Las barras corrugadas tratan de aceros que presentan resaltos o corrugas que mejoran la adherencia con el hormigón, y poseen una gran ductilidad, la cual permite que las barras se puedan cortar y doblar con mayor facilidad lo cual es conveniente para quien trabaja con este material.

A continuación, se nombrarán las definiciones sobre el acero corrugado y su ensayo a tracción:

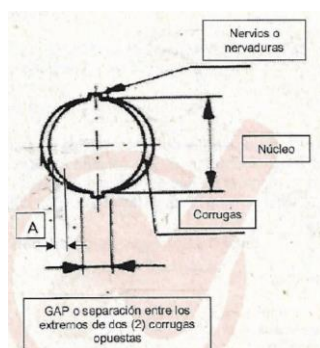
### **Diámetro nominal**

Es el diámetro de las barras indicado por el fabricante y estampado en la superficie de las mismas. Es el valor que se utiliza para el cálculo de la tensión de fluencia ( $f_y$ ) y la resistencia a tracción.

### **GAP**

Separación entre extremos de dos corrugas opuestas en una misma sección (**figura 1**).

*Figura 1. Representación del GAP.*



*Fuente: Norma Boliviana NB 732.*

### **Núcleo**

Es la parte de la barra no afectada por las corrugas ni por los nervios.

### **Perímetro nominal**

Es el perímetro que posee la barra corrugada suponiendo que es una barra de circunferencia perfecta en relación con el diámetro nominal.

### **Sección nominal**

Es el área de sección recta o en un corte transversal. Para cada diámetro nominal existe un valor de sección nominal.

### **Corrugas**

Son las deformaciones realizadas en la superficie de las barras, no paralelas al eje longitudinal de las mismas, para mejorar la adherencia con el hormigón.

### **Nervios o nervaduras**

Son las deformaciones continuas en la superficie de las barras, paralelas al eje longitudinal de las mismas, hechas para mejorar la adherencia con el hormigón y evitar el giro de las barras una vez dentro de ese material.

### **Peso por metro lineal**

Es el valor del peso de las barras por unidad de longitud. Para cada diámetro nominal, existe un valor de peso por metro lineal.

### **Acero de dureza natural**

Es el material conformado a temperaturas elevadas por encima de la temperatura de recristalización. Este material se caracteriza porque presenta un punto notorio de fluencia en la curva tensión vs deformación, después del cual se observa cedencia antes de volver a incrementarse la carga.

### **Cedencia**

Es el incremento constante de la deformación, sin incremento notable de esfuerzo, en la curva tensión vs deformación de las barras sometidas a tracción. La cedencia se produce después del punto de fluencia en los aceros de dureza natural.

### **Acero estirado en frío**

Es el material conformado a temperaturas por debajo de la temperatura de recristalización (generalmente a temperatura ambiente). Este material no presenta un punto notorio de fluencia en la curva tensión vs deformación. En esta se observa un incremento permanente e ininterrumpido del esfuerzo para valores crecientes mayores de deformaciones.



### Resistencia a tracción ( $f_s$ )

Se denomina resistencia a la tracción al esfuerzo correspondiente a la fuerza máxima registrada en el ensayo de tracción. Se obtiene dividiendo esa carga máxima entre el área nominal calculada en base al diámetro nominal de la barra.

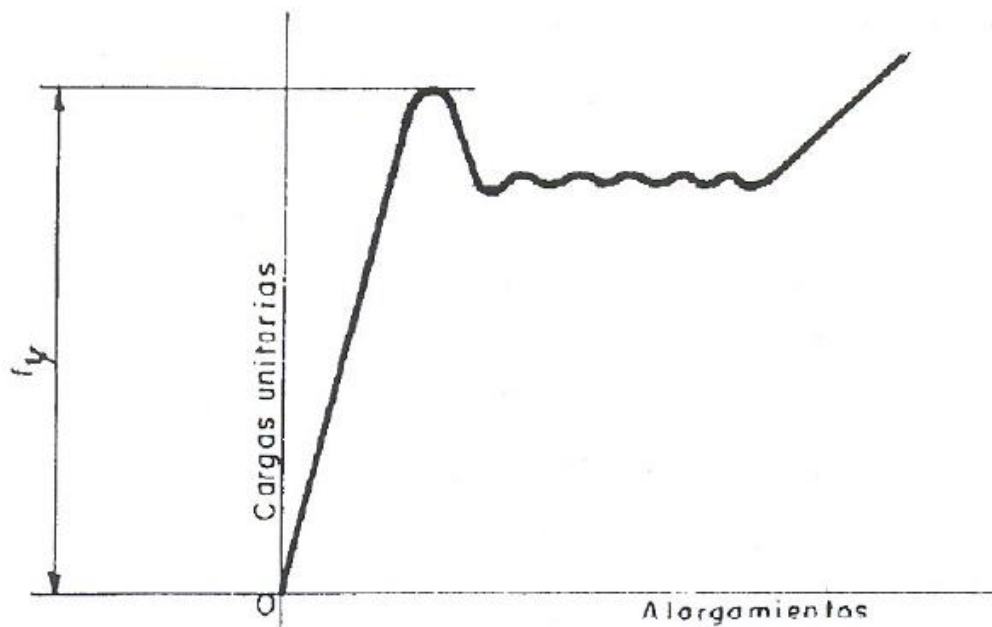
### Alargamiento o Elongación después de la rotura ( $A_r$ )

Es el incremento de la longitud de referencia o de calibración de las barras después del ensayo de resistencia a tracción, conducido hasta la rotura, expresado como porcentaje de la longitud de referencia o de calibración inicial.

### Tensión de Fluencia ( $f_y$ )

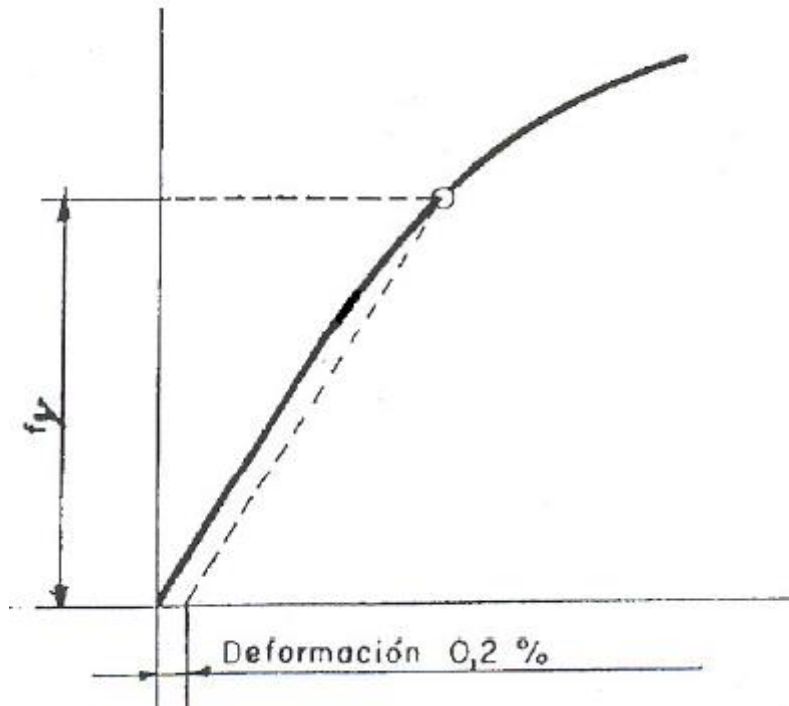
Es el esfuerzo correspondiente al punto alcanzado durante el ensayo de resistencia a tracción, para el cual ocurre la deformación plástica sin un incremento de la fuerza. En el caso de los aceros de dureza natural, se asumirá como tensión de fluencia el primer máximo local en la curva tensión vs deformación antes de la cedencia (**figura 2**). Para los aceros estirados en frío, se define la fluencia convencional como el valor de la tensión obtenido para el 0.2 % de deformación plástica (**figura 3**).

Figura 2. Fluencia  $f_y$  para el acero de dureza natural.



Fuente: Norma Boliviana NB 732.

Figura 3. Fluencia  $f_y$  para el acero de estirado en frío.



Fuente: Norma Boliviana NB 732.

### Clasificación

Las barras corrugadas de acero para refuerzo de hormigón armado se clasifican de acuerdo a su resistencia a la fluencia según la norma boliviana en:

Barras de AH 400 MPa

Barras de AH 500 MPa

Barras de AH 600 MPa

AH: Acero de Dureza Natural para Hormigón

### Masa por metro lineal

La masa por metro lineal de las barras para refuerzo de hormigón armado, debe ser la indicada en la Tabla 2 para cada diámetro nominal indicado con una tolerancia máxima del 6%. La determinación de la masa por metro lineal se realizará tomando una barra de por lo menos 500 milímetros, debidamente pulida en sus extremos, y midiendo con una cinta métrica o regla metálica con 1 mm de resolución. Se pesará la barra utilizando una balanza con al menos 0.1 g de resolución.

Tabla 2. Masa por metro lineal.

| Diámetro nominal Ø en mm (*) | Masa por metro lineal M, en kg/m | Perímetro nominal, en mm | Área o sección nominal en mm <sup>2</sup> |
|------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---|
| 6                            | 0,222                            | 18,8                     | 28,3                                      |
| 6,3                          | 0,245                            | 19,8                     | 31,2                                      |
| 8                            | 0,395                            | 25,1                     | 50,3                                      |
| 9,5                          | 0,560                            | 29,8                     | 70,9                                      |
| 10                           | 0,617                            | 31,4                     | 78,5                                      |
| 12                           | 0,888                            | 37,7                     | 113,1                                     |
| 12,5                         | 0,963                            | 39,3                     | 122,7                                     |
| 12,7                         | 0,994                            | 39,9                     | 126,7                                     |
| 15,9                         | 1,552                            | 50                       | 198,6                                     |
| 16                           | 1,578                            | 50,3                     | 201,1                                     |
| 19,1                         | 2,235                            | 60                       | 286,5                                     |
| 20                           | 2,466                            | 62,8                     | 314,2                                     |
| 22                           | 2,984                            | 69,1                     | 380,1                                     |
| 25                           | 3,853                            | 78,5                     | 490,9                                     |
| 25,4                         | 3,973                            | 79,8                     | 506,7                                     |
| 32                           | 6,313                            | 100,5                    | 804,2                                     |

(\*) Se pueden elaborar otros diámetros nominales a pedido del comprador, y las masas por metro lineal se calcularán a partir de un valor de densidad del acero igual a 7850 kg/m<sup>3</sup>.

Fuente: Norma Boliviana NB 732.

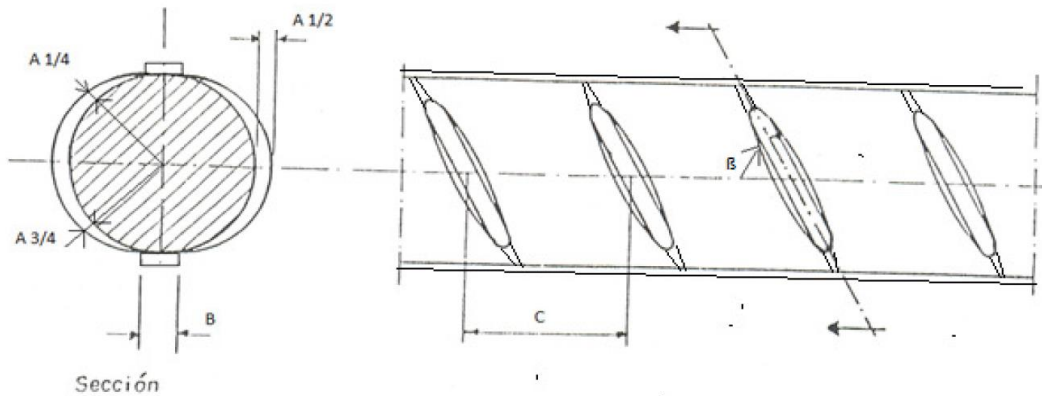
### Geometría del corrugado

La geometría del corrugado de las barras debe ser la que se describe a continuación:

- El ángulo de inclinación de las corrugas  $\beta$  (Ver **Figura 4**), debe estar entre 45 y 75°.
- Las barras deben tener por lo menos 2 nervios longitudinales continuos y diametralmente opuestos que impidan el giro de las barras dentro del hormigón.
- La altura media de las corrugas (A en la **Figura 4**) debe ser igual o mayor al 4 % del diámetro nominal para barras con diámetros iguales o superiores a 10 mm e igual o mayor al 2 % para barras con diámetros menores a 10 mm.
- La separación entre corrugas (C en la **Figura 4**) debe estar entre el 50 y 80 % del diámetro nominal.

- La suma del ancho de los nervios (B en la **Figura 4**) no debe sobrepasar el 15 % del perímetro nominal de la barra. Además, las corrugas deben extenderse hasta los nervios.

*Figura 4. Geometría del corrugado.*



*Fuente: Norma Boliviana NB 732.*

La medición de las características geométricas debe realizarse de la siguiente manera:

- La altura media de las corrugas debe determinarse en al menos dos corrugas situadas en lados opuestos de la nervadura longitudinal, haciendo tres mediciones en las ubicaciones denominadas A 1/2, A 1/4 y A 3/4 como se muestra en la **Figura 4** para cada corruga.
- La separación entre corrugas se determinará dividiendo entre 10 la distancia entre cresta y cresta de la primera y la onceava corruga, contando 11 corrugas consecutivas.
- El ancho de los nervios o nervaduras se obtendrá realizando al menos dos mediciones en cada una de las nervaduras opuestas.

### **Acabado de las barras**

Las barras corrugadas para refuerzo de hormigón deben estar libres de defectos superficiales perjudiciales tales como exfoliaciones (escamas), corrosión profunda, manchas de aceite, reducción de la sección y fisuras. La corrosión superficial puede ser admitida siempre y cuando no afecte la conformación geométrica de las barras. En caso de duda sobre los defectos superficiales observados, el material debe ser sometido a ensayos para comprobar sus propiedades.

## Características Mecánicas

Las barras de acero de refuerzo de hormigón deben cumplir con las características mecánicas mínimas indicadas en la Tabla 3 de acuerdo a su clasificación en base a la tensión de fluencia.

Tabla 3. Características mecánicas mínimas.

| Clasificación | Tensión de fluencia $f_y$ , (MPa) | Resistencia a tracción $f_s$ , (MPa) | Alargamiento a la rotura ( $A_r$ ), en $10 \phi^1$ , (%) | Relación $f_s/f_y$ |
|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------|
| 400           | 400                               | 480                                  | 10   | 1,20               |
| 500           | 500                               | 600                                  | 8  | 1,20               |
| 600           | 600                               | 690                                  | 5  | 1,15               |

Fuente: Norma Boliviana NB 732.

### 2.1.3. Propiedades relevantes

#### 2.1.3.1. Resistencia

El acero estructural es un material homogéneo e isótropo de calidad uniforme que permite soportar grandes esfuerzos, por lo que en la mayoría de los casos se obtienen miembros con espesores relativamente pequeños en comparación con sus otras dimensiones.

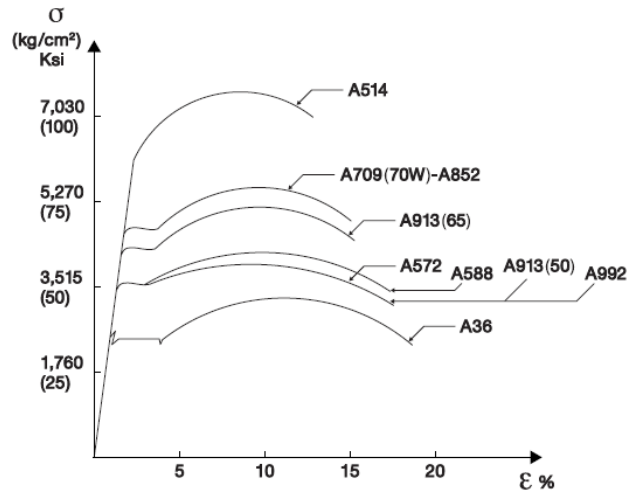
Estas propiedades le dan mayores niveles de seguridad a una estructura sobre todo cuando está sujeta a esfuerzos causados por cargas accidentales, principalmente sismo o viento, ya que estas fuerzas pueden ocasionar inversiones de esfuerzos.

La resistencia a las diversas sollicitaciones de los miembros estructurales de acero depende de la forma del diagrama tensión-deformación, y particularmente de las tensiones de fluencia  $F_y$  y resistencia a tracción  $F_s$ .

En el diseño de una estructura se buscará el equilibrio entre fuerzas externas e internas de tal manera que se obtenga una estructura resistente a las sollicitaciones actuantes.

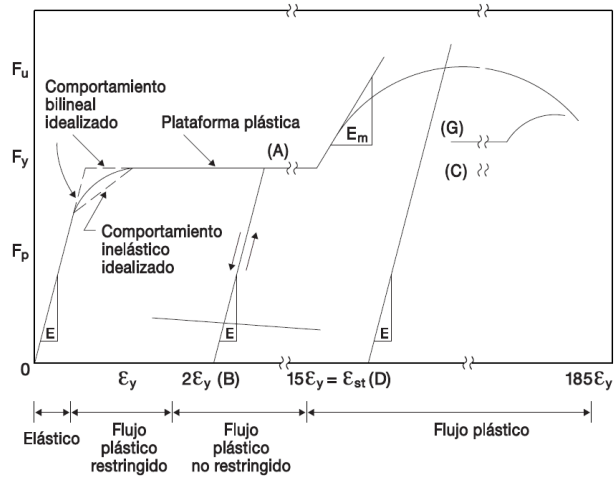
La gráfica debe mostrar una zona amplia de deformaciones crecientes bajo tensiones constante, con alargamiento a la ruptura no menor del 20% en probeta de 50 mm (2") y una zona de endurecimiento por deformación, tal que la relación entre la resistencia a tracción y la tensión de fluencia,  $F_s/F_y$  esté comprendida entre 1.2 y 1.8 (AHMSA, 2013).

Figura 5. Tensión-deformación para varios grados de acero estructural.



Fuente. Manual de Diseño para la Construcción con Acero. Altos Hornos de México 2013.

Figura 6. Tensión-deformación. Intervalos de comportamiento estructural.



Fuente. Manual de Diseño para la Construcción con Acero. Altos Hornos de México 2013.

### 2.1.3.2. Ductilidad

El acero es un material dúctil por naturaleza, que tiene además un comportamiento estable bajo inversiones de carga y tiene una relación resistencia- peso conveniente.

El acero puede aceptar deformaciones importantes más allá del límite elástico sin fallar, tiene pues capacidad para permitir las deformaciones inelásticas que puedan requerirse. Puede utilizarse para construir estructuras estáticamente indeterminadas que satisfagan los requisitos de diseño sísmico. Es, por consiguiente, muy conveniente para construcciones

ubicadas en zonas de alta sismicidad. No obstante, la ductilidad intrínseca del acero no se conserva necesariamente en la estructura terminada, por lo que debe procederse con mucho cuidado durante el diseño y la construcción para evitar la pérdida de esta propiedad.

No todos los aceros cumplen con los requisitos de ductilidad que se requieren en zonas de alta sismicidad; específicamente se requiere un comportamiento como el que se muestra en la **figura 6** en que se representa esquemáticamente la gráfica tensión deformación de una probeta durante la prueba de tracción.

El hecho de que el acero estructural sea dúctil no implica que la estructura fabricada con este material sea también dúctil; por el contrario, para lograrlo deben tomarse en cuenta una serie de precauciones, a veces no fáciles de conseguir, que son los que hacen que una estructura de acero pueda considerarse adecuada para funcionar en zonas sísmicas.

La ductilidad depende fundamentalmente de la composición química del acero, de la estructura metalográfica y de la forma, tamaño y distribución de las inclusiones no metálicas y de segregaciones. Esta propiedad ha adquirido una importancia fundamental en los criterios actuales de diseño sísmico de estructuras (AHMSA, 2013).

#### **2.1.3.3. Soldabilidad**

La soldabilidad se define como el conjunto de propiedades que tiene un acero estructural para permitir efectuar uniones o conexiones soldadas que presenten características suficientes de continuidad metalúrgica, tomando en cuenta que esta propiedad debe definirse respecto a un proceso de soldadura determinado. Las características del acero, y particularmente su composición química influyen de manera importante en la soldabilidad (AHMSA, 2013).

#### **2.1.3.4. Tenacidad**

Es la medida de energía por unidad de volumen necesaria para deformar un cuerpo hasta el momento de la fractura. Esta propiedad tiene importancia especial en el diseño sismorresistente.

Se utiliza la prueba de impacto charpy en V para determinar la capacidad que tiene un acero para absorber energía hasta llegar a la fractura. Los factores que influyen en la tenacidad del acero son: composición química, estructura metalográfica, inclusiones no metálicas y segregaciones. Con relación a la composición química del acero, la presencia de elementos

fragilizantes como el carbono, fósforo, nitrógeno, actúan en detrimento de la tenacidad. La presencia de estructuras frágiles y la presencia de grano grueso influyen de manera perjudicial en la tenacidad del acero (AHMSA, 2013).

#### **2.1.4. Adherencia del acero**

La adherencia hormigón-acero es el fenómeno básico sobre el que descansa el funcionamiento del hormigón armado como material estructural. Si no existiese adherencia, las barras serían incapaces de tomar el menor esfuerzo de tracción, ya que el acero deslizaría sin encontrar resistencia en toda su longitud y no acompañaría al hormigón en sus deformaciones, con lo que, al fisurarse éste, sobrevendría bruscamente la rotura. Por el contrario, dada la adherencia son capaces las armaduras de trabajar, simultáneamente con el hormigón; cuando la estructura se fisura, lo hace de forma regularmente distribuida a lo largo de la pieza, en virtud de la adherencia.

La adherencia permite que el acero tome los esfuerzos de tracción, manteniendo la unión entre los dos materiales en las zonas entre fisuras.

La adherencia cumple fundamentalmente dos objetivos: asegurar el anclaje de las barras y transmitir las tensiones tangentes periféricas que aparecen en la armadura principal como consecuencias de las variaciones de su tensión longitudinal.

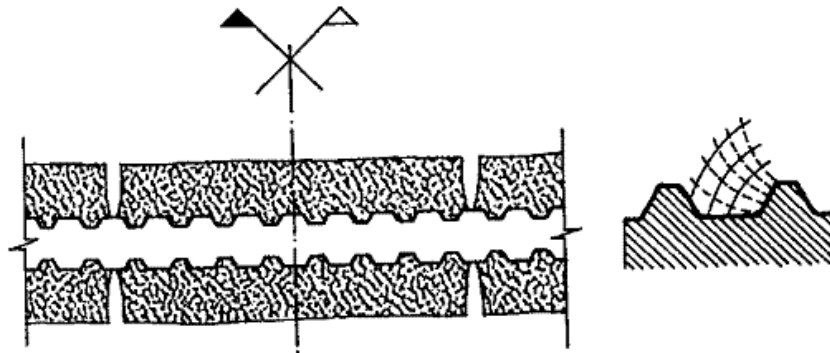
El fenómeno de adherencia está originado por dos tipos de causas, unas de naturaleza física (o físico-química) y otras de naturaleza mecánica.

Las primeras provocan la adhesión del acero con el hormigón, a través de fuerzas capilares y moleculares desarrolladas en la interfaz; es como si el acero absorbiese pasta cementante, ayudado por el efecto de la retracción.

Las segundas mucho más importantes, están constituidas por la resistencia al deslizamiento debida a la penetración de pasta de cemento en las irregularidades de la superficie de las barras. Esta causa de origen mecánico, que puede denominarse rozamiento, es la que produce la mayor parte de la adherencia en las barras lisas (hoy día prácticamente en desuso) y varía apreciablemente con el estado de su superficie. En el caso de barras corrugadas, a este rozamiento se añade el efecto de acunamiento del hormigón entre los resaltos, de primordial importancia (**Figura N°7**).



Figura 7. Efectos de acuíñamiento del hormigón entre corrugas.



Fuente. Adherencia entre el hormigón y el acero (Civil, 2020).

En resumen, el mecanismo de la adherencia puede asignarse a tres causas: adhesión, rozamiento (tensiones tangentes en el hormigón) y acuíñamiento (de las corrugas). De estas tres causas, la adhesión queda anulada cuando el deslizamiento de la barra alcanza una cierta magnitud. Por su parte, el rozamiento comienza a actuar cuando la tensión alcanza un cierto valor; y a él se añade el acuíñamiento, no siendo posible separar ambos efectos.

### 2.1.5. Corrosión

La corrosión, es la alteración de la composición y la integridad física de un material sólido por causa de una reacción química o electroquímica generada en su superficie, con su medio ambiente, tendiente a buscar su forma más estable o de menor energía interna (Camacho, 2012).

Según el medio en que se desarrolla, los procesos de corrosión son: de naturaleza química o de naturaleza electroquímica.

#### 2.1.5.1. Naturaleza química de la corrosión

En la corrosión química o disolución directa, se eliminan átomos de un material en virtud de la solubilidad o de la reacción química entre dicho material y el líquido que lo circunda. En este tipo de corrosión, un material se disuelve en un medio corrosivo líquido o solvente, hasta que se consume totalmente o hasta que el líquido se sature (Camacho, 2012).

#### 2.1.5.2. Naturaleza electroquímica de la corrosión

La corrosión electroquímica o polarizada, se presenta cuando los átomos del metal pierden electrones y se convierten en iones. Es un proceso de desgaste, destrucción o deterioro

electroquímico por la acción y reacción del metal con el medio que lo rodea (reacciones de oxidación y reducción simultáneas). Conforme el metal se consume gradualmente, se forma normalmente un subproducto del proceso de corrosión. La corrosión electroquímica ocurre con mayor frecuencia en un medio acuoso, en donde los iones están presentes en el agua, la tierra o el aire húmedo. En este proceso se crea un circuito eléctrico y el sistema se conoce como celda electroquímica (Camacho, 2012). Este tipo de corrosión es la forma más común de ataque en los metales.

#### **2.1.5.3. Corrosión de metales**

La corrosión metálica es el desgaste superficial que sucede cuando los metales se exponen a ambientes reactivos. Los compuestos químicos que constituyen los productos de tal desgaste son semejantes a los de las rocas que se encuentran en la corteza terrestre. Las reacciones de corrosión ocasionan que los metales regresen a sus menas originales (Camacho, 2012).

#### **2.1.5.4. Formas de corrosión de metales**

La corrosión metálica de acuerdo a la forma de manifestarse (aparición del metal corroído) se clasifica en ocho formas: (1) Ataque uniforme o general; (2) corrosión galvánica o bimetalica; (3) corrosión en grieta o hendidura; (4) picadura; (5) corrosión intergranular; (6) disolución selectiva o lixiviación; (7) corrosión por erosión; y (8) corrosión bajo esfuerzo. Algunas de las ocho formas son únicas, pero todas están más o menos relacionadas (Camacho, 2012).

La **corrosión general** o **uniforme** es quizá la forma más comúnmente encontrada e importante en pérdidas económicas. Producida por una reacción química o electroquímica más o menos uniforme en toda la superficie expuesta y de espesor aproximadamente constante, se caracteriza por el adelgazamiento progresivo y uniforme del componente metálico. No provoca falla repentina por ser de fácil detección y predicción por medio de pruebas de laboratorio que permiten estimar el espesor y velocidad de ataque (Camacho, 2012)

La **corrosión galvánica** o **bimetalica** ocurre cuando dos o más metales distintos se acoplan eléctricamente y resulta de la diferencia de potencial entre los metales generando un flujo de corriente. El metal más activo se corroe rápidamente, mientras que el metal menos activo no se corroe o lo hace en forma lenta (Camacho, 2012).

La **corrosión en grietas o hendiduras** es electroquímica, se presenta en espacios confinados conteniendo disoluciones. Ocurre en juntas, remaches, pernos, depósitos porosos, etc. Para generar corrosión, las grietas deben ser muy finas, menores de un milímetro de ancho, sin importar el material superficial (Camacho, 2012).

La **picadura** es una forma de ataque extremadamente localizado que produce pequeños hoyos en la superficie del metal, cuyo ancho es comparable o menor que su profundidad. Es aceptable en equipo y maquinaria mientras no perfora el metal; se considera como concentradora de esfuerzos, puede originar grietas por corrosión o fractura en elementos estructurales. Las picaduras pueden pasar inadvertidas por cubrirse con productos de corrosión. Su cantidad y profundidad presentan gran variabilidad lo que dificulta la predicción y evaluación del daño por corrosión (Camacho, 2012).

La **corrosión intergranular** se presenta en las fronteras de grano en las aleaciones, por ser más reactiva que la matriz. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, las interfaces del grano son más reactivas y provocan la corrosión intergranular. Este tipo de corrosión reduce la resistencia de la aleación. Se puede disminuir con tratamiento térmico después de soldar (Camacho, 2012).

La **corrosión por disolución selectiva o lixiviación** es la eliminación de un elemento en una aleación sólida. Los aceros inoxidable austeníticos y martensíticos eliminan ferrita por disolución, el concreto hidráulico libera cal libre (Camacho, 2012).

La **corrosión erosiva** es la aceleración o incremento en la velocidad de deterioro o ataque sobre un metal debido al movimiento relativo entre un fluido corrosivo y la superficie del metal. Generalmente, este movimiento es muy rápido e involucra efectos mecánicos de desgaste o abrasión. El metal es removido de la superficie en forma de iones disueltos, o en forma de productos sólidos de corrosión que son mecánicamente barridos de la superficie del metal. La corrosión erosiva está caracterizada por un aspecto de surcos, cárcavas, olas, agujeros redondeados y valles, que generalmente presentan un patrón direccional (Camacho, 2012)

El agrietamiento por **corrosión bajo esfuerzo** es originado por la presencia simultánea de esfuerzos de tensión y un medio corrosivo específico. Este tipo de corrosión es peligroso y difícil de controlar. Es causada por enfriamiento desigual, precipitación y transferencia de

fase, mal diseño, o trabajo o soldado en frío y ocurre generalmente en aleaciones comerciales sujetas a esfuerzos de tensión altos. En metales dúctiles la falla es frágil (Camacho, 2012)

#### **2.1.5.5. Intemperismo o grados de corrosión**

Se llama intemperismo o grado de corrosión a la condición de la superficie metálica aun no tratada, para determinar la correcta forma de prepararla para recibir el esquema de protección adecuado a las condiciones a las que estará expuesta. Estos son:

**Grado A:** Superficie de acero completamente cubierta por cascarilla de laminación intacta con poca o ninguna corrosión. Corresponde a la superficie de un acero recién laminado.

**Grado B:** Superficie de acero con incipiente corrosión atmosférica, en la cual la cascarilla de laminación ha comenzado a agrietarse y desprenderse.

**Grado C:** Superficie de acero en que la corrosión elimino la cascarilla, sólo dejando oxidación; en el caso que todavía haya cascarilla, esta podrá ser removida por raspado.

**Grado D:** Superficie de acero en que la cascarilla de laminación fue eliminada por corrosión y hay formación de picaduras (cavidades visibles a simple vista, siempre de mayor profundidad que ancho). (Dias, 2006)

#### **2.1.6. Problemas presentados en las estructuras por corrosión**

La corrosión es una de las causas más comunes de deterioro de las estructuras de hormigón armado, esta puede afectar al acero (por reducción de su sección y propiedades mecánicas), al hormigón (por su fisuración) y a la sección en conjunto acero-hormigón (pérdidas de la adherencia).

##### **2.1.6.1. Efectos en el hormigón**

Debido a la formación de productos derivados durante el proceso de corrosión de armadura dentro de un elemento estructural, ocurre un fenómeno de expansión volumétrica, esta expansión a su vez provoca tensiones radiales que generan esfuerzos de tracción al hormigón. Cuando la generación de estos productos de corrosión es excedida por la capacidad de migración de los mismos a través de los poros del hormigón son superados por los esfuerzos de tracción producidos por los productos derivados de la corrosión. Esto provoca fisuración y desprendimiento del recubrimiento.

Cuando se trata de un elemento sometido principalmente a compresión (por ejemplo, las columnas) y se llega a desprender el hormigón, las consecuencias es la pérdida de sección resistente, lo cual disminuye la rigidez del elemento.

Cuando se trata de un elemento sometido principalmente a flexión, como las vigas, se produce la pérdida de resistencia a la compresión del hormigón circundante a la armadura corroída, lo cual disminuye la ductilidad y aumenta la presencia de grietas (Josue Paredes, 2013).

#### **2.1.6.2. Efectos en el acero**

La reducción de la sección transversal de la armadura de refuerzo es el efecto más inmediato de la corrosión, debido a la disolución del metal en las zonas anódicas. Esto implica la pérdida de capacidad resistente de forma progresiva y afecta la seguridad y funcionalidad de la estructura. La corrosión puede producirse de manera uniforme a lo ancho de la sección de la armadura, en estos casos la pérdida de resistencia es aproximadamente proporcional a la pérdida de sección. Distinto caso supone la presencia de picaduras, las cuales suponen una concentración de esfuerzos de tensión triaxial que producen un comportamiento mecánico frágil en el material (Josue Paredes, 2013).

#### **2.1.6.3. Efectos en el sistema Hormigón Armado**

Una de las características que permiten que el acero y el hormigón trabajen conjuntamente es la adherencia junto con el anclaje entre ambos, durante el proceso de corrosión aparecen productos que quedan expuestos al contacto con el hormigón, por lo tanto, la naturaleza de la frontera entre el acero y hormigón es variable, y se pierde la adherencia con el acero.

Al incrementarse las tensiones radiales ejercidas por los productos de la corrosión, se producen en mayor medida las fisuras en el hormigón. A niveles pequeños de corrosión se aumenta la adherencia entre el acero y el hormigón, pero con niveles de corrosión que producen las primeras fisuras, la adherencia entre ambos materiales disminuye súbitamente.

Una varilla corroída, presenta mayores afectaciones, como es lógico, en la corruga que en la sección en sí. En barras de refuerzo en las que se ha perdido el 3% de sección transversal, puede haberse perdido hasta un 20% de la corruga, lo cual perjudica el acuanamiento entre el acero y el hormigón. (Josue Paredes, 2013)

### **2.1.7. Protección anticorrosiva (Revestimientos de protección)**

La aplicación de revestimientos de protección a las fijaciones viene dada, especialmente, para obtener una protección contra los fenómenos de la oxidación, o para dar unas características determinadas a la superficie tratada como: disminución del coeficiente de rozamiento o elevación de la conductividad eléctrica.

#### **Inhibidores de corrosión**

Los aditivos inhibidores de la corrosión son sustancias químicas que, añadidas al agua de amasado, mantienen pasivo al acero de las armaduras en presencia de los factores agresivos, por lo que puede resultar eficaces para prevenir el efecto de la carbonatación o de los iones cloruros en las estructuras de hormigón armado, la acción de los inhibidores no es definitiva, simplemente retrasan el proceso de corrosión.

La aplicación de inhibidores en la protección de estructuras ya construidas se lleva a cabo directamente sobre la superficie del hormigón. El compuesto orgánico migra a través de la estructura porosa endurecida del hormigón llegando a la armadura por fenómenos de acción capilar, difusión de vapor y atracción iónica. Una vez ha alcanzado la armadura, forma una capa debido a un triple efecto: la separación de iones de las sales, reacción y enlace con la superficie del metal y, por último, fijación de la capa por adsorción física. Como consecuencias, se produce una drástica reducción de la corrosión al producirse un cambio de potencial en las áreas anódicas y catódicas, por formación de una capa hidrofóbica que impide la penetración de iones cloruro y desplazando los que puedan estar presentes en la superficie del acero. En estructuras de nueva construcción, la aplicación de este sistema se lleva a cabo mediante la adicción de inhibidores directamente durante el amasado del hormigón. (Josue Paredes, 2013)

#### **Pinturas**

Las pinturas están conformadas básicamente por tres componentes que son: el vehículo (resinas - no volátiles; disolventes - volátiles), los pigmentos y los aditivos.

Las resinas son las formadoras de película y son el componente más importante y les dan el nombre a las pinturas (pinturas de caucho clorado, epóxicas, poliuretano, etc.). Actúan como

aglomerante de los pigmentos, y afectan sus propiedades (impermeabilidad, flexibilidad, continuidad secada, etc.).

El pigmento está formado por partículas en suspensión y le dan el color a la pintura. Para la protección de estructuras metálicas son importantes los pigmentos que le otorgan características anticorrosivas a la pintura, como el azarcón (óxido de plomo - color naranja), cromato de zinc (color amarillo de zinc), cromato de plomo (color naranja, pero menos efectivo que el óxido de plomo), entre otros.

Los aditivos se agregan en pequeñas cantidades y le dan propiedades específicas a la pintura (secantes, etc.)

Los disolventes son líquidos volátiles que reducen la viscosidad de las resinas y permiten mejorar la uniformidad de la capa de pintura, controlar el secado, siendo importante en la limpieza de los instrumentos de aplicación.

Las pinturas actúan a través de diferentes mecanismos en la protección de la superficie del acero:

**Protección por barrera:** aún sin tener pigmentos inhibidores de corrosión como los mencionados arriba, la pintura actúa como una barrera mecánica que permite aislar la superficie de acero del medio ambiente. La permeabilidad al vapor de agua es una variable importante, siendo las pinturas de caucho clorado las más impermeables y las alquídicas las de menor impermeabilidad.

**Protección anódica:** mediante pigmentos anticorrosivos sumados a la protección por barrera ofrecen una solución eficiente.

**Protección catódica:** utilizando un pigmento en base a zinc en polvo se fabrican pinturas ricas en zinc, también llamadas galvanización en frío, que con altos contenidos de zinc y logrando un contacto efectivo entre las partículas de zinc y el acero base, actúa como ánodo.

Las principales resinas utilizadas en la protección de estructuras de acero son:

**Resinas de Caucho Clorado:** es una resina mono-componente resistente a ácidos, álcalis y sales, a agentes oxidantes, a la humedad y al desarrollo de hongos, aunque es termoplástica, por lo que no debe aplicarse a elementos expuestos a temperaturas superiores a los 70°C.

**Resinas Vinílicas:** son resinas de secado rápido que se conocen usualmente como látex y se fabrican en base a acetato de vinilo o cloruro de vinilo o ambos, logrando una excelente resistencia química, especialmente a los álcalis.

**Resinas Alquídicas:** conocidas usualmente como esmalte o primer sintético, son más permeables y menos resistentes que las anteriores. Cuando se modifican con aceites y vegetales dan origen a nueva resina de mayor adherencia y flexibilidad.

**Resinas Acrílicas:** son mono-componentes en base a disolventes orgánicos o agua, también conocidos como látex, tienen en el último tiempo, aplicación sobre aceros al carbono gracias al desarrollo de aditivos y pigmentos que los protegen. Resisten bien la corrosión y el intemperismo. Son inodoras, por lo que se prestan para su aplicación en recintos como hospitales o industrias alimenticias.

**Resinas Epóxicas:** en su gran mayoría son bi-componentes y presentan una alta resistencia química y física, y muy buena flexibilidad y dureza. Al sol pierden su brillo volviéndose opacas (por pulverización). Muy usadas en mantenimiento industrial, equipos portuarios y marinos como “primers” para recibir una terminación en poliuretano. Existen también en base agua, apropiadas para la industria alimenticia.

**Resinas de Poliuretano:** pinturas en base a resinas de poliuretano se usan en forma de esmaltes y barnices como una forma de terminación con una muy buena resistencia a la intemperie, y gran dureza, flexibilidad y brillo. Muy usadas sobre bases epóxicas en aeronáutica, marina, obras industriales y en grandes estructuras.

#### **2.1.8. Soluciones al problema de la corrosión**

Las soluciones para prevenir la ocurrencia de la corrosión son variadas y dependen, en gran medida, del ambiente al que estará expuesta la estructura y el material a proteger. Para enfrentar adecuadamente el problema es necesario ordenar el proceso de toma de decisiones a partir del siguiente esquema de secuencia:

- Evaluación de condiciones
- Preparación de la superficie
- Aplicación de la protección
- Mantenimiento



Sin embargo, se puede tener en consideración algunas precauciones que, desde la perspectiva del diseño, contribuyen a prevenir la ocurrencia de la corrosión.

### **Recubra el acero normal con plásticos especiales**

El recubrimiento del acero con plásticos especiales resistentes al desgaste constituye otra forma de protección contra la corrosión; sin embargo, el alto coste que implica el proceso de recubrimiento (en talleres especializados) hace que este método no sea práctico para uso diario.

### **Prevención de la corrosión en estructuras**

Para prevenir que exista la posibilidad de que en un futuro la corrosión provoque un deterioro en la estructura de hormigón armado, se debe tomar en cuenta 3 parámetros que son:

- Que el hormigón tenga una estructura de poros adecuada
- Que el recubrimiento tenga el espesor suficiente
- Que el hormigón esté libre de cloruros

A partir de los parámetros anteriores, es importante tener en cuenta:

- Los procesos de difusión de los ataques ya sea por carbonatación o por la presencia de iones de cloruro
- La humedad
- La temperatura

Estos parámetros indicados nos ayudarán de una u otra forma para poder prevenir la corrosión y que esta no cause daño en la estructura de hormigón armado (Josué Paredes, Juan Prieto y Eduardo Santos, 2013).

#### **2.1.9. Clasificación según el método de limpieza**

##### **a) Químicos**

- Desengrase
- Decapado en caliente
- Removedores de pinturas
- Lavados químicos

**b) Físicos**

- Escobillado manual
- Limpieza mecánica
- Limpieza con llamas

**c) Arenados y granallados**

- Metal blanco
- Casi metal blanco
- Comercial
- Brush off

**Desengrasado por disolventes**

Se debe hacer siempre antes de cualquier otro tratamiento: remover grasa, oleos, tierra, polvo.

Secuencia:

- a) Remover con cepillos duros los restos de tierra, cemento, etc.
- b) Remoción de aceites.
  - Fregado con paños, pinceles, cepillos embebidos en disolvente (aguarrás, xilol, bencina, toluol).
  - Inmersión en disolvente. Se debe cuidar la contaminación del disolvente.
  - Chorros de disolventes.
  - Vapor de disolvente para piezas pequeñas: deben ser no inflamables (percloroetileno, tricloroetileno, cloruro de metilo).

**Limpieza manual**

Martillos, picadores, raspadores, espátulas, cepillos de acero, lana de acero (virulana), lija o esmeril.

Eliminar cascarilla de laminación suelta, restos de pintura y óxido parcialmente suelto.

Secuencia:

- Remoción de aceite.
- Remoción oxidación estratificada con martillos y picadores.
- Remoción cascarilla y oxidación suelta con cepillos.

- Remoción polvo y polvo de oxidación con cepillo, paño o aire.

### **Limpieza mecánica**

Cepillos rotatorios, discos abrasivos, esmeriles y lijadoras rotatorias u orbitales.

Remover cascarilla de laminación parcialmente suelta, restos de pintura y oxidación parcialmente suelta.

Secuencia:

- Remoción de aceites.
- Remoción oxidación estratificado o cascaras con martillos y picadores.
- Remoción cascarilla y oxidación suelta con cepillos
- Eliminar polvos y polvo de oxidación.

### **Limpieza a fuego**

Con sopletes se suelta la cascarilla de laminación por diferencial de dilatación térmica. Más efectiva que la limpieza manual, pero más rigurosa (incendio, explosión, deformación).

### **Chorro abrasivo metal blanco**

Elimina grasas, cascarilla de laminación, óxido, pinturas antiguas, etc.

Terminación: 100% de la superficie de color grisácea-plateada, uniforme.

### **Chorro abrasivo comercial**

Elimina grasas, cascarilla de laminación, óxido, pinturas antiguas, etc.

Terminación: 65% de la superficie de color grisácea, resto con leves muestras de sombras decoloración.

### **Chorro abrasivo ligero – brush off**

Remueve vestigios de grasas, cascarilla de laminación, óxido, pinturas antiguas, etc.

Terminación: suave brillo metálico. Los restos de cascarilla, oxido o pinturas antiguas deberán quedar firmemente adheridos.

## **Decapado químico**

Remueve cascarilla de laminación y escamas de óxido. Baños de ácidos: clorhídrico, sulfúrico, fosfórico:

Secuencia: desengrase, decapado, neutralizado.

Terminación: superficie uniforme gris metálico.

## **Chorro abrasivo casi metal blanco**

Elimina grasas, cascarilla de laminación, óxido, pinturas antiguas, etc.

Terminación: 95% de la superficie de color grisácea libre de toda sombra. Esto puede mostrar ligeras sombras o venas.

Uno de los aspectos importantes a tener en consideración es generar un perfil de anclaje adecuado entre la superficie de acero y la capa de pintura de protección, que se recomienda no sea inferior a 1/3 del espesor de la pintura.

### **2.1.10. Máquina universal**

La Máquina Universal de Ensayos consiste en dos partes esenciales: una para pruebas en compresión y tensión (estructura superior) y un método para observar la fuerza aplicada. Una gran variedad de ensayos se puede realizar en una máquina universal con sus diversos accesorios. Las siguientes son algunas de las pruebas más comunes.

#### **a) Zona de Tensión**

- Resistencia a la tracción
- Módulo de elasticidad
- Elongación

#### **b) Zona de compresión**

- Compresión de metales dúctiles y de metales frágiles
- Compresión de cerámicas y concreto
- Esfuerzo cortante
- Resistencia y deflexión en vigas
- Resistencia en columnas

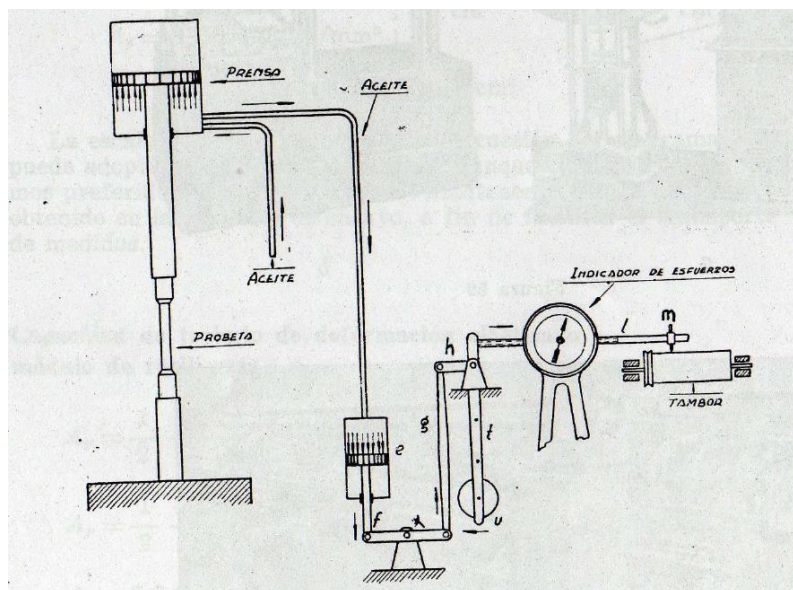
La máquina universal, de accionamiento hidráulico, está constituido por los siguientes conjuntos principales:

- Bomba de aceite con inyección regulada
- Prensa hidráulica
- Dinamómetro registrador de cargas y diagrama.

La variante fundamental entre una máquina universal de ensayo y una prensa hidráulica radica en dispositivo para registrar las cargas aplicadas y las deformaciones del material. El registrador de esfuerzos es un dinamómetro pendular hidráulico y su principio de funcionamiento se deduce de la representación esquemática de la **figura 8**. En la misma se puede observar que la presión del aceite que actúa en la prensa se comunica a un pequeño cilindro, el que posee un émbolo en cuyo vástago acciona una palanca *f* que desplaza hacia arriba a un par de barras *g*, imprimiendo un movimiento de rotación a la palanca acodada *h* que finalmente desplaza la varilla roscada que mueve la aguja del registrador.

Para equilibrar el esfuerzo transmitido, el sistema posee un péndulo *t*, solidario al eje de rotación de la palanca *h*, el que cuenta con un contrapeso que puede ser desplazado y fijado en distintas posiciones de acuerdo a las cargas máximas a equilibrar, obteniéndose como consecuencia escalas apropiadas en el registrador.

*Figura 8. Esquema de funcionamiento.*



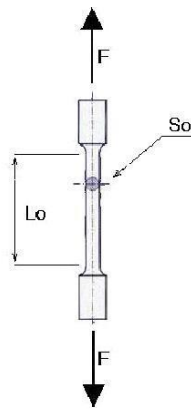
*Fuente. Resistencia de Materiales, Escuela Industrial Superior. 2010.*

### 2.1.11. Ensayo a tracción

Entre los ensayos para determinar propiedades mecánicas de los materiales, el ensayo de tracción es el más utilizado por la sencillez en la preparación de la probeta y ejecución del ensayo, así como por la repetibilidad y fiabilidad de los resultados que se derivan del mismo.

La probeta del ensayo de tracción para materiales metálicos suele tener forma cilíndrica, donde es aprisionada lateralmente por unas mordazas para evitar que la probeta se deslice a lo largo de ellas al aplicar una carga longitudinal.

Figura 9. Disposición general del ensayo de tracción.



Fuente. *Determinación de propiedades mecánicas de materiales comerciales*. Andrés García Galet. 2018.

La información que se precisa en el ensayo de tracción es la fuerza  $F$  que se aplica y el alargamiento  $\Delta L$  que se está produciendo en la probeta. Para la medida de esta segunda magnitud existen diferentes métodos.

El método más sencillo de aplicar y sin requerir instrumentación adicional sobre la probeta, es tomar la separación de las mordazas como referencia. Esta alternativa de medida tiene dos inconvenientes: el primero es que en el inicio de la aplicación de la carga puede originarse un desplazamiento relativo entre la probeta y las mordazas. Considerando que el resultado generado suele ser lo suficientemente representativo para la mayoría de las aplicaciones, se podría asumir ese desplazamiento. El segundo inconveniente es debido a que la medida de la separación longitudinal de las mordazas incluye la zona recrecida de la probeta y la de transición, por lo que para la evaluación de magnitudes puntuales implica tomar valores promedios y como consecuencia los resultados no son tan precisos. Por ello, se desestima

este método y se determina optar por procedimientos que tomen medidas sobre la parte central de la probeta.

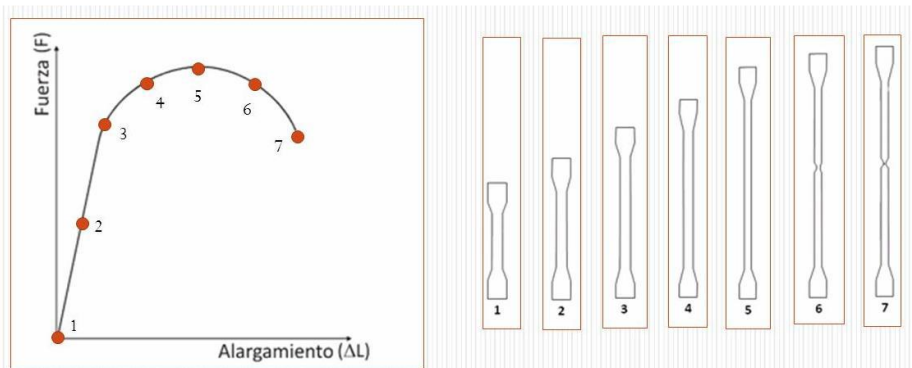
Uno de los métodos para medir sobre la parte central de la probeta es utilizar un extensómetro que se fija a dos puntos de la probeta y mide la separación entre ambos puntos. Debido a su exactitud en la medida de la magnitud a medir y que es un instrumento reutilizable en tantos ensayos como se necesiten.

Centrándonos en la descripción del ensayo de tracción, habitualmente la fuerza es aplicada en uno de los extremos mientras que la otra mordaza permanece fija. No obstante, simbólicamente se representa el ensayo de tracción como se puede observar en la **figura 9**, en la que la fuerza de tracción es aplicada desde los dos extremos.

En lo correspondiente al control del ensayo, en la mayoría de las máquinas existe la posibilidad de controlar por unidad de tiempo la fuerza aplicada o el desplazamiento de las mordazas. En cualquiera de los casos, la carga debe aplicarse moderadamente para evitar efectos dinámicos.

De acuerdo con lo indicado anteriormente, la representación más habitual que se obtiene de forma directa del ensayo de tracción es un diagrama fuerza-alargamiento como se muestra en la **figura 10**. En este diagrama, sus puntos característicos y sus posiciones relativas entre ellos pueden variar sustancialmente incluso para un mismo material, ya que la fuerza necesaria para deformar o romper un material depende del área de la sección transversal de la probeta.

*Figura 10. Diagrama fuerza-alargamiento.*



*Fuente. Determinación de propiedades mecánicas de materiales comerciales. Andrés García Galet. 2018.*

Por ello, al diagrama que resulta del ensayo de tracción se le va a hacer un cambio de escala en ambos ejes con respecto al representado en la **figura 10**. Si aislamos un trozo de la probeta cortando por un plano perpendicular al eje de la misma y admitimos que en un extremo hay actuando una fuerza  $F$  y en el otro hay una tensión  $\sigma$  que se distribuye uniformemente en la sección transversal  $A_0$  el equilibrio del trozo aislado lleva a:

$$F = \sigma A_0 \rightarrow \sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

Si por otra parte suponemos que el incremento de longitud  $\Delta L$  se distribuye homogéneamente a lo largo de la zona de medida  $L_0$ , podemos definir una deformación longitudinal  $\epsilon$  constante de valor:

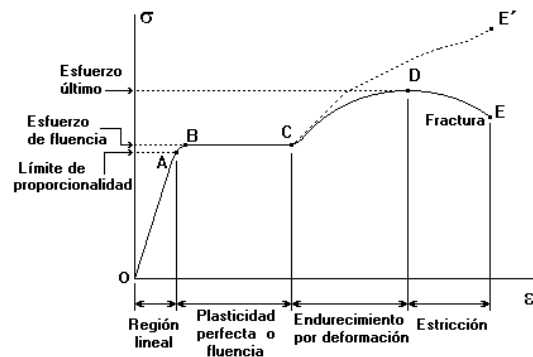
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

Tras las ecuaciones (1) y (2) se puede aplicar un cambio de escala al diagrama que aparece en la **figura 10** para obtener una relación entre tensión longitudinal y deformación longitudinal. Dicha transformación conduce a un diagrama esquemático como el que se representa en la **figura 11**, donde se han marcado los puntos y tramos importantes del diagrama.

La medida de la sección transversal original también se compara con la sección transversal final para obtener la **reducción del área**.

$$AR = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \quad (3)$$

*Figura 11. Diagrama esquemático tensión-deformación en el ensayo de tracción de un acero.*



*Fuente. Determinación de propiedades mecánicas de materiales comerciales. Andrea García Galet.*

2018.



Hay que destacar, en primer lugar, que el uso de la expresión (1) da lugar a un valor de tensión que no es real para cada instante de tiempo ya que en esa expresión se está dividiendo la fuerza que actúa por el área transversal inicial de la probeta. Sin embargo, se sabe que, al mismo tiempo que al aplicar una fuerza  $F$  se produce un alargamiento en la dirección de aplicación de  $F$ , también se produce un acortamiento en dirección transversal, lo que conlleva a una reducción del área transversal, que instantáneamente tomará valores  $A$  ( $A < A_0$ ). Ello daría lugar a un valor instantáneo de tensión  $\sigma_v$ , llamada tensión verdadera o real, de:

$$\sigma_v = \frac{F}{A} > \sigma \quad (4)$$

Dicho valor de tensión viene representado por la línea de trazo discontinuo que se observa en la **figura 11**, el cual se vuelve significativamente mayor a partir del comienzo de la estricción. Pese a todo esto, el ensayo de tracción no se estudia en variables de tensión verdadera, sino que se estudia en variables ingenieriles, que, como se verá a continuación, revelan la información necesaria de este ensayo.

Por tanto, para describir este ensayo, se va a ir recorriendo la línea OABCDE haciendo hincapié en el comportamiento del material y hablando de algunos valores de interés.

- **Tramo OA:** Tramo de comportamiento elástico lineal. En este tramo se observa una proporcionalidad entre los valores de  $\sigma$  aplicados y los alargamientos unitarios experimentados, lo cual da lugar a una propiedad importante de los materiales que veremos más adelante. Por otra parte, se observa una reversibilidad total del proceso de carga, teniendo el material la propiedad general de elasticidad que viene referida a la propiedad de recuperar su forma y tamaño una vez desaparecen las cargas a las que es sometido. Durante todo este tiempo el material tiene como memoria un único estado de referencia, el estado indeformado, al que vuelve independientemente del historial de carga (siempre que sea cuasi estática) sufrido por el material dentro de esta zona. El valor que limita este comportamiento es denominado como límite de proporcionalidad,  $\sigma_p$ .
- **Tramo AB:** Tramo de comportamiento elástico no-lineal. En este tramo se mantiene el carácter elástico del material, pero se pierde la proporcionalidad entre tensión y deformación, es decir, si se le aplica una fuerza al material que lo lleve entre los puntos A y B, al quitar la fuerza la descarga se produce por la línea BAO. El valor de

tensión que limita este comportamiento se denomina usualmente como límite elástico noval,  $\sigma_e^N$ , denominación que se entenderá al estudiar el tramo CD.

- **Tramo BC:** Escalón de cedencia del material. Macroscópicamente se observa que el material no requiere de un aumento de tensión para que la deformación crezca. Esto se conoce como cedencia o fluencia del material, aunque no en todos los materiales aparece o tiene el mismo grado de nitidez. Dicha fluencia está caracterizada por un valor  $\sigma_F$  el cual está muy próximo al límite elástico noval del material. De hecho, en lo que sigue identificaremos operativamente los valores hasta ahora definidos:

$$\sigma_p \cong \sigma_e^N \cong \sigma_F = \sigma 0.002 \quad (5)$$

La dificultad de medir dichos valores hace que normalmente se tome como valor del límite elástico del material aquel valor que deja una deformación permanente en la probeta de 0,002.

- **Tramo CD:** Tramo de endurecimiento por deformación. Una vez pasado el escalón de cedencia el material necesita que se aumente la tensión para que aumente la deformación. Este tramo es no lineal disminuyendo continuamente la pendiente de la curva  $\sigma - \varepsilon$ .

Tanto en este tramo como en el anterior se ha terminado el comportamiento elástico, sin embargo, el material sigue teniendo dicha propiedad. Si suponemos un punto P dentro del tramo CD y se lleva a cabo la descarga de la probeta, la descarga no seguirá la línea PCBAO, sino que irá por una nueva línea  $PO'$  la cual es paralela a la línea de comportamiento elástico OA, alcanzando en el estado descargado el punto  $O'$ . Esta situación es la que caracteriza el comportamiento elastoplástico en el que parte de la deformación total que tenía el material ( $\varepsilon_T$ ) se recupera elásticamente ( $\varepsilon_e$ ) y parte se queda en el material ( $\varepsilon_p$ ) recibiendo el nombre de deformación plástica o permanente, cumpliéndose que:

$$\varepsilon_T = \varepsilon_e + \varepsilon_p \quad (6)$$

Si una vez descargado el material vuelve a ser cargado la evolución se produce a lo largo de la línea  $O'P$  de manera elástica lineal equivalente a la asociada a la línea OA ya descrita, teniendo un límite elástico aparente ( $\sigma_{ea}$ ) de valor más alto que el límite

elástico noval. Por tanto, una manera de conseguir un acero con un límite elástico mayor consiste en llevarlo hasta la zona de comportamiento elastoplástico dando lugar a aceros que reciben genéricamente el nombre de estirados en frío.

Volviendo al diagrama representado en la **figura 11**, cuando se alcanza el punto D, sea cual sea el camino seguido, se alcanza el valor de la tensión de rotura del material,  $\sigma_R$ , que es una propiedad no alterable mecánicamente, como sí lo era el límite elástico.

- **Tramo DE:** Zona de estricción. A partir de un cierto instante correspondiente al punto D, se observa en el ensayo de tracción que cada vez hace falta menos fuerza para separar las mordazas, lo que indica que la probeta opone menos resistencia. La disminución de la fuerza que hace falta aplicar para separar las mordazas viene asociada de la aparición de una disminución localizada y claramente perceptible de la sección transversal de la probeta, fenómeno que recibe el nombre de estricción.

Dado que en este caso el área transversal instantánea  $A$  es sensiblemente menor a la inicial  $A_0$ , conviene estudiar la evolución de la tensión verdadera  $\sigma_v$  que está representada por un trazo discontinuo en el diagrama de la **figura 11**.

En la zona elástica e incluso en la elastoplástica no hay una diferencia significativa entre el diámetro original y el diámetro instantáneo por lo que la tensión real  $\sigma_v$  es sólo algo superior a la tensión ingenieril  $\sigma$ . A partir del instante en que comienza la estricción, el diámetro instantáneo, y por tanto el área instantánea  $A$ , decrecen considerablemente, por lo que  $\sigma_v$ , la cual crece hasta el momento de la rotura, se separa del valor de tensión nominal  $\sigma$ .

Esto prueba que realmente el material sigue resistiendo en este periodo, ya que la tensión real continúa aumentando hasta el final. Por todo lo demás, el comportamiento en esta zona es elastoplástico y análogo al del tramo adyacente ya explicado.

En cualquier caso, es razonable asignar el valor de  $\sigma_R$  al máximo de la tensión ingenieril, aun sabiendo que la tensión real o instantánea sigue aumentando, porque  $\sigma_R$  está asociada al valor máximo de la carga que el elemento puede soportar, careciendo de interés el valor máximo en el instante de rotura del material porque ese valor corresponde a una carga menor debido a la estricción.

Por todo esto resulta lógico estudiar el ensayo de tracción en variables ingenieriles y no en las variables reales, ya que estas nos dan toda la información necesaria y además son más sencillas de evaluar. (Galet, 2018)

## **2.2. Tipo de Investigación**

Es una investigación de tipo cuantitativa porque se llegará a obtener valores con los cuales se harán comparaciones para un análisis correspondiente.

Se estudiarán variables como ser: el tiempo, peso y el diámetro de los aceros corroídos y cómo influyen estos en sus características mecánicas para ser aceptados o rechazados en la continuación de las obras paralizadas.

## **2.3. Medios y Herramientas**

Los medios y herramientas utilizadas para la realización de este proyecto son los siguientes: **(ver Anexo 3)**.

Laboratorio de maderas de la facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.

Máquina universal de ensayo.

Computadora.

Extensómetro.

Vernier.

Flexómetro.

Sierra mecánica.

Amoladora.

Cepillo acerado.

Balanza con capacidad de 3300g.

Alargador de corriente.

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

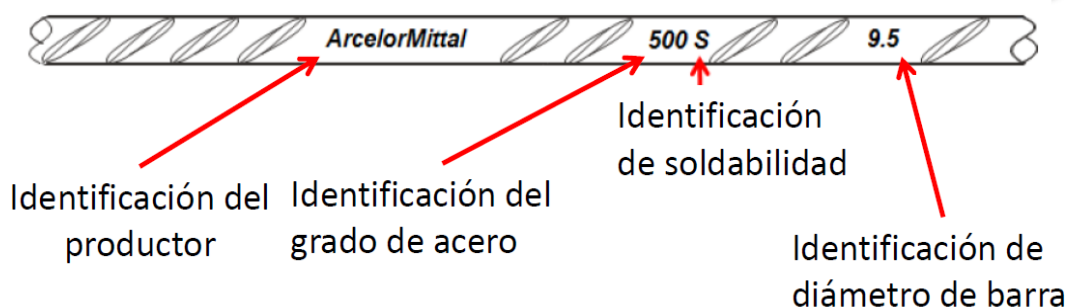
El ensayo consiste en someter una probeta a un esfuerzo axial de tracción creciente, generalmente hasta la rotura.

### 3.1. Selección de Muestras

En la recolección de las muestras, se presentaron diferentes inconvenientes al momento de poder ingresar a las obras paralizadas, ya sea porque no había nadie en la construcción o por algunos problemas legales lo cual impedía el ingreso a cualquier persona. En las obras que si se lograron poder hablar con el encargado se les hizo llegar una carta ya sea para una construcción particular, privada o pública, obteniendo así respuestas favorables como también desfavorables (**Anexo 4**).

Otro dato importante que se tuvo en cuenta en el momento de conseguir las muestras, es la marcación que tiene las barras corrugadas, cada fabricante tiene una forma específica de marcar el acero, estas figuras se dan a manera de información y no hacen parte de la norma.

Figura 12. Ejemplo para el marcado de barras.



Fuente. Producto ArcelorMittal AH 500 S. Octubre 2018.

Paralelamente se realizó un registro fotográfico de todas muestras, véase en el **Anexo 5**.

### 3.2. Preparación de Probetas

Una vez realizada la búsqueda de los aceros en las obras paralizadas, se procede a definir y seleccionar las muestras, cortando un trozo recto (alineado) del material con un tamaño de acuerdo a las características de la máquina que utilizaremos.

Ya cortadas las probetas con una longitud comprendida entre 50 y 51 cm, se procede al cepillado para sacar toda la corrosión posible, de forma que, al hacer uso de la máquina estás

no se puedan resbalar debido a su corrosión y pueda generar problemas en el transcurso de los ensayos. (**Anexo 6**)

Sobre toda la longitud útil de ensayo, se realizarán marcas para la longitud inicial de referencia ( $l_0$ ), cada 10 veces el diámetro nominal de la barra, por cualquier procedimiento que no produzca ningún efecto sensible de entallamiento sobre la probeta, pues en caso contrario podrían producirse roturas prematuras.

### **3.3. Aparatos**

#### **3.3.1. Máquina de tracción**

Se usará una máquina de ensayos a tracción, marca Amsler de industria alemana, con capacidad máxima de 400 KN, calibrada por la Autoridad Competente (por lo menos una vez al año), que sea al menos de clase 1 y que cumpla las siguientes características:

- La máquina debe estar provista de un sistema de regulación de cargas tal, que estas puedan aumentarse de forma continua y sin saltos bruscos.
- La lectura de cargas debe realizarse apreciando al menos el 1 % de la carga máxima del ensayo. Para ser válidas las lecturas obtenidas, deben estar comprendidas entre el 10 % y el 90 % de la capacidad máxima de la escala empleada.
- En todos los casos, el elemento de lectura debe disponer de un indicador de la carga máxima alcanzada.

De forma extraordinaria la máquina de ensayo será verificada siempre que se sospeche de la existencia de algún error o cuando se efectúe cualquier operación de mantenimiento y/o reparación.

#### **3.3.2. Extensómetro**

Cuando sea necesario utilizar un extensómetro, este debe estar calibrado y tener una precisión de al menos 0.001 mm (1 micra). El extensómetro deberá poder ser colocado adecuadamente en la probeta de ensayo.

### **3.4. Procedimiento de Ensayo**

Las probetas deben sujetarse a la máquina de ensayo por métodos apropiados en función del tipo de mordazas de la máquina. Se procurará que en todo momento que el eje longitudinal

de la probeta sea paralelo a la dirección de la fuerza de tracción. Para este fin, es recomendable que al menos una de las mordazas esté dotada de los dispositivos adecuados para conseguir la alineación.

La velocidad de aplicación de la carga para la determinación de la tensión de fluencia debe ser lo más constante que sea posible y estar entre 1 MPa y 11 MPa por segundo. Una vez determinada la fluencia, se puede incrementar la velocidad hasta 100 MPa por segundo.

En el caso de los aceros de dureza natural, la tensión de fluencia ( $f_y$ ) puede determinarse directamente en el ensayo, observando y registrando cuidadosamente el valor máximo local de la carga antes de que se produzca la cedencia, es decir antes de que se inicie la deformación plástica. En ese momento se produce un incremento importante de las deformaciones sin un incremento importante de las cargas o más aún sin incremento alguno o incluso con un leve decremento de las mismas. Una vez registrado ese valor, se puede incrementar la velocidad de aplicación de las cargas, hasta obtener la carga máxima y luego hasta que se produzca la rotura.

Para los aceros estirados en frío, debe necesariamente dibujarse un diagrama carga deformación o tensión-deformación con los datos tomados en el ensayo. Una vez dibujado ese gráfico se procede a determinar la fluencia para el 0,2 % de deformación plástica.

Si la máquina de ensayo posee un sistema de registro que permite dibujar ese gráfico, entonces generalmente se puede programar el registro de ese valor. En los casos en que quede duda acerca del punto de fluencia, se recomienda proceder como lo indicado para los aceros estirados en frío.

Una vez concluido el ensayo y registrada la carga máxima, se procede a desmontar la probeta ensayada de la máquina de ensayo para poder medir el alargamiento o elongación después de la rotura  $A_r$ . Esto se consigue uniendo los pedazos rotos de la probeta de ensayo, de manera que calcen lo mejor posible uno contra el otro. Así colocados, se procede a medir la longitud final de referencia  $l_f$  con un calibre vernier que tenga al menos una resolución de décima de milímetro. Si es que la rotura se produce muy cerca de la mordaza, y el valor obtenido está fuera de los límites especificados en la norma NB 732, se deberá repetir el ensayo para volver a determinar el alargamiento después de la rotura.

Para un registro de la realización del proyecto, se tiene un acta de recepción de muestras y una constancia emitida por el docente a cargo del laboratorio de maderas de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. (**Anexo 7**)

Para determinar el grado de corrosión en cada barra ensayada, se hizo un registro fotográfico para poder analizar cada una de ellas según el libro (Dias, 2006, pág. 127).



## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Probetas de Diámetro 6 mm

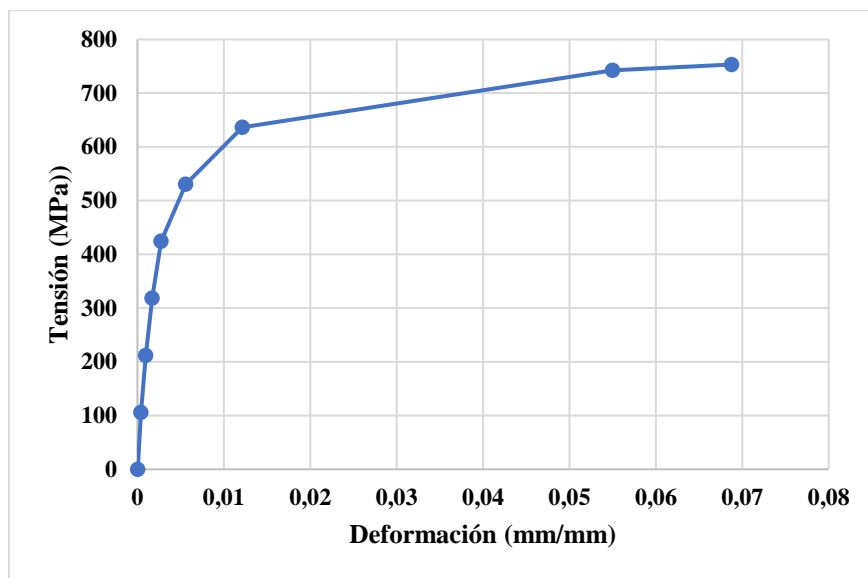
En este ensayo se analizará 5 muestras de diámetro 6 mm, donde cada barra tiene diferente grado de corrosión y una barra sin corrosión, como así también obtendremos sus respectivos parámetros para cada una de ellas.

Tabla 4. Resultados muestra N°1.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°1</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | Acindar               | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 8                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 509                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 60                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 65,42                 | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 109,51                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 5,60                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 6                     | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 4,02                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 24,60                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 28,27                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 12,69                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 48,41                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,22                  | 0,222                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 3,09                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 12000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 424,41                | 420                        |
| Carga máxima                   | N               | 21300                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 753,33                | 500                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 9,03                  | 12                         |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,78                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 157683,44             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 1. Tensión vs Deformación Muestra N°1.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo del 21.15% de lo establecido, debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 6.72%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 3.09% del valor establecido por norma.

El porcentaje del alargamiento se encuentra por debajo del 24.72% de lo establecido por su norma de fábrica IRAM-IAS U500-528., esto indica que la ductilidad del material es baja, el material tiene poca capacidad de deformarse, la deformación es de carácter elástico presentando baja plasticidad.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma.

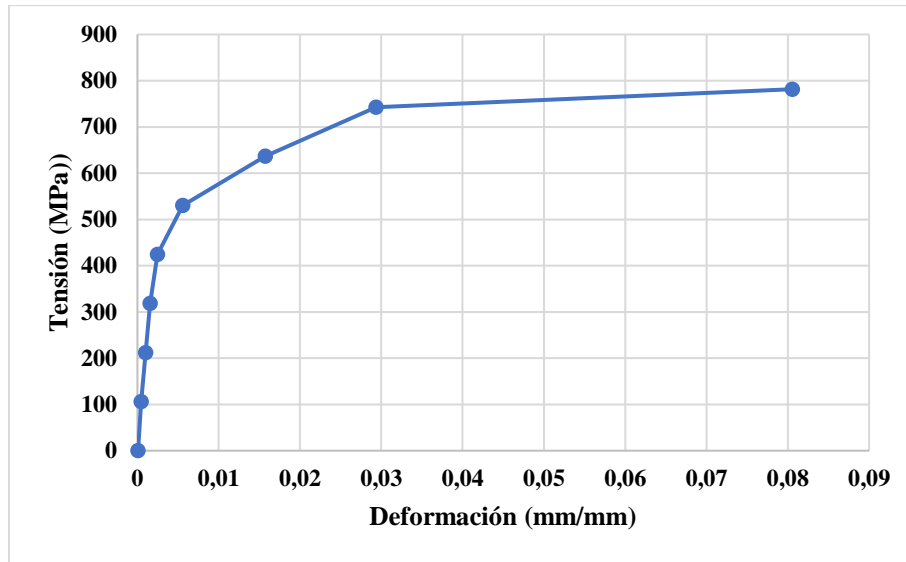
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Tabla 5. Resultados muestra N°2.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°2</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | Arequipa              | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 6                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 509                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 60                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 65,69                 | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 107,31                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 5,84                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 6                     | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 4,4                   | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 26,79                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 28,27                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 15,21                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 43,24                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,21                  | 0,222                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 5,03                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 12000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 424,41                | 420                        |
| Carga máxima                   | N               | 22100                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 781,63                | 620                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 9,48                  | 11                         |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,84                  | 1,25                       |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 178534,14             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 2. Tensión vs Deformación Muestra N°2.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo 10.7% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 2.67%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 5.03% del valor establecido por norma.

El porcentaje del alargamiento se encuentra por debajo del 13.79% de lo establecido por su norma de fábrica ASTM A615 – NTP 341.031/Grado 60, esto indica que la ductilidad del material es baja, el material tiene poca capacidad de deformarse, la deformación es de carácter elástico presentando baja plasticidad.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma.

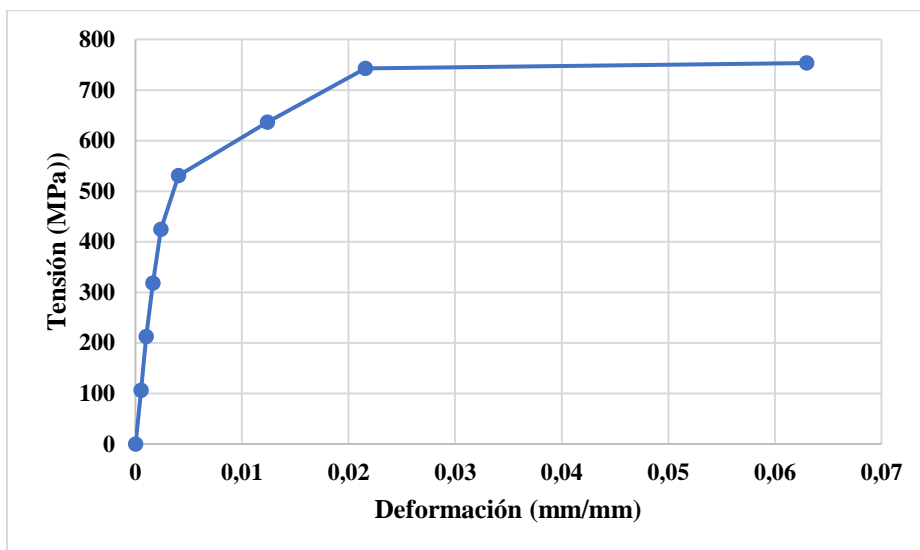
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Tabla 6. Resultados muestra N°3.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°3</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 5                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 508                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 60                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 65,98                 | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 111,31                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 5,81                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 6                     | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 4,4                   | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 26,54                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 28,27                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 15,21                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 42,71                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,22                  | 0,222                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 1,30                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 12000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 424,41                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 21300                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 753,33                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 9,97                  | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,78                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 179668,25             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 3. Tensión vs Deformación Muestra N°3.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 10.1% de los establecido, esto es debido a la rigidez del material y su resistencia.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 3.11%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 1.29% del valor establecido por norma

La tensión de fluencia está por debajo el 15.12% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

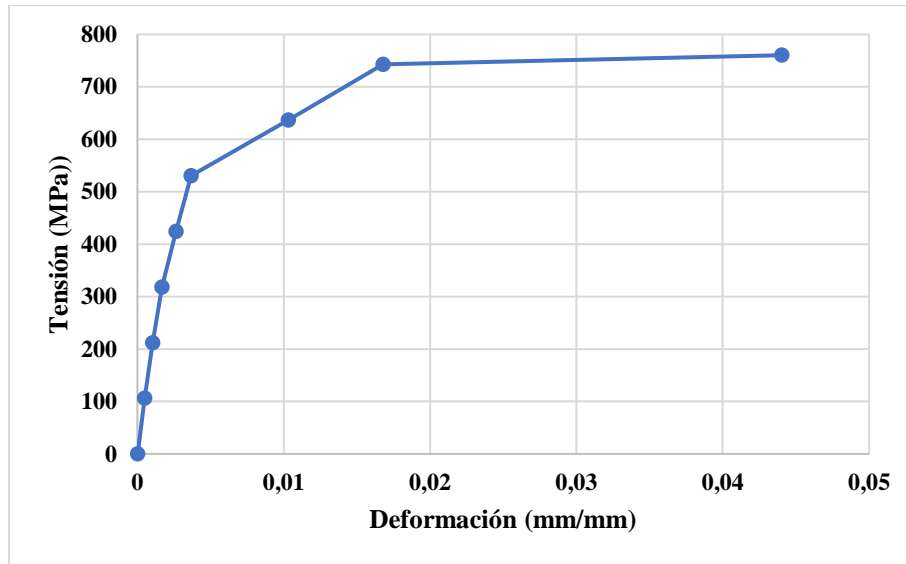
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Tabla 7. Resultados muestra N°4.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°4</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 4                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 510                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 60                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 66,23                 | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 110,36                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 5,93                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 6                     | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 4                     | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 27,65                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 28,27                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 12,57                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 54,55                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,22                  | 0,222                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 2,53                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 15000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 530,52                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 21500                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 760,41                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 10,38                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,43                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 161530,39             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 4. Tensión vs Deformación Muestra N°4.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 19.2% de los establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 1.11%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 2.52% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Se puede clasificar el material como dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, llegando a la rotura dentro de los límites esperados.

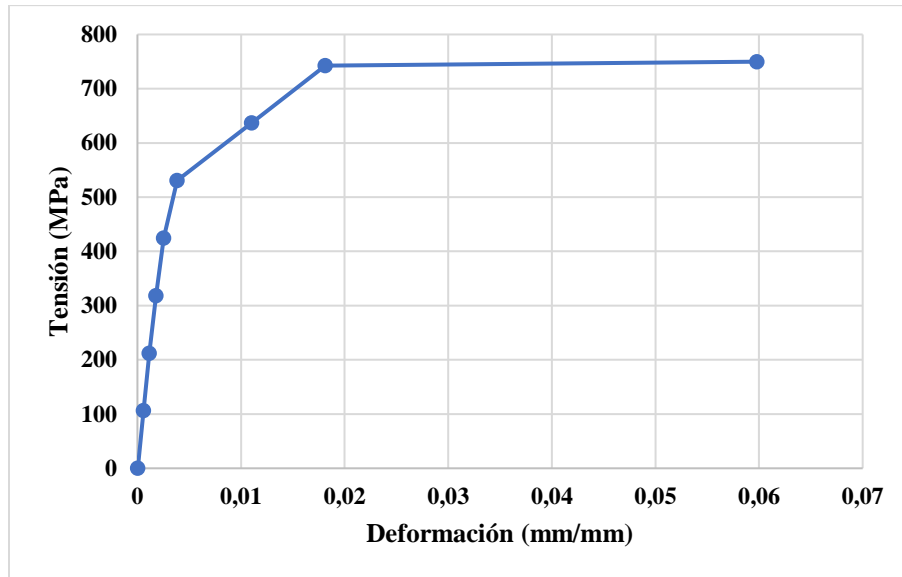


Tabla 8. Resultados muestra N°5.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°5</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 3                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 510                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 60                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 68,5                  | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 112,45                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 5,80                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 6                     | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 3,9                   | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 26,421                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 28,274                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 11,946                | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 54,786                | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,22                  | 0,222                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 0,68                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 15000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 530,52                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 21200                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 749,80                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 14,17                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,41                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 170433,64             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 5. Tensión vs Deformación Muestra N°5.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado B, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 14.8% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 3.33%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 0.68% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

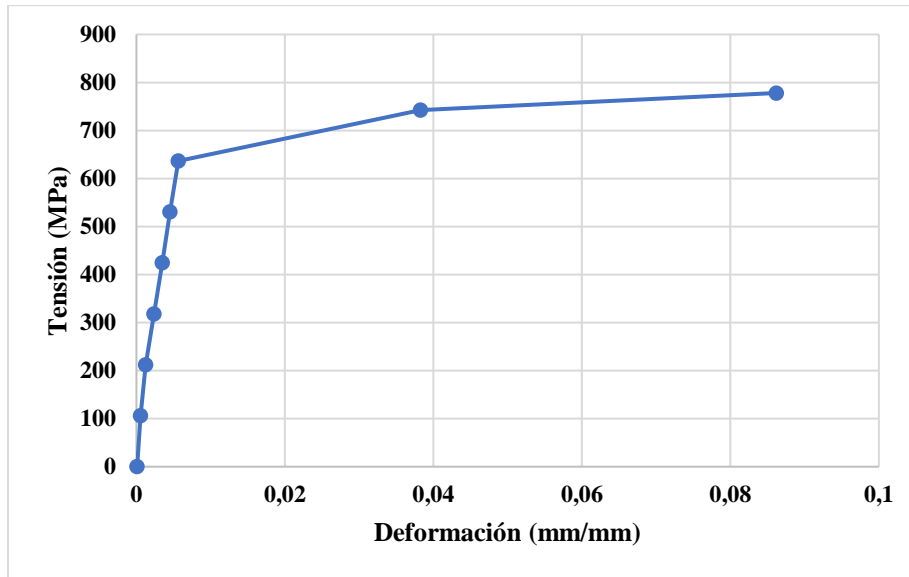
Se puede clasificar el material como dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, llegando a la rotura dentro de los límites esperados.

Tabla 9. Resultados muestra patrón.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN PATRÓN</b> |                 |                       |                            |
|---------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>                | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta            |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión            | años            | 0                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta             | mm              | 510,5                 | N.A.                       |
| Longitud calibrada              | mm              | 60                    | N.A.                       |
| Longitud final                  | mm              | 68,5                  | N.A.                       |
| Masa de la probeta              | g               | 108,18                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente            | mm              | 6,00                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal                | mm              | 6                     | N.A.                       |
| Diámetro final                  | mm              | 3,9                   | N.A.                       |
| Área equivalente                | mm <sup>2</sup> | 28,274                | N.A.                       |
| Área nominal                    | mm <sup>2</sup> | 28,274                | N.A.                       |
| Área final                      | mm <sup>2</sup> | 11,946                | N.A.                       |
| % Reducción de área             | %               | 57,750                | N.A.                       |
| Masa por metro lineal           | Kg/m            | 0,21                  | 0,222                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m     | %               | 4,55                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia               | N               | 18000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)        | MPa             | 636,62                | 500                        |
| Carga máxima                    | N               | 22000                 | N.A.                       |
| Resistencia a tracción (fs)     | MPa             | 778,09                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)          | %               | 14,17                 | 8                          |
| Relación fs/fy                  |                 | 1,22                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad           | MPa             | 186778,39             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 6. Tensión vs Deformación Muestra Patrón.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado A, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 6.61% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 4.54% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

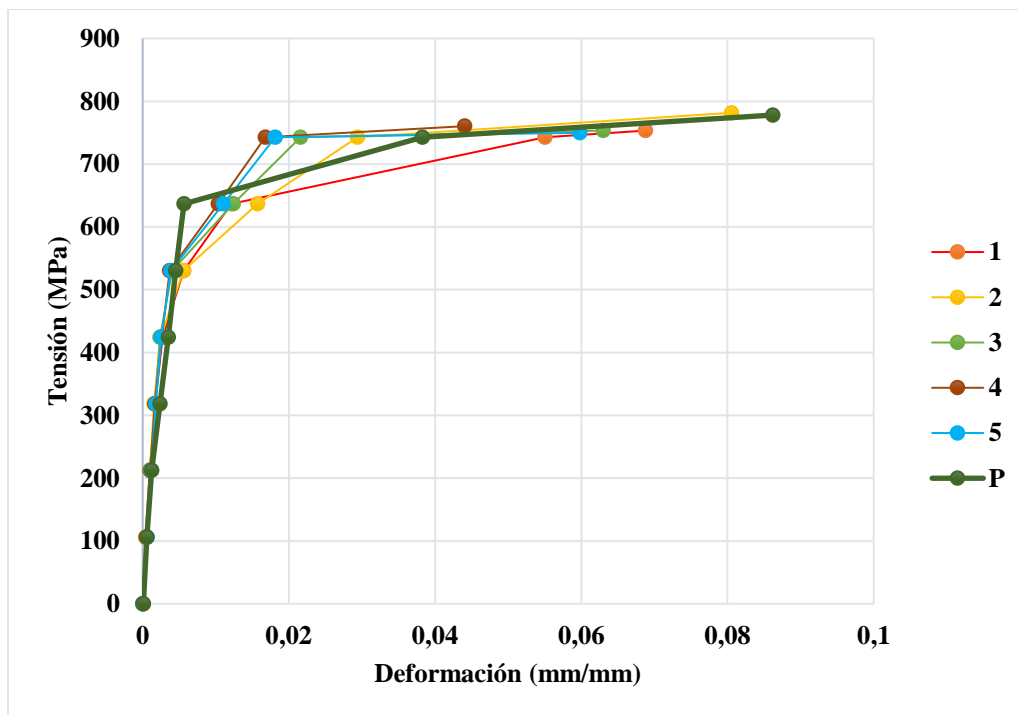
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Se puede clasificar el material como dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, llegando a la rotura dentro de los límites esperados.

Tabla 10. Tabla comparativa de los resultados obtenidos de diámetro 6 mm.

| Parámetro                    | Unidad | Muestras |        |        |        |        |        |
|------------------------------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                              |        | 1        | 2      | 3      | 4      | 5      | P      |
| Periodo de corrosión         | años   | 8        | 6      | 5      | 4      | 3      | 0      |
| Grado de corrosión           |        | D        | D      | D      | D      | B      | A      |
| Diámetro                     | mm     | 5,60     | 5,84   | 5,81   | 5,93   | 5,80   | 6,00   |
| Tensión de fluencia          | MPa    | 424,41   | 424,41 | 424,41 | 530,52 | 530,52 | 636,62 |
| Resistencia a tracción       | MPa    | 753,33   | 781,63 | 753,33 | 760,41 | 749,80 | 778,09 |
| Elongación en 10 $\emptyset$ | %      | 9,03     | 9,48   | 9,97   | 10,38  | 14,17  | 14,17  |

Gráfico 7. Comportamiento de los aceros ensayados de diámetro 6 mm.



Con ayuda de la tabla y la gráfica comparativa de las 6 muestras realizadas, se puede apreciar que el acero patrón tiene mucha más tensión a fluencia que el resto de las probetas y así también mayor deformación.

La muestra N°3, se encuentran por debajo de las características mecánicas mínimas proporcionadas por la norma en cuanto a la tensión de fluencia, teniendo un grado de corrosión D.

La muestra N°1 de marca Acindar, tiene una tensión a fluencia mínima de 420 MPa según la norma con la cual fue fabricada, haciendo que esta muestra este dentro de lo permitido para la continuación de la obra paralizada que se construye con esta marca de acero, pero en cuanto a la elongación esta se encuentra por debajo de lo permitido.

La muestra N°2 de marca Arequipa, tiene una tensión a fluencia mínima de 420 MPa según la norma con la cual fue fabricada, haciendo que esta muestra este dentro de lo permitido para la continuación de la obra paralizada que se construye con esta marca de acero, pero al igual que la muestra N°1 en cuanto a la elongación se encuentra por debajo de lo permitido según su norma.

La muestra N°4, con grado de corrosión D, se puede apreciar claramente que tiene la mitad de deformación que la muestra patrón, pero sus demás resultados obtenidos se encuentran dentro de las características mecánicas mínimas proporcionadas por la norma.

En cuanto a la resistencia a tracción, la muestra N°2 tiene un valor mayor que la muestra patrón a pesar de tener un periodo de 6 años y grado de corrosión D.

#### 4.2. Probetas de Diámetro 8 mm

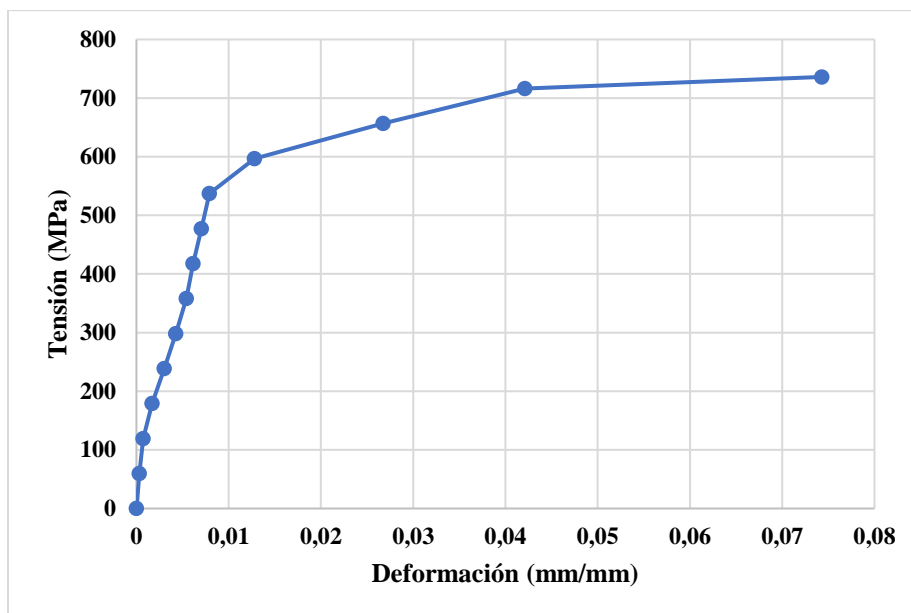
En este ensayo se analizará 5 muestras de diámetro 8 mm, donde cada barra tiene diferente grado de corrosión y una barra sin corrosión, como así también obtendremos sus respectivos parámetros para cada una de ellas.

Tabla 11. Resultados muestra N°1.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°1</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 3                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 512                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 80                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 92,14                 | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 190,46                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 7,73                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 8                     | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 6,90                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 46,97                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 50,27                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 37,39                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 20,39                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,37                  | 0,395                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 5,82                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 27000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 537,15                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 37000                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 736,09                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 15,18                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,37                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 169765,27             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 8. Tensión vs Deformación Muestra N°1.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado B, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 3.33%.

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 15.12% de lo establecido, debido a la rigidez del material.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 5.82% del valor establecido por norma

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Se puede clasificar el material como dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, llegando a la rotura dentro de los límites esperados.

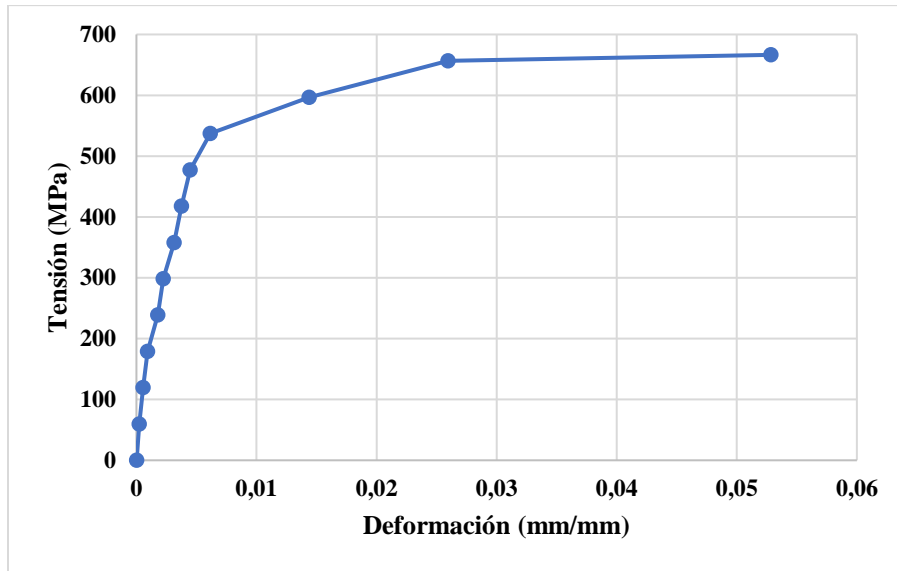


Tabla 12. Resultados muestra N°2.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°2</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 7                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 511                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 80                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 88,65                 | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 194,33                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 7,87                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 8                     | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 5,10                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 48,60                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 50,27                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 20,43                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 57,97                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,38                  | 0,395                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 3,72                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 24000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 477,46                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 33500                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 666,46                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 10,81                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,40                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 194668,51             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 9. Tensión vs Deformación Muestra N°2.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 1.67%.

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 2.66% de lo establecido, debido a la rigidez del material.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 3.7% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 4.5% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

Dentro de la zona plástica el material continúa su deformación en la máxima tensión ejercida, establece un endurecimiento por deformación hasta producir la rotura del mismo.

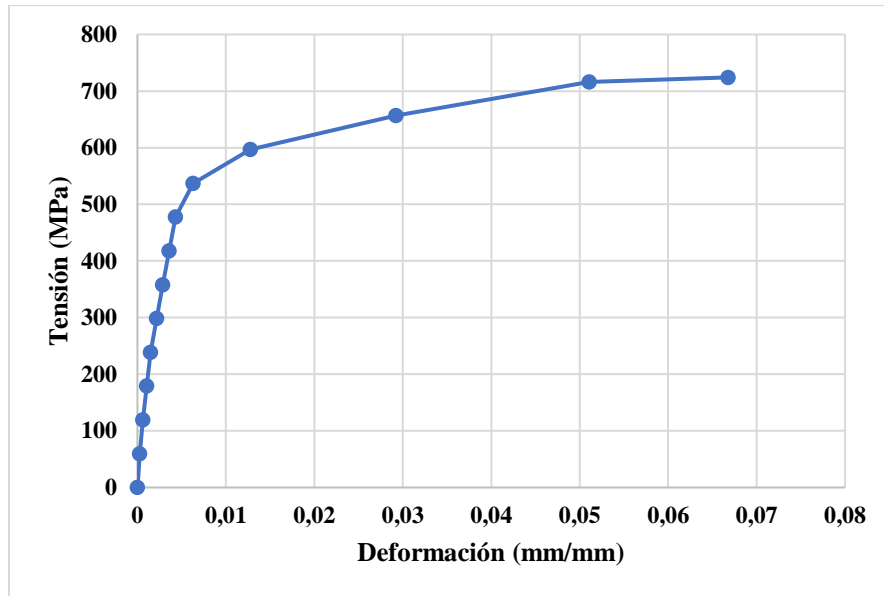
Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

Tabla 13. Resultados muestra N°3.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°3</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 7                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 509                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 80                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 89,73                 | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 196,43                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 7,91                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 8                     | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 5,50                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 49,10                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 50,27                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 23,76                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 51,61                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,39                  | 0,395                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 2,30                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 24000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 477,46                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 36400                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 724,15                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 12,16                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,52                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 175261,73             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 10. Tensión vs Deformación Muestra N°3.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 12.37% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 1.17%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 2.3% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 4.5% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

Dentro de la zona plástica el material continúa su deformación en la máxima tensión ejercida, establece un endurecimiento por deformación hasta producir la rotura del mismo.

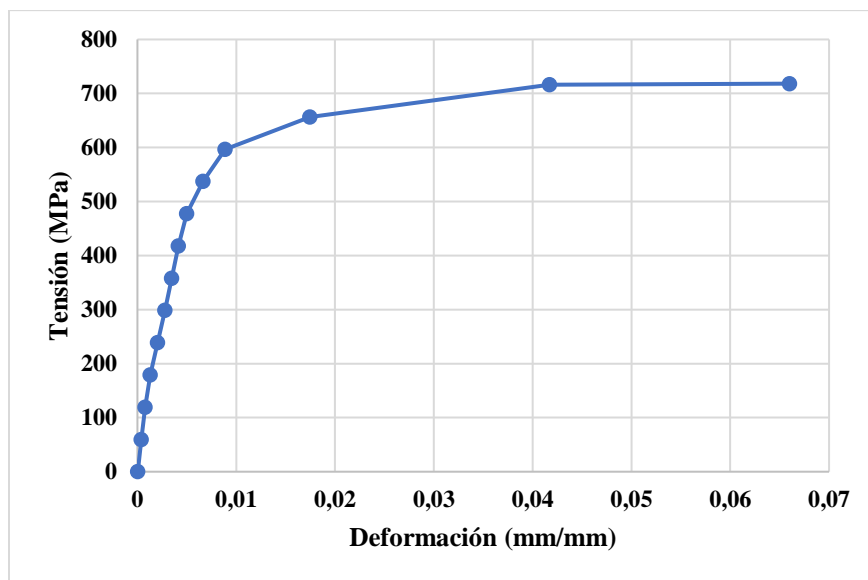
Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

Tabla 14. Resultados muestra N°4.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°4</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | Arequipa              | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 10                    | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 515                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 80                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 87,36                 | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 197,94                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 7,89                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 8                     | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 5,56                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 48,85                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 50,27                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 24,28                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 50,30                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,38                  | 0,395                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 2,70                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 24000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 477,46                | 420                        |
| Carga máxima                   | N               | 36100                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 718,19                | 620                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 9,20                  | 11                         |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,50                  | 1,25                       |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 161772,62             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 11. Tensión vs Deformación Muestra N°4.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 19.11% de lo establecido, debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 1.42%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 2.70% del valor establecido por norma.

El porcentaje del alargamiento se encuentra por debajo del 16.36% de lo establecido por su norma de fábrica ASTM A615 – NTP 341.031/Grado 60, esto indica que la ductilidad del material es baja, el material tiene poca capacidad de deformarse, la deformación es de carácter elástico presentando baja plasticidad.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma.

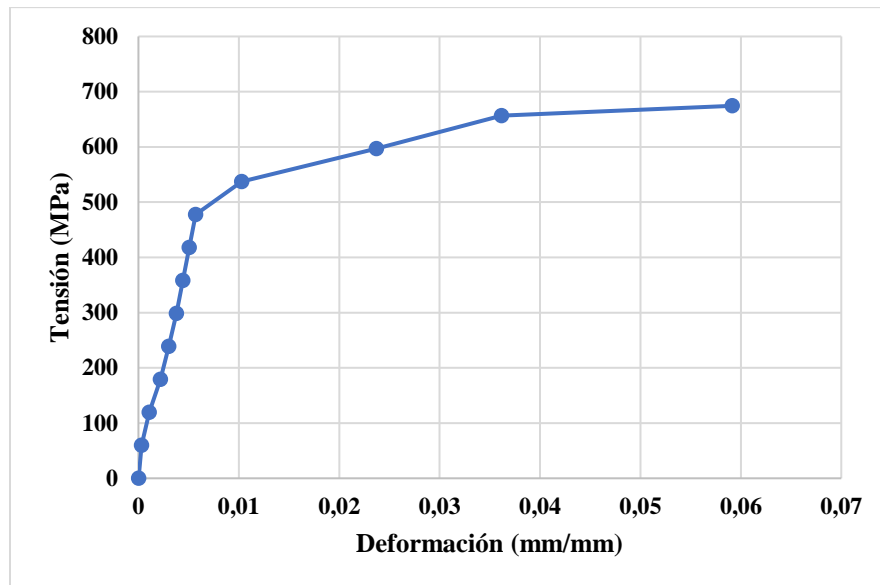
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Tabla 15. Resultados muestra N°5.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°5</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 5                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 508                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 80                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 88,2                  | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 198,26                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 7,80                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 8                     | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 5,70                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 47,78                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 50,27                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 25,52                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 46,60                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,39                  | 0,395                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 1,20                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 24000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 477,46                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 33900                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 674,42                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 10,25                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,41                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 202126,78             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 12. Tensión vs Deformación Muestra N°5.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado C, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El diámetro equivalente tiene un valor menor que el nominal en un 2.50%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 1.19% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 4.5% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

Dentro de la zona plástica el material continúa su deformación en la máxima tensión ejercida, establece un endurecimiento por deformación hasta producir la rotura del mismo.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

Se puede clasificar el material como dúctil, debido a la plasticidad del mismo.

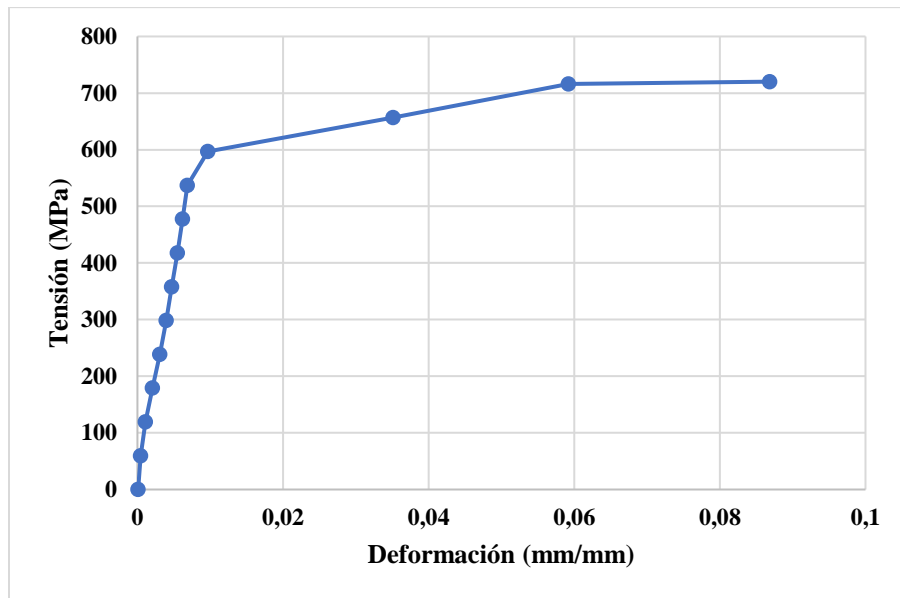


Tabla 16. Resultados muestra patrón.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN PATRÓN</b> |                 |                       |                            |
|---------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>                | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta            |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión            | años            | 0                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta             | mm              | 506,5                 | N.A.                       |
| Longitud calibrada              | mm              | 80                    | N.A.                       |
| Longitud final                  | mm              | 91,5                  | N.A.                       |
| Masa de la probeta              | g               | 193,53                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente            | mm              | 8,00                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal                | mm              | 8                     | N.A.                       |
| Diámetro final                  | mm              | 5,30                  | N.A.                       |
| Área equivalente                | mm <sup>2</sup> | 50,27                 | N.A.                       |
| Área nominal                    | mm <sup>2</sup> | 50,27                 | N.A.                       |
| Área final                      | mm <sup>2</sup> | 22,06                 | N.A.                       |
| % Reducción de área             | %               | 56,11                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal           | Kg/m            | 0,38                  | 0,395                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m     | %               | 3,27                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia               | N               | 27000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)        | MPa             | 537,15                | 500                        |
| Carga máxima                    | N               | 36200                 | N.A.                       |
| Resistencia a tracción (fs)     | MPa             | 720,18                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)          | %               | 14,38                 | 8                          |
| Relación fs/fy                  |                 | 1,34                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad           | MPa             | 167941,62             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 13. Tensión vs Deformación Muestra Patrón.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado A, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 16.02% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 3.27% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

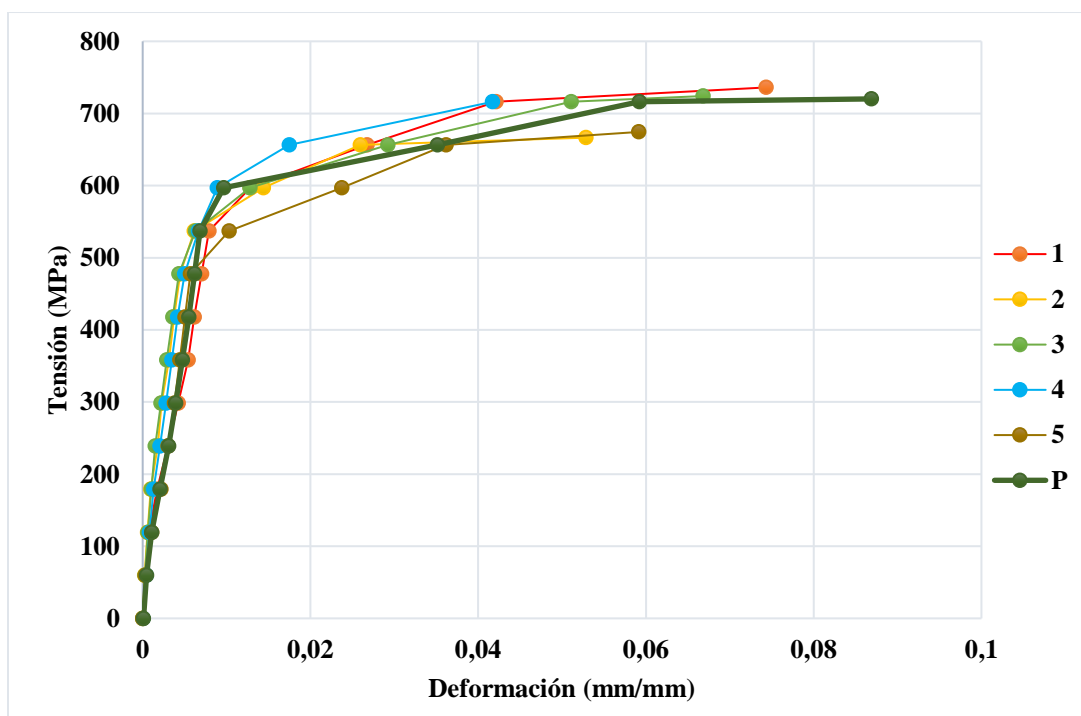
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Se puede clasificar el material como dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, llegando a la rotura dentro de los límites esperados.

Tabla 17. Tabla comparativa de los resultados obtenidos de diámetro 8 mm.

| Parámetro              | Unidad | Muestras |        |        |        |        |        |
|------------------------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                        |        | 1        | 2      | 3      | 4      | 5      | P      |
| Periodo de corrosión   | años   | 3        | 7      | 7      | 10     | 5      | 0      |
| Grado de corrosión     |        | B        | D      | D      | D      | C      | A      |
| Diámetro               | mm     | 7,73     | 7,87   | 7,91   | 7,89   | 7,80   | 8,00   |
| Tensión de fluencia    | MPa    | 537,15   | 477,46 | 477,46 | 477,46 | 477,46 | 537,15 |
| Resistencia a tracción | MPa    | 736,09   | 666,46 | 724,15 | 718,19 | 674,42 | 720,18 |
| Elongación en 10 Ø     | %      | 15,18    | 10,81  | 12,16  | 9,20   | 10,25  | 14,38  |

Gráfico 14. Comportamiento en los aceros de 8 mm de diámetro.



De acuerdo a la tabla y la gráfica comparativa de las 6 muestras realizadas, se puede apreciar que la muestra N°1 y la muestra patrón tienen la misma tensión a fluencia y son mayores que el resto.

En cuanto a la muestra patrón, está tiene mucha mayor deformación que las muestras corroídas.

Las muestras N°2, 3, y 5; se encuentran por debajo de las características mecánicas mínimas proporcionadas por la norma en cuanto a la tensión de fluencia.

La muestra N°4 de marca Arequipa, tiene una tensión a fluencia mínima de 420 MPa según la norma con la cual fue fabricada, haciendo que esta muestra este dentro de lo permitido para la continuación de la obra paralizada que se construye con esta marca de acero.

Otros datos que se puede apreciar de la muestra N°4 con grado de corrosión D y con un periodo de 10 años, es que tiene casi la mitad de deformación que la muestra patrón, así también es la única con un resultado menor que las características mecánicas mínimas proporcionadas por la norma, en cuanto a la elongación en 10 Ø.

Mientras tanto en la resistencia a tracción, la muestra N°1 tiene mayor resistencia que la muestra patrón, a pesar de tener un periodo de corrosión de 3 años.

### 4.3. Probetas de Diámetro 9.5 mm

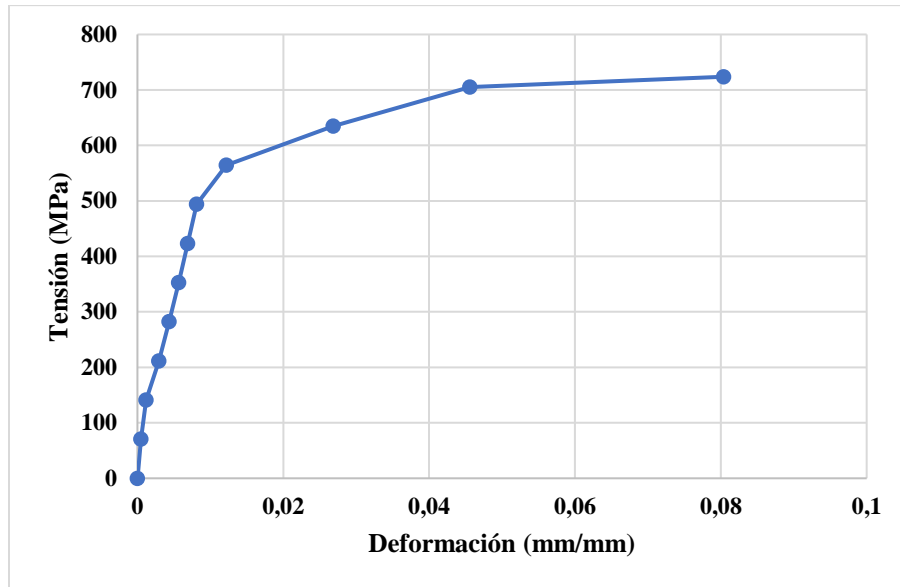
En este ensayo se analizará 5 muestras de diámetro 9.5 mm, donde cada barra tiene diferente grado de corrosión y una barra sin corrosión, como así también obtendremos sus respectivos parámetros para cada una de ellas.

Tabla 18. Resultados muestra N°1.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°1</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 3                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 510                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 95                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 105,2                 | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 274,17                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 9,46                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 9,5                   | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 7,06                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 70,24                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 70,88                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 39,15                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 44,26                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,54                  | 0,56                       |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 4,00                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 35000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 493,78                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 51300                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 723,74                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 10,74                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,47                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 119917,30             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 15. Tensión vs Deformación Muestra N°1.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 40.04% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 0.45%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 4.0% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 1.24% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

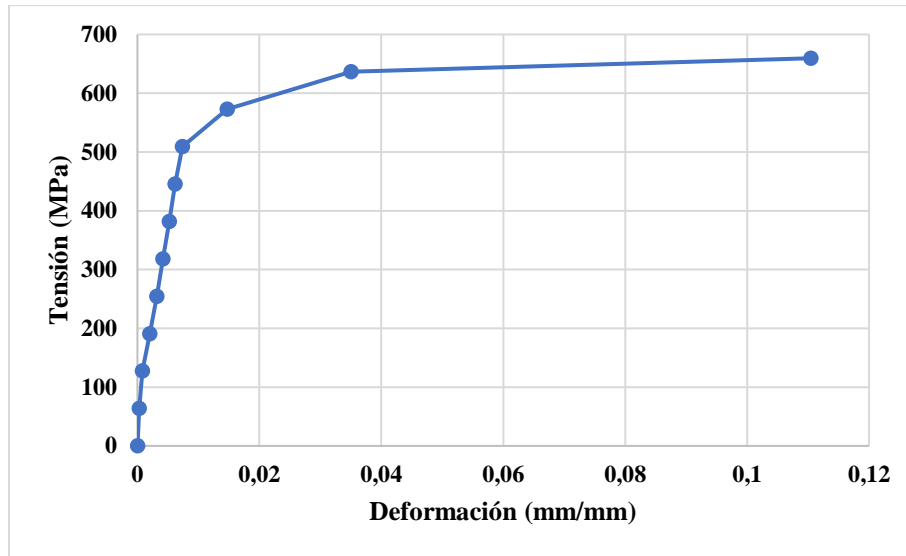
Se puede clasificar el material como dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, llegando a la rotura dentro de los límites esperados.

Tabla 19. Resultados muestra N°2.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°2</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | Acindar               | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 5                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 507                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 100                   | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 111,21                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 308,26                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 9,72                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 10                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 6,58                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 74,15                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 78,54                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 34,00                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 54,14                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,608                 | 0,617                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 1,46                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 40000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 509,30                | 420                        |
| Carga máxima                   | N               | 51800                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 659,54                | 500                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 11,21                 | 12                         |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,30                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 153698,20             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 16. Tensión vs Deformación Muestra N°2.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 23.15% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 2.83%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 1.46% del valor establecido por norma.

El porcentaje del alargamiento se encuentra por debajo del 6.58% de lo establecido por norma, esto indica que la ductilidad del material es baja, el material tiene poca capacidad de deformarse, la deformación es de carácter elástico presentando baja plasticidad.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma con la cual fue fabricada.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

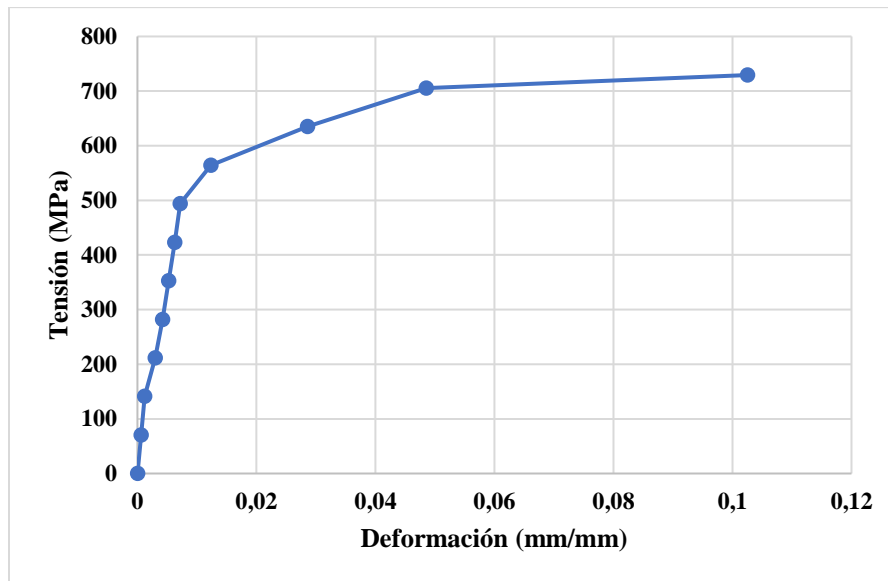


Tabla 20. Resultados muestra N°3.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°3</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 6                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 507                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 95                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 104,36                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 276,33                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 9,45                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 9,5                   | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 6,48                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 70,09                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 70,88                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 32,98                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 52,95                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,55                  | 0,56                       |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 2,67                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 35000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 493,78                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 51700                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 729,38                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 9,85                  | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,48                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 117257,61             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 17. Tensión vs Deformación Muestra N°3.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 41.4% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 0.56%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 2.67% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 1.24% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

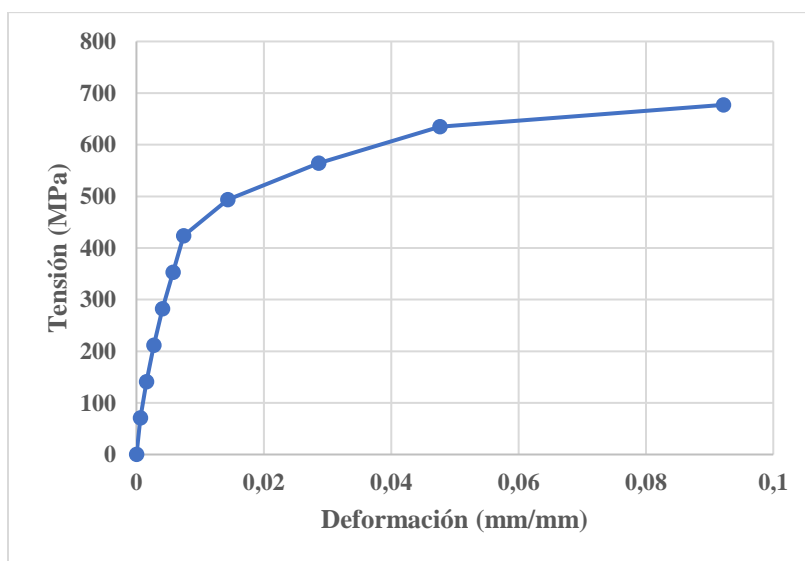
Se puede clasificar el material como muy dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, y la deformación presentada.

Tabla 21. Resultados muestra N°4.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°4</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 10                    | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 510                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 95                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 102,36                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 266,68                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 8,93                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 9,5                   | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 6,60                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 62,68                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 70,88                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 34,21                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 45,42                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,52                  | 0,56                       |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 6,62                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 30000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 423,24                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 48000                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 677,18                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 7,75                  | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,60                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 112422,47             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 18. Tensión vs Deformación Muestra N°4.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 43.8% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 5.96%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 6.62% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 15.35% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

El porcentaje del alargamiento se encuentra por debajo del 3.16% de lo establecido por norma, esto indica que la ductilidad del material es baja, el material tiene poca capacidad de deformarse, la deformación es de carácter elástico presentando baja plasticidad.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

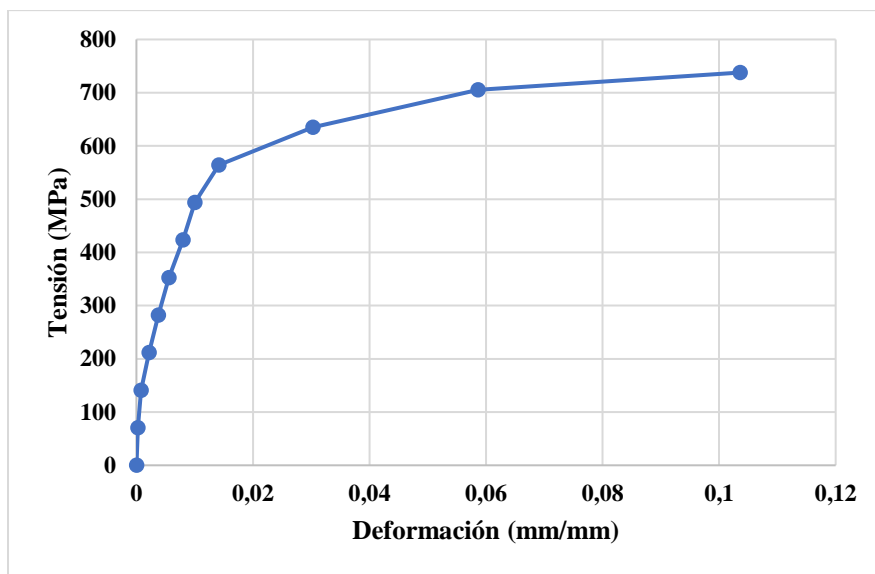
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Tabla 22. Resultados muestra N°5.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°5</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 2                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 511,5                 | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 95                    | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 105,2                 | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 274,17                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 9,45                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 9,5                   | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 7,10                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 70,14                 | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 70,88                 | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 39,59                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 43,55                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,54                  | 0,56                       |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 4,28                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 35000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 493,78                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 52300                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 737,84                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 10,74                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,49                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 182688,60             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 19. Tensión vs Deformación Muestra N°5.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado B, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 7.68% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 0.53%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 4.28% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 1.24% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

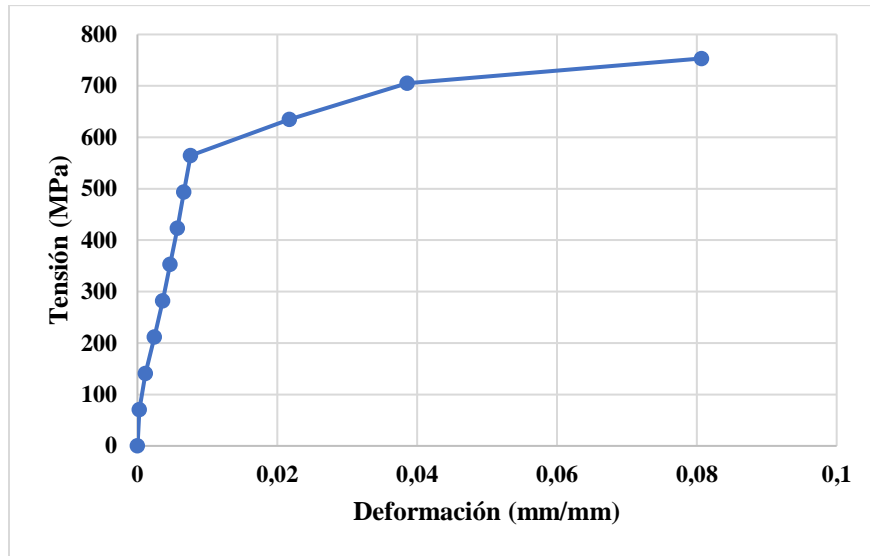
Se puede clasificar el material como muy dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, y la deformación presentada.

Tabla 23. Resultados muestra patrón.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN PATRÓN</b> |                 |                       |                            |
|---------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>                | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta            |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión            | años            | 0                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta             | mm              | 508                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada              | mm              | 95                    | N.A.                       |
| Longitud final                  | mm              | 106                   | N.A.                       |
| Masa de la probeta              | g               | 274,88                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente            | mm              | 9,50                  | N.A.                       |
| Diámetro nominal                | mm              | 9,50                  | N.A.                       |
| Diámetro final                  | mm              | 6,38                  | N.A.                       |
| Área equivalente                | mm <sup>2</sup> | 70,88                 | N.A.                       |
| Área nominal                    | mm <sup>2</sup> | 70,88                 | N.A.                       |
| Área final                      | mm <sup>2</sup> | 31,97                 | N.A.                       |
| % Reducción de área             | %               | 54,90                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal           | Kg/m            | 0,54                  | 0,56                       |
| Diferencia masa/m M/m y M/m     | %               | 3,37                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia               | N               | 40000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)        | MPa             | 564,32                | 500                        |
| Carga máxima                    | N               | 53400                 | N.A.                       |
| Resistencia a tracción (fs)     | MPa             | 753,36                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)          | %               | 11,58                 | 8                          |
| Relación fs/fy                  |                 | 1,34                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad           | MPa             | 125733,72             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 20. Tensión vs Deformación Muestra Patrón.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado A, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 37.13% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 3.37% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

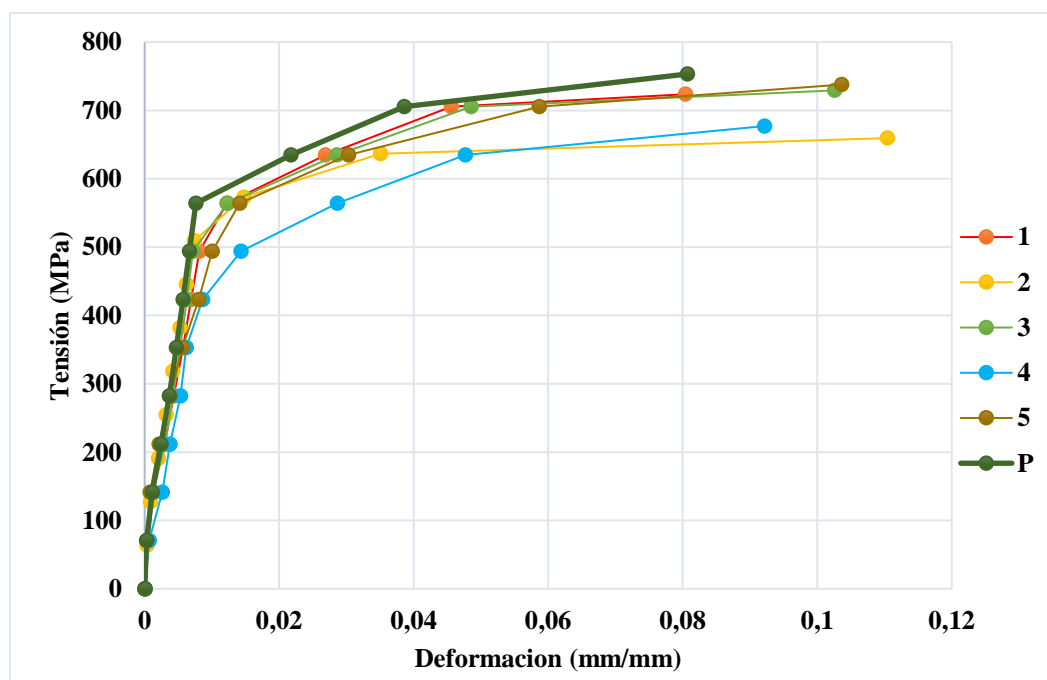
Se puede clasificar el material como dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, llegando a la rotura dentro de los límites esperados.



Tabla 24. Tabla comparativa de los resultados obtenidos de diámetro 9.5 mm.

| Parámetro                    | Unidad | Muestras |        |        |        |        |        |
|------------------------------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                              |        | 1        | 2      | 3      | 4      | 5      | P      |
| Periodo de corrosión         | años   | 3        | 5      | 6      | 10     | 2      | 0      |
| Grado de corrosión           |        | D        | D      | D      | D      | B      | A      |
| Diámetro                     | mm     | 9,46     | 9,72   | 9,45   | 8,93   | 9,45   | 9,50   |
| Tensión de fluencia          | MPa    | 493,78   | 509,30 | 493,78 | 423,24 | 493,78 | 564,32 |
| Resistencia a tracción       | MPa    | 723,74   | 659,54 | 729,38 | 677,18 | 737,84 | 753,36 |
| Elongación en 10 $\emptyset$ | %      | 10,74    | 11,21  | 9,85   | 7,75   | 10,74  | 11,58  |

Gráfico 21. Comportamiento en los aceros de 9.5 mm de diámetro.



De acuerdo a la tabla y la gráfica comparativa de las 6 muestras realizadas, se puede apreciar que la muestra patrón tiene mucha más tensión a fluencia y mayor resistencia a tracción que el resto de las probetas, pero en cuanto a la deformación tiene un parecido similar que la muestra N°1.

Las muestras N°1, 3, 4 y 5; se encuentran por debajo de las características mecánicas mínimas proporcionadas por la norma en cuanto a la tensión de fluencia.

La muestra con mayor deformación según la gráfica sería la N°2, con un grado de corrosión D. Cabe resaltar que esta muestra es de marca Acindar con un diámetro nominal de 10 mm y no así de 9.5 mm como el resto de las muestras.

La muestra N°4 es la única con un resultado menor que las características mecánicas mínimas proporcionadas por la norma, en cuanto a la elongación en 10 Ø.

#### 4.4. Probetas de Diámetro 12 mm

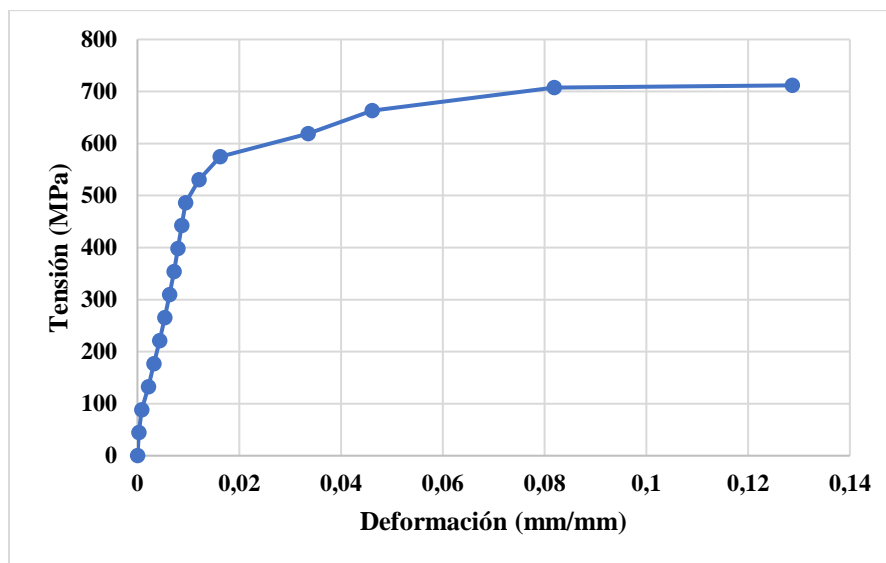
En este ensayo se analizará 5 muestras de diámetro 12 mm, donde cada barra tiene diferente grado de corrosión y una barra sin corrosión, como así también obtendremos sus respectivos parámetros para cada una de ellas.

Tabla 25. Resultados muestra N°1.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°1</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 6                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 513                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 120                   | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 137,42                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 440,24                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 11,70                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 12                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 9,70                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 107,51                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 113,10                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 73,90                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 31,27                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,86                  | 0,888                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 3,36                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 55000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 486,31                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 80500                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 711,78                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 14,52                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,46                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 161997,00             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 22. Tensión vs Deformación Muestra N°1.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado C, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 19.0% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 2.5%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 3.35% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 2.74% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

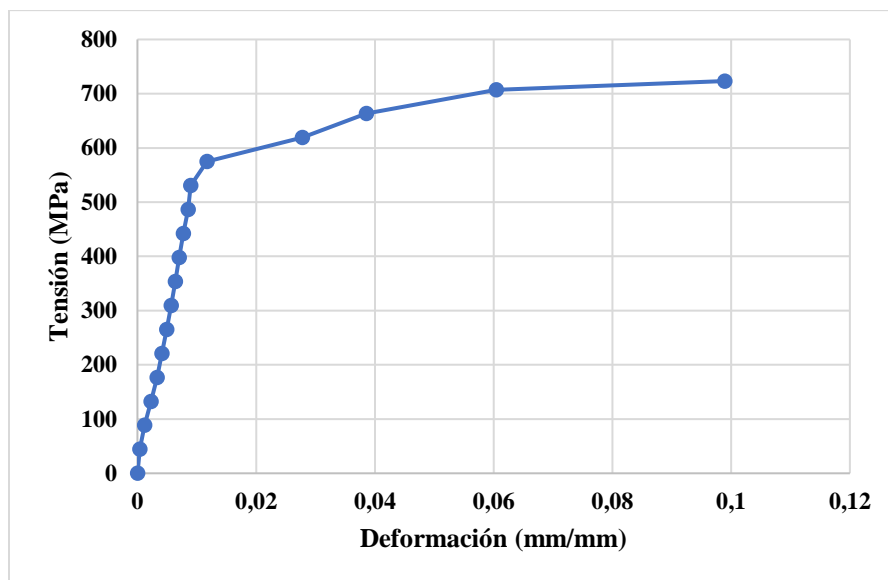
Se puede clasificar el material como muy dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, y la deformación presentada.

Tabla 26. Resultados muestra N°2.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°2</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 4                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 512                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 120                   | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 134,51                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 447,2                 | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 11,47                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 12                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 8,40                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 103,27                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 113,10                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 55,42                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 46,34                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,87                  | 0,888                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 1,64                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 60000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 530,52                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 81800                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 723,27                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 12,09                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,36                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 122902,98             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 23. Tensión vs Deformación Muestra N°2.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado C, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 38.5% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 4.44%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 1.64% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

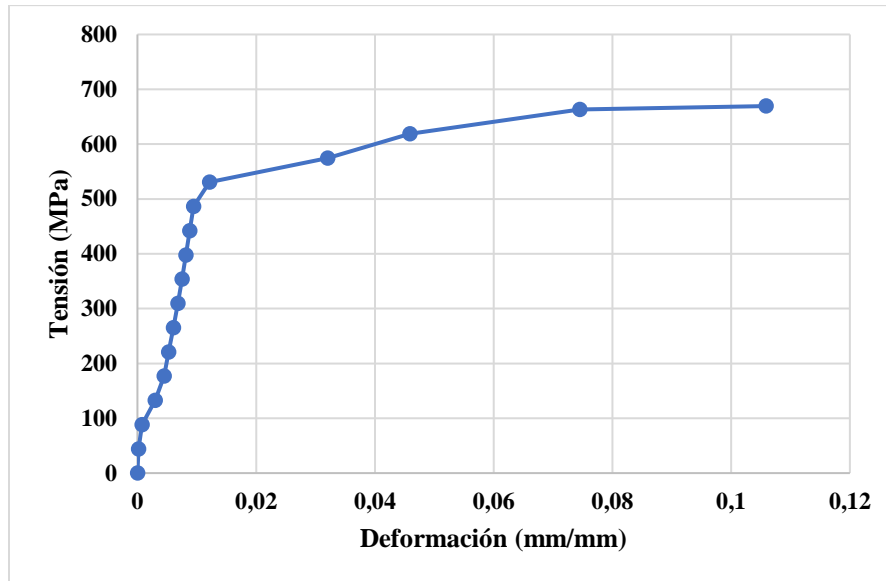
Se puede clasificar el material como muy dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, y la deformación presentada.

Tabla 27. Resultados muestra N°3.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°3</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 4                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 510                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 120                   | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 135,47                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 443,15                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 11,53                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 12                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 8,10                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 104,35                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 113,10                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 51,53                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 50,62                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,87                  | 0,888                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 2,15                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 55000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 486,31                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 75700                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 669,33                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 12,89                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,38                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 225469,50             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 24. Tensión vs Deformación Muestra N°3.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado C, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El diámetro equivalente tiene un valor menor que el nominal en un 3.94%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 2.15% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 2.74% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Se puede clasificar el material como dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, y la deformación presentada.

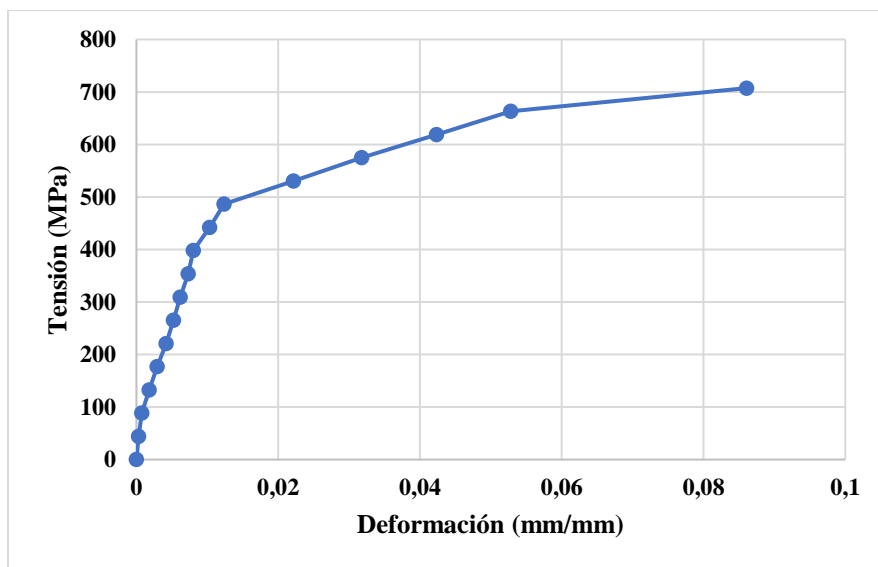


Tabla 28. Resultados muestra N°4.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°4</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 10                    | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 511                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 120                   | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 130,27                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 438,96                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 11,40                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 12                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 8,04                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 102,01                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 113,10                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 50,77                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 50,23                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,86                  | 0,888                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 3,26                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 45000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 397,89                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 80200                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 709,12                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 8,56                  | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,78                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 150607,73             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 25. Tensión vs Deformación Muestra N°4.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 24.7% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 5.02%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 3.26% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 20.4% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

La máxima tensión ejercida a la probeta es muy baja en relación de la deformación que presenta el material en la zona elástica.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

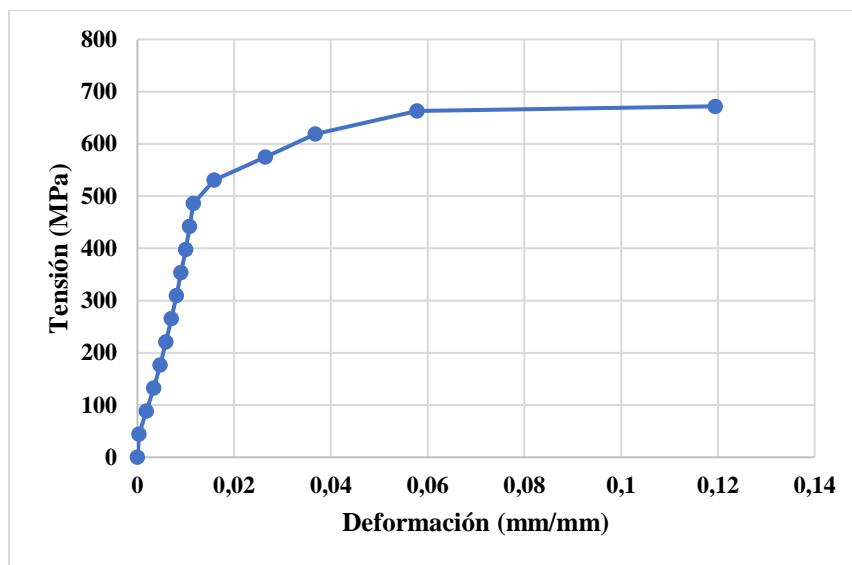
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Tabla 29. Resultados muestra N°5.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°5</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 2                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 519                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 120                   | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 132,63                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 433,2                 | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 11,63                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 12                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 8,80                  | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 106,17                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 113,10                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 60,82                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 42,71                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 0,83                  | 0,888                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 6,00                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 55000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 486,31                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 76000                 | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 671,99                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 10,53                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,38                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 143405,24             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 26. Tensión vs Deformación Muestra N°5.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado B, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 28.3% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 3.11%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 6.00% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 2.74% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

La máxima tensión ejercida a la probeta es muy baja en relación de la deformación que presenta el material en la zona elástica.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

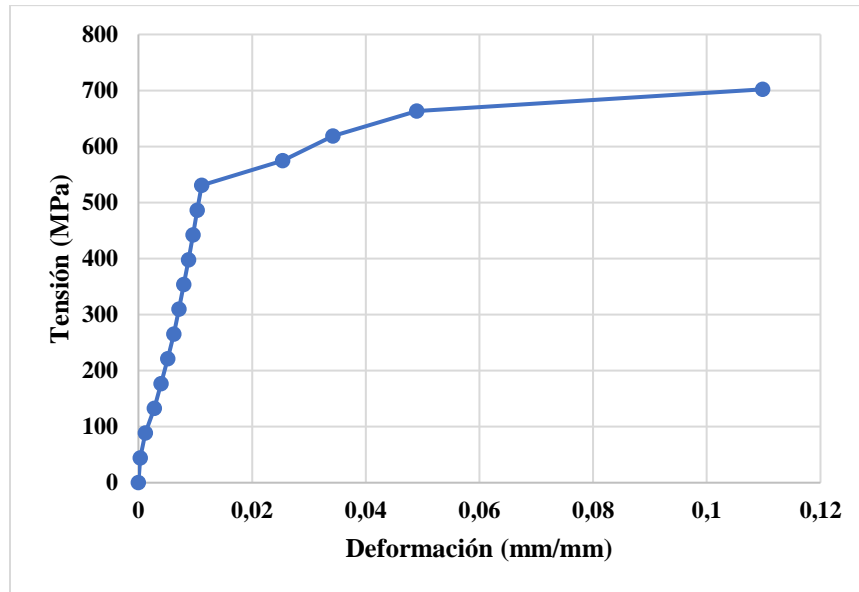
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Tabla 30. Resultados muestra patrón.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN PATRÓN</b> |                 |                       |                            |
|---------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>                | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta            |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión            | años            | 0                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta             | mm              | 510                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada              | mm              | 120                   | N.A.                       |
| Longitud final                  | mm              | 138                   | N.A.                       |
| Masa de la probeta              | g               | 429,34                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente            | mm              | 12,00                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal                | mm              | 12                    | N.A.                       |
| Diámetro final                  | mm              | 8,70                  | N.A.                       |
| Área equivalente                | mm <sup>2</sup> | 113,10                | N.A.                       |
| Área nominal                    | mm <sup>2</sup> | 113,10                | N.A.                       |
| Área final                      | mm <sup>2</sup> | 59,45                 | N.A.                       |
| % Reducción de área             | %               | 47,44                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal           | Kg/m            | 0,84                  | 0,888                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m     | %               | 5,20                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia               | N               | 60000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)        | MPa             | 530,52                | 500                        |
| Carga máxima                    | N               | 79400                 | N.A.                       |
| Resistencia a tracción (fs)     | MPa             | 702,05                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)          | %               | 15,00                 | 8                          |
| Relación fs/fy                  |                 | 1,32                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad           | MPa             | 150313,00             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 27. Tensión vs Deformación Muestra Patrón.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado A, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 24.84 % de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 5.19% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

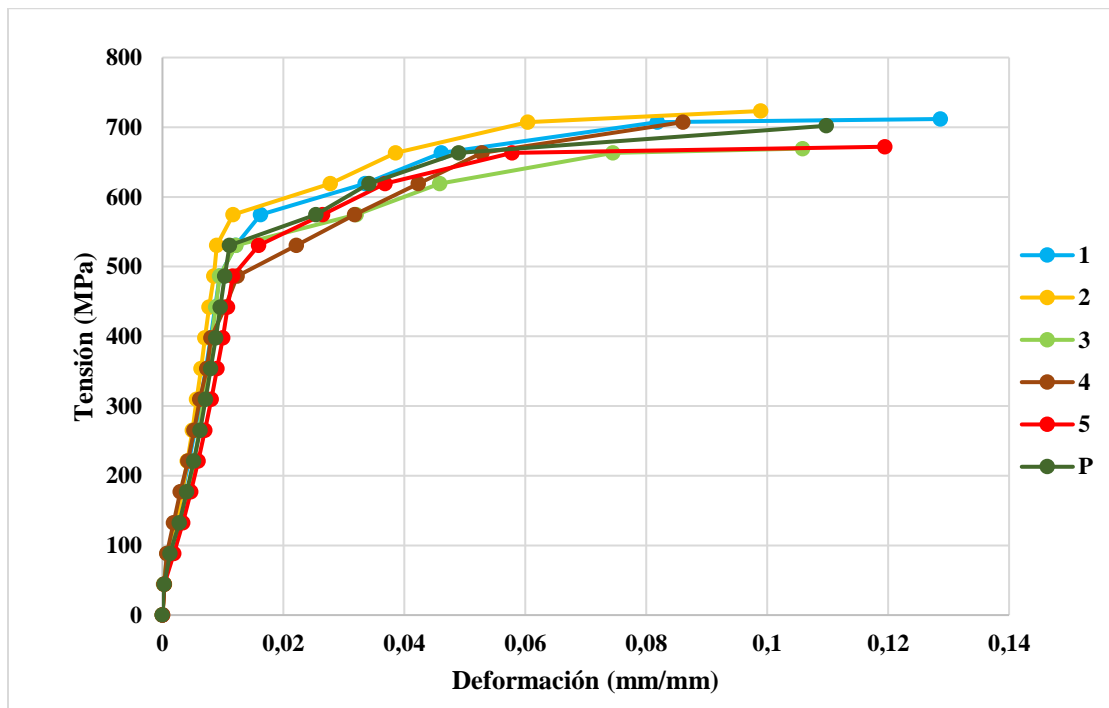
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Se puede clasificar el material como dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, llegando a la rotura dentro de los límites esperados.

Tabla 31. Tabla comparativa de los resultados obtenidos de diámetro 12 mm.

| Parámetro               | Unidad | Muestras |        |        |        |        |        |
|-------------------------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                         |        | 1        | 2      | 3      | 4      | 5      | P      |
| Periodo de corrosión    | años   | 6        | 4      | 4      | 10     | 2      | 0      |
| Grado de corrosión      |        | C        | C      | C      | D      | B      | A      |
| Diámetro                | mm     | 11,70    | 11,47  | 11,53  | 11,40  | 11,63  | 12,00  |
| Tensión de fluencia     | MPa    | 486,31   | 530,52 | 486,31 | 397,89 | 486,31 | 530,52 |
| Resistencia a tracción  | MPa    | 711,78   | 723,27 | 669,33 | 709,12 | 671,99 | 702,05 |
| Elongación en 10 $\phi$ | %      | 14,52    | 12,09  | 12,89  | 8,56   | 10,53  | 15,00  |

Gráfico 28. Comportamiento en los aceros de 12 mm de diámetro.



De acuerdo a la tabla y la gráfica comparativa de las 6 muestras realizadas, se puede apreciar que la muestra N°2 con grado de corrosión C, tiene mucha más tensión de fluencia y mayor resistencia a tracción que la muestra patrón y que el resto.

Las muestras N°1, 3, 4 y 5, se encuentran por debajo de las características mecánicas mínimas proporcionadas por la norma en cuanto a la tensión de fluencia.

La muestra con mayor deformación según la gráfica sería la N°1, a pesar de tener un periodo de corrosión de 6 años.



#### 4.5. Probetas de Diámetro 16 mm

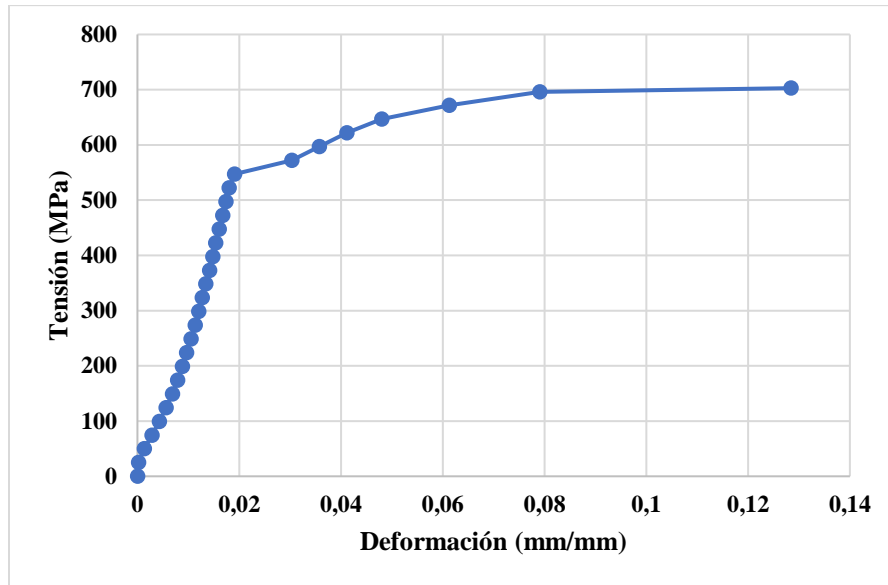
En este ensayo se analizará 5 muestras de diámetro 16 mm, donde cada barra tiene diferente grado de corrosión y una barra sin corrosión, como así también obtendremos sus respectivos parámetros para cada una de ellas.

Tabla 32. Resultados muestra N°1.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°1</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 5                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 506                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 160                   | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 179,36                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 761,43                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 15,49                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 16                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 12,02                 | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 188,45                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 201,06                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 113,47                | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 39,78                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 1,50                  | 1,578                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 4,64                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 110000                | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 547,10                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 141300                | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 702,77                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 12,10                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,28                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 125831,88             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 29. Tensión vs Deformación Muestra N°1.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado C, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 37.1% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 3.18%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 4.64% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

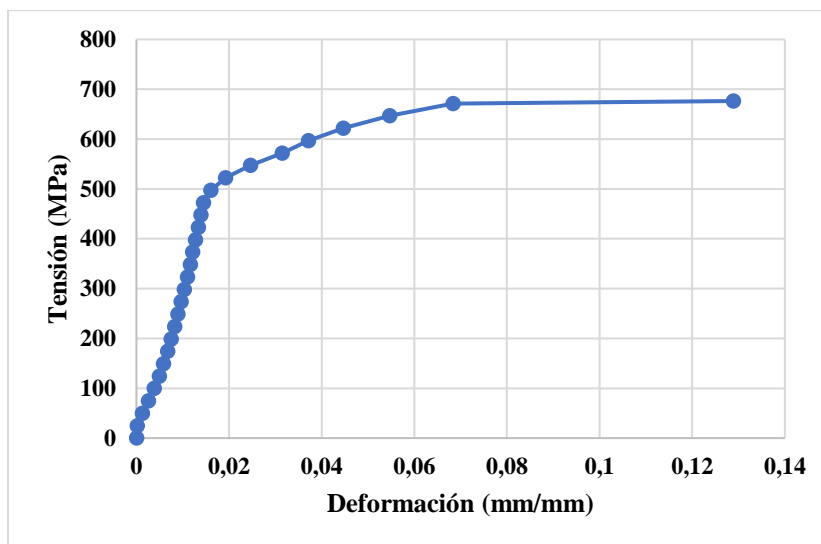
Se puede clasificar el material como muy dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, y la deformación presentada.

Tabla 33. Resultados muestra N°2.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°2</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 6                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 512                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 160                   | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 178,24                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 790,96                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 15,43                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 16                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 11,40                 | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 186,91                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 201,06                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 102,07                | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 45,39                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 1,54                  | 1,578                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 2,10                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 95000                 | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 472,49                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 136000                | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 676,41                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 11,40                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,43                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 181891,36             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 30. Tensión vs Deformación Muestra N°2.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 9.05% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 3.58%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 2.1% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 5.50% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

La máxima tensión ejercida a la probeta es muy baja en relación de la deformación que presenta el material en la zona elástica.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

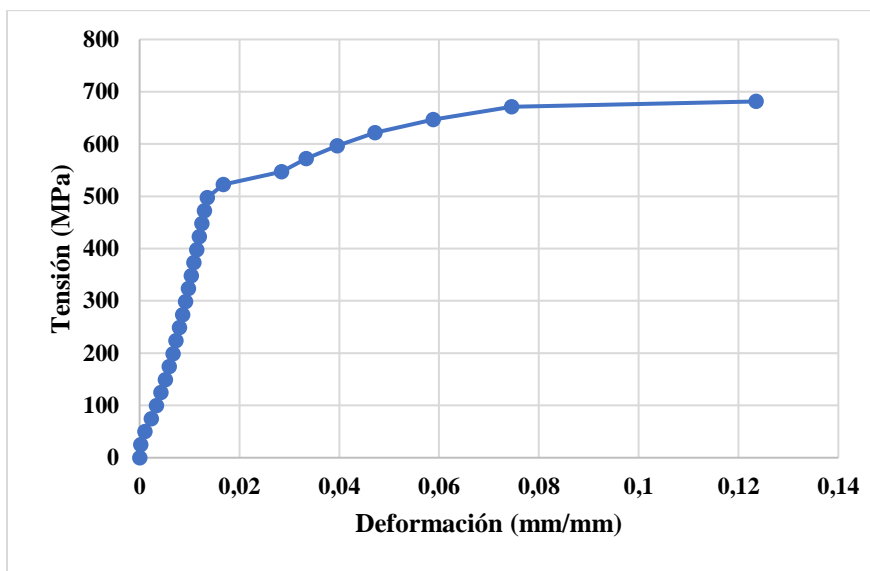
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Tabla 34. Resultados muestra N°3.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°3</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 4                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 510                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 160                   | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 177,15                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 770,82                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 15,38                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 16                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 12,20                 | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 185,86                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 201,06                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 116,90                | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 37,10                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 1,51                  | 1,578                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 4,22                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 100000                | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 497,36                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 137000                | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 681,38                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 10,72                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,37                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 140918,44             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 31. Tensión vs Deformación Muestra N°3.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 29.5% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 3.85%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 4.22% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 0.53% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

La máxima tensión ejercida a la probeta es muy baja en relación de la deformación que presenta el material en la zona elástica.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

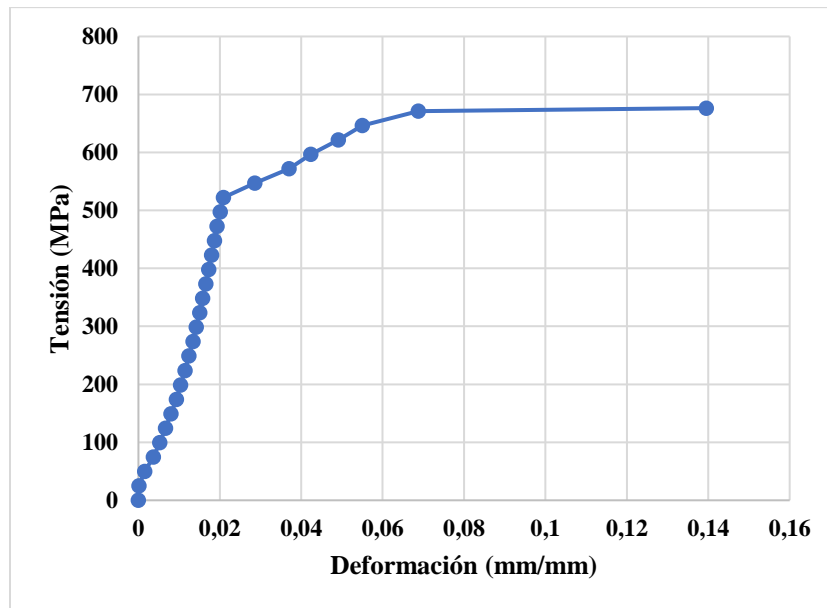
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Tabla 35. Resultados muestra N°4.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°4</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 3                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 509                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 160                   | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 180,43                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 768,27                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 15,41                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 16                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 11,10                 | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 186,43                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 201,06                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 96,77                 | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 48,09                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 1,51                  | 1,578                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 4,35                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 105000                | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 522,23                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 136000                | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 676,41                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 12,77                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,30                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 158222,39             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 32. Tensión vs Deformación Muestra N°4.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado B, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 20.9% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 3.71%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 4.35% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Se puede clasificar el material como muy dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, y la deformación presentada.

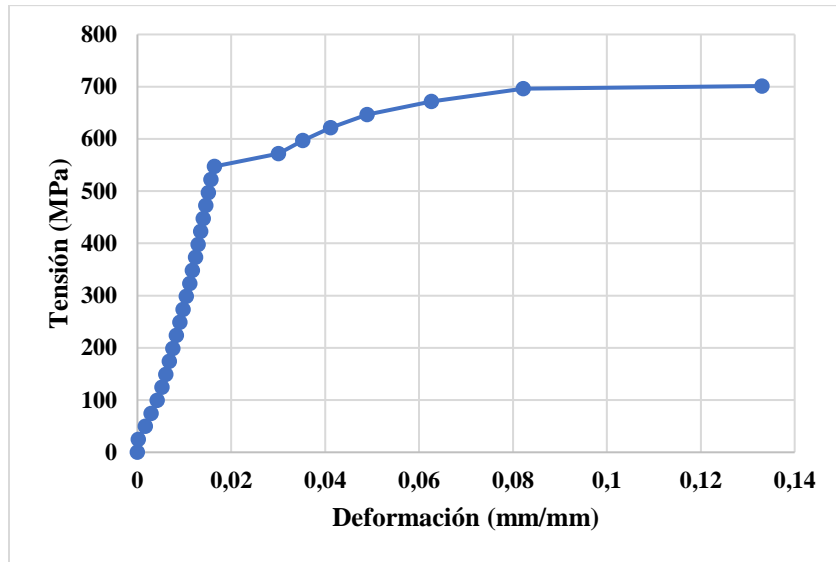


Tabla 36. Resultados muestra N°5.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°5</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 6                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 511                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 160                   | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 176,94                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 766,95                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 15,38                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 16                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 11,40                 | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 185,70                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 201,06                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 102,07                | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 45,04                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 1,50                  | 1,578                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 4,89                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 110000                | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 547,10                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 141000                | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 701,28                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 10,59                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,28                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 141194,75             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 33. Tensión vs Deformación Muestra N°5.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 29.4% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 3.89%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 4.89% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

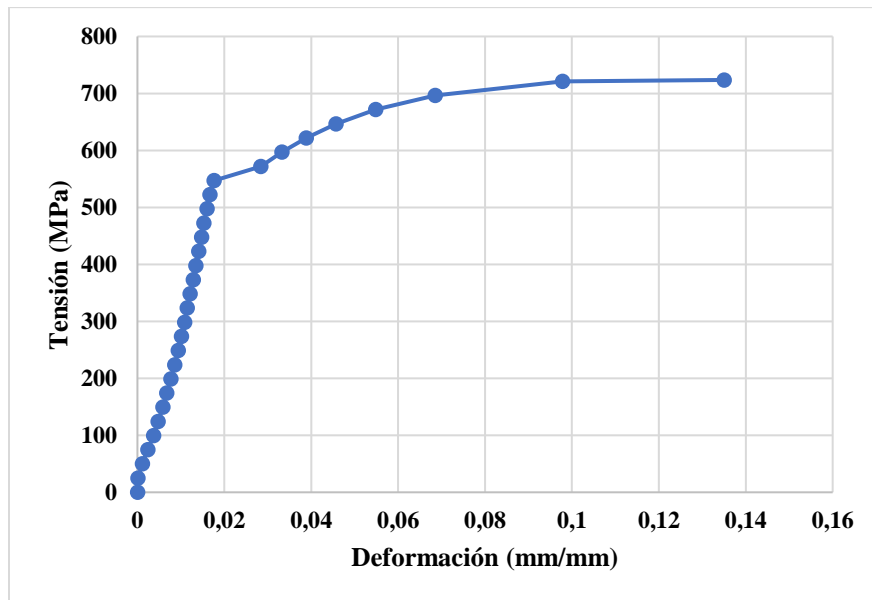
Se puede clasificar el material como muy dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, y la deformación presentada.

Tabla 37. Resultados muestra patrón.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN PATRÓN</b> |                 |                       |                            |
|---------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>                | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta            |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión            | años            | 0                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta             | mm              | 511                   | N.A.                       |
| Longitud calibrada              | mm              | 160                   | N.A.                       |
| Longitud final                  | mm              | 178                   | N.A.                       |
| Masa de la probeta              | g               | 771,19                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente            | mm              | 16,00                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal                | mm              | 16                    | N.A.                       |
| Diámetro final                  | mm              | 11,58                 | N.A.                       |
| Área equivalente                | mm <sup>2</sup> | 201,06                | N.A.                       |
| Área nominal                    | mm <sup>2</sup> | 201,06                | N.A.                       |
| Área final                      | mm <sup>2</sup> | 105,32                | N.A.                       |
| % Reducción de área             | %               | 47,62                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal           | Kg/m            | 1,51                  | 1,578                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m     | %               | 4,36                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia               | N               | 110000                | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)        | MPa             | 547,10                | 500                        |
| Carga máxima                    | N               | 145500                | N.A.                       |
| Resistencia a tracción (fs)     | MPa             | 723,66                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)          | %               | 11,25                 | 8                          |
| Relación fs/fy                  |                 | 1,32                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad           | MPa             | 181536,11             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 34. Tensión vs Deformación Muestra Patrón.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado A, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 9.23 % de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 4.36% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

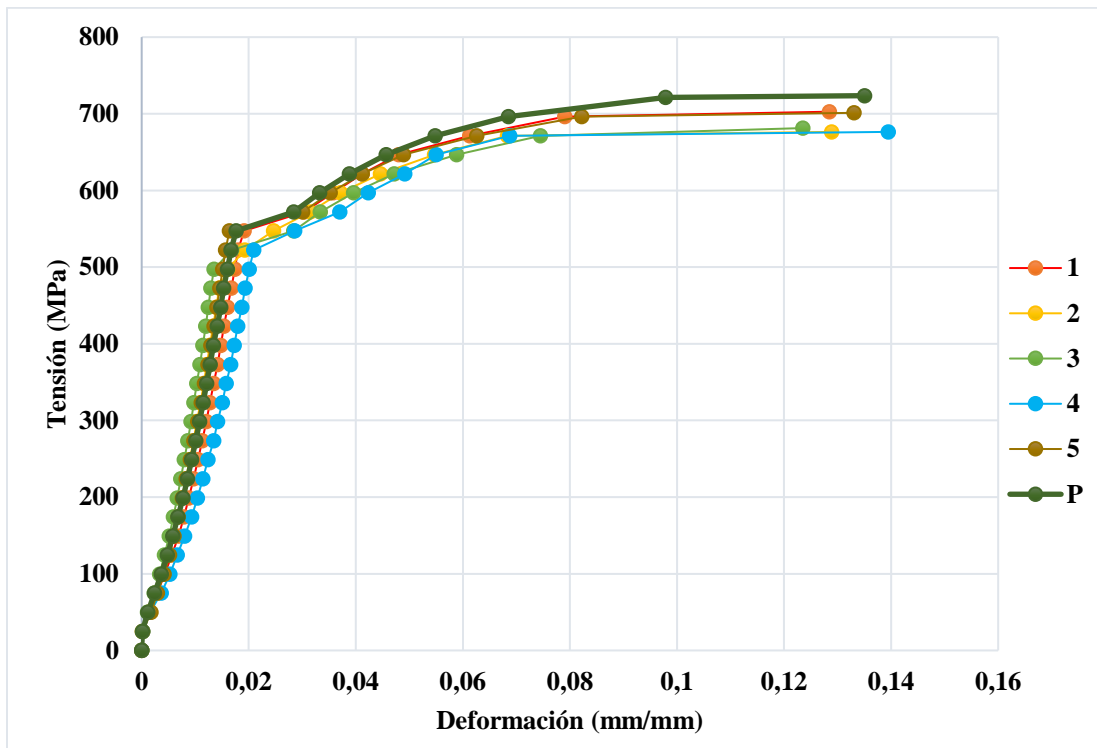
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Se puede clasificar el material como dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, llegando a la rotura dentro de los límites esperados.

Tabla 38. Tabla comparativa de los resultados obtenidos de diámetro 16 mm.

| Parámetro               | Unidad | Muestras |        |        |        |        |        |
|-------------------------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                         |        | 1        | 2      | 3      | 4      | 5      | P      |
| Periodo de corrosión    | años   | 5        | 6      | 4      | 3      | 6      | 0      |
| Grado de corrosión      |        | C        | D      | D      | B      | D      | A      |
| Diámetro                | mm     | 15,49    | 15,43  | 15,38  | 15,41  | 15,38  | 16,00  |
| Tensión de fluencia     | MPa    | 547,10   | 472,49 | 497,36 | 522,23 | 547,10 | 547,10 |
| Resistencia a tracción  | MPa    | 702,77   | 676,41 | 681,38 | 676,41 | 701,28 | 723,66 |
| Elongación en 10 $\phi$ | %      | 12,10    | 11,40  | 10,72  | 12,77  | 10,59  | 11,25  |

Gráfico 35. Comportamiento en los aceros de 16 mm de diámetro.



De acuerdo a la tabla y la gráfica comparativa de las 6 muestras realizadas, se puede apreciar que la muestra patrón, tiene mucha más tensión a fluencia y mayor resistencia a tracción que el resto de las muestras.

Las muestras N°2 y 3, se encuentran por debajo de las características mecánicas mínimas proporcionadas por la norma en cuanto a la tensión de fluencia.

La muestra con mayor deformación según la gráfica sería la N°4, con un periodo de corrosión de 3 años.

#### 4.6. Probetas de Diámetro 20 mm

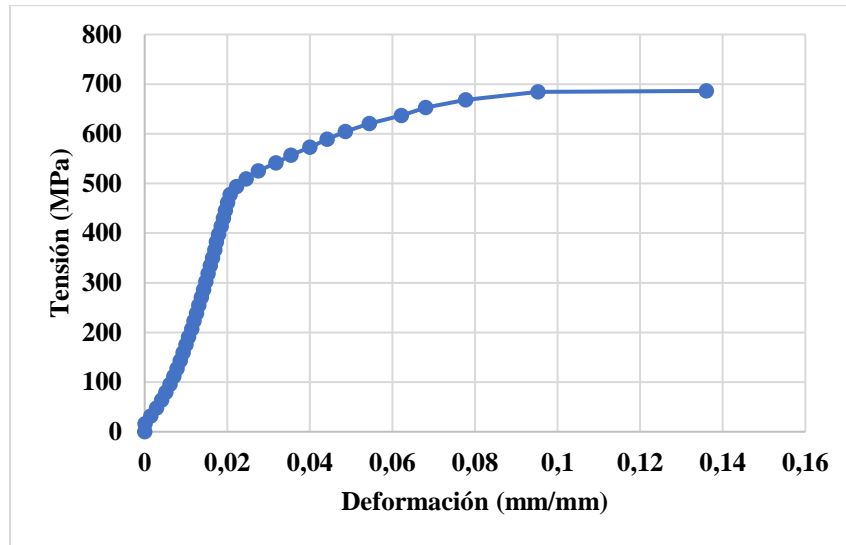
En este ensayo se analizará 5 muestras de diámetro 20 mm, donde cada barra tiene diferente grado de corrosión y una barra sin corrosión, como así también obtendremos sus respectivos parámetros para cada una de ellas.

Tabla 39. Resultados muestra N°1.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°1</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 5                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 514,50                | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 200,00                | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 221,75                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 1240,76               | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 19,35                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 20                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 16,50                 | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 294,17                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 314,16                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 213,82                | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 27,31                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 2,41                  | 2,466                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 2,21                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 150000                | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 477,46                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 215600                | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 686,28                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 10,88                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,44                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 136475,36             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 36. Tensión vs Deformación Muestra N°1.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 31.7% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 3.23%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 2.21% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 4.5% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

La máxima tensión ejercida a la probeta es muy baja en relación de la deformación que presenta el material en la zona elástica.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

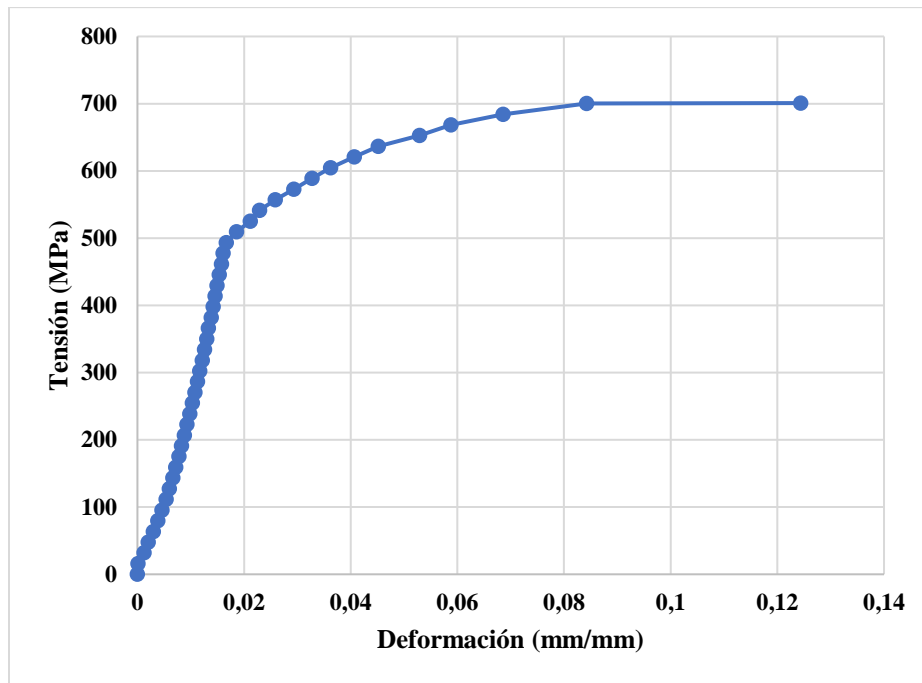


Tabla 40. Resultados muestra N°2.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°2</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 6                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 510,50                | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 200,00                | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 220,30                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 1204,93               | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 19,08                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 20                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 14,90                 | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 285,92                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 314,16                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 174,37                | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 39,02                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 2,36                  | 2,466                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 4,29                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 155000                | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 493,38                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 220200                | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 700,92                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 10,15                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,42                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 203121,50             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 37. Tensión vs Deformación Muestra N°2.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

En cuanto al diámetro equivalente tiene un valor menor que el nominal en un 4.6%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 4.29% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 1.3% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

La máxima tensión ejercida a la probeta es muy baja en relación de la deformación que presenta el material en la zona elástica.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

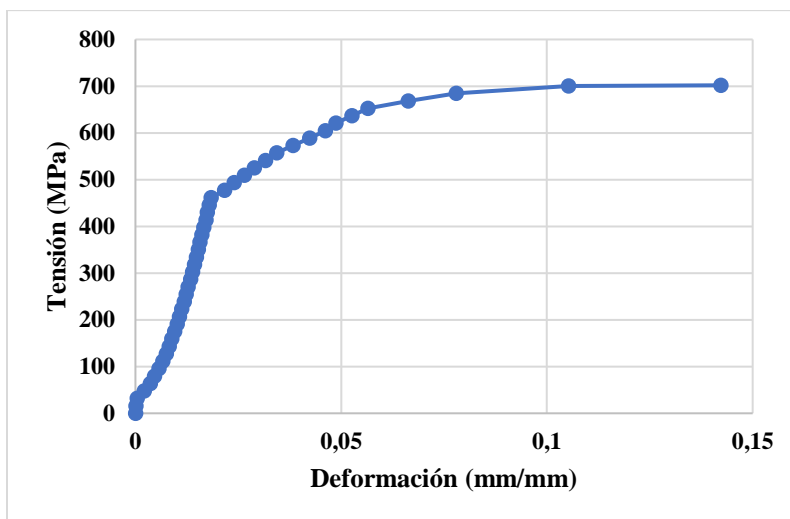
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Tabla 41. Resultados muestra N°3.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°3</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 7                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 513,00                | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 200,00                | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 220,43                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 1216,3                | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 19,42                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 20                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 15,90                 | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 296,20                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 314,16                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 198,56                | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 32,97                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 2,37                  | 2,466                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 3,85                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 145000                | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 461,55                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 220500                | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 701,87                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 10,22                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,52                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 163292,97             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 38. Tensión vs Deformación Muestra N°3.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 18.3% de lo establecido, esto es debido a la rigidez y la baja resistencia a la fluencia del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 2.9%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 3.85% del valor establecido por norma.

La tensión de fluencia está por debajo el 7.69% del requisito establecido por norma, una vez supera el límite elástico esta necesita la aplicación de carga para continuar la deformación plástica permanente.

Dentro de la zona plástica el material continúa su deformación en la máxima tensión ejercida, establece un endurecimiento por deformación hasta producir la rotura del mismo.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

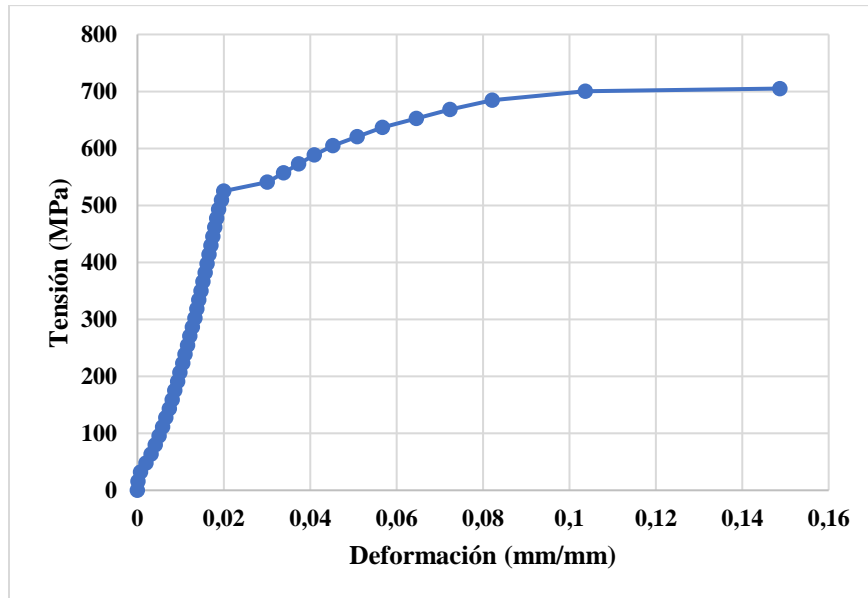
Se puede clasificar el material como dúctil, debido a la alta plasticidad del mismo.

Tabla 42. Resultados muestra N°4.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°4</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 4                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 511,00                | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 200,00                | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 221,50                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 1219,53               | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 19,47                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 20                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 15,10                 | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 297,63                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 314,16                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 179,08                | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 39,83                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 2,39                  | 2,466                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 3,22                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 165000                | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 525,21                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 221500                | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 705,06                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 10,75                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,34                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 116183,11             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 39. Tensión vs Deformación Muestra N°4.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 41.9% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 2.67%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 3.22% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

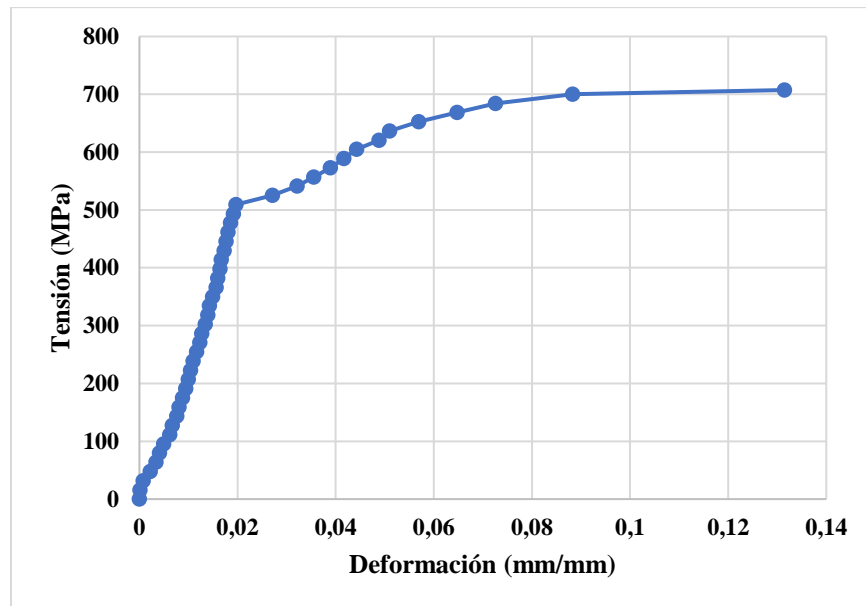
Se puede clasificar el material como muy dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, y la deformación presentada.

Tabla 43. Resultados muestra N°5.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN N°5</b>   |                 |                       |                            |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>               | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta           |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión           | años            | 4                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta            | mm              | 509,50                | N.A.                       |
| Longitud calibrada             | mm              | 200,00                | N.A.                       |
| Longitud final                 | mm              | 220,38                | N.A.                       |
| Masa de la probeta             | g               | 1203,67               | N.A.                       |
| Diámetro equivalente           | mm              | 19,19                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal               | mm              | 20                    | N.A.                       |
| Diámetro final                 | mm              | 15,50                 | N.A.                       |
| Área equivalente               | mm <sup>2</sup> | 289,13                | N.A.                       |
| Área nominal                   | mm <sup>2</sup> | 314,16                | N.A.                       |
| Área final                     | mm <sup>2</sup> | 188,69                | N.A.                       |
| % Reducción de área            | %               | 34,74                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal          | Kg/m            | 2,36                  | 2,466                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m    | %               | 4,20                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia              | N               | 160000                | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)       | MPa             | 509,30                | 500                        |
| Carga máxima                   | N               | 222200                | N.A.                       |
| Resistencia a la tracción (fs) | MPa             | 707,28                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)         | %               | 10,19                 | 8                          |
| Relación fs/fy                 |                 | 1,39                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad          | MPa             | 115842,06             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 40. Tensión vs Deformación Muestra N°5.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado D, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El módulo de elasticidad se encuentra por debajo el 42.1% de lo establecido, esto es debido a la rigidez del material.

En cuanto al diámetro equivalente se tiene un valor menor que el nominal en un 4.07%.

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 4.2% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Se puede clasificar el material como muy dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, y la deformación presentada.

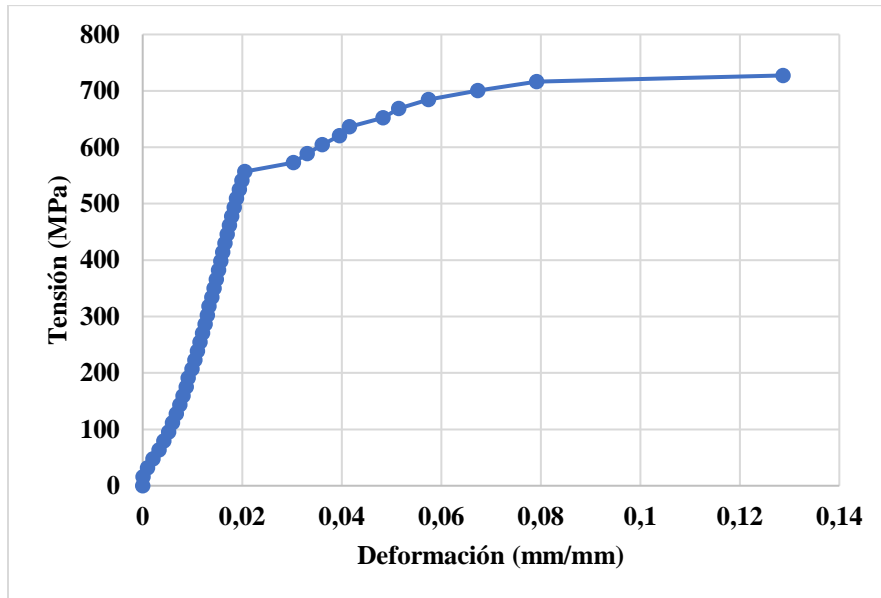


Tabla 44. Resultados muestra patrón.

| <b>ENSAYO A TRACCIÓN PATRÓN</b> |                 |                       |                            |
|---------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>                | <b>UNIDAD</b>   | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>REQUISITOS DE NORMA</b> |
| Rotulo de la probeta            |                 | ArcelorMittal         | N.A.                       |
| Periodo de corrosión            | años            | 0                     | N.A.                       |
| Longitud de probeta             | mm              | 505,00                | N.A.                       |
| Longitud calibrada              | mm              | 200,00                | N.A.                       |
| Longitud final                  | mm              | 222,00                | N.A.                       |
| Masa de la probeta              | g               | 1199,05               | N.A.                       |
| Diámetro equivalente            | mm              | 20,00                 | N.A.                       |
| Diámetro nominal                | mm              | 20                    | N.A.                       |
| Diámetro final                  | mm              | 16,10                 | N.A.                       |
| Área equivalente                | mm <sup>2</sup> | 314,16                | N.A.                       |
| Área nominal                    | mm <sup>2</sup> | 314,16                | N.A.                       |
| Área final                      | mm <sup>2</sup> | 203,58                | N.A.                       |
| % Reducción de área             | %               | 35,20                 | N.A.                       |
| Masa por metro lineal           | Kg/m            | 2,37                  | 2,466                      |
| Diferencia masa/m M/m y M/m     | %               | 3,72                  | N.A.                       |
| Carga de fluencia               | N               | 175000                | N.A.                       |
| Tensión de fluencia (fy)        | MPa             | 557,04                | 500                        |
| Carga máxima                    | N               | 228500                | N.A.                       |
| Resistencia a tracción (fs)     | MPa             | 727,34                | 600                        |
| Elongación en 10 Ø (%)          | %               | 11,00                 | 8                          |
| Relación fs/fy                  |                 | 1,31                  | 1,2                        |
| Módulo de elasticidad           | MPa             | 200933,12             | 200000                     |

N.A.: No aplica

Gráfico 41. Tensión vs Deformación Muestra Patrón.



La corrosión de la probeta ensayada es de grado A, según la clasificación de acuerdo al libro (Dias, 2006).

El parámetro masa por metro lineal está por debajo el 3.72% del valor establecido por norma.

Los demás valores obtenidos de los parámetros y propiedades mecánicas de la muestra se encuentran dentro de los requisitos establecidos por la norma NB 732.

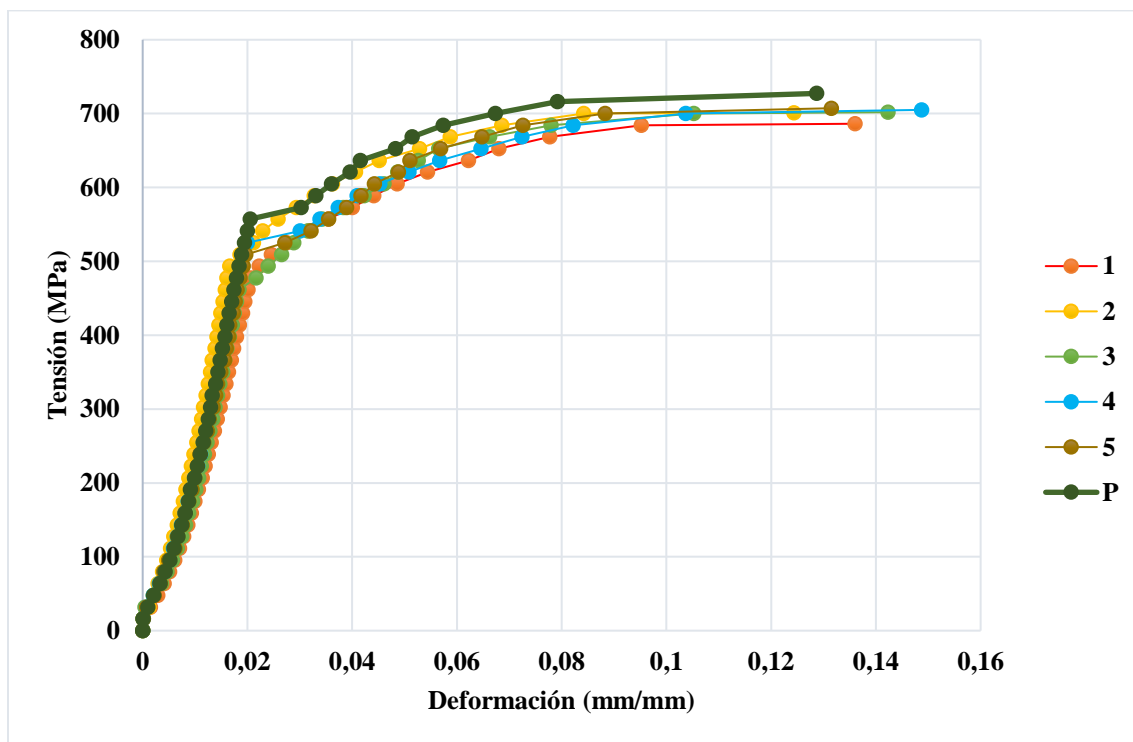
La muestra es capaz de soportar las tensiones antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de romperse.

Se puede clasificar el material como dúctil, observando el porcentaje de alargamiento debido a la tracción ejercida, llegando a la rotura dentro de los límites esperados.

Tabla 45. Tabla comparativa de los resultados obtenidos de diámetro 20 mm.

| Parámetro              | Unidad | Muestras |        |        |        |        |        |
|------------------------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                        |        | 1        | 2      | 3      | 4      | 5      | P      |
| Periodo de corrosión   | años   | 5        | 6      | 7      | 4      | 4      | 0      |
| Grado de corrosión     |        | D        | D      | D      | D      | D      | A      |
| Diámetro               | mm     | 19,35    | 19,08  | 19,42  | 19,47  | 19,19  | 20,00  |
| Tensión de fluencia    | MPa    | 477,46   | 493,38 | 461,55 | 525,21 | 509,30 | 557,04 |
| Resistencia a tracción | MPa    | 686,28   | 700,92 | 701,87 | 705,06 | 707,28 | 727,34 |
| Elongación en 10 Ø     | %      | 10,88    | 10,15  | 10,22  | 10,75  | 10,19  | 11,00  |

Gráfico 42. Comportamiento en los aceros de 20 mm de diámetro.



De acuerdo a la tabla y la gráfica comparativa de las 6 muestras realizadas, se puede apreciar que la muestra patrón tiene mucha más tensión a fluencia y mayor resistencia a la tracción que el resto de las muestras.

Las muestras N°1, 2 y 3, se encuentran por debajo de las características mecánicas mínimas proporcionadas por la norma en cuanto a la tensión de fluencia.

La muestra con mayor deformación según la gráfica sería la N°4, a pesar de tener un periodo de corrosión de 4 años.

#### 4.7. Comparación de Resultados

Para la comparación de los resultados en los diferentes diagramas realizados cabe resaltar lo siguiente:

Color rojo. – característica mecánica mínima proporcionada por la norma NB 732.

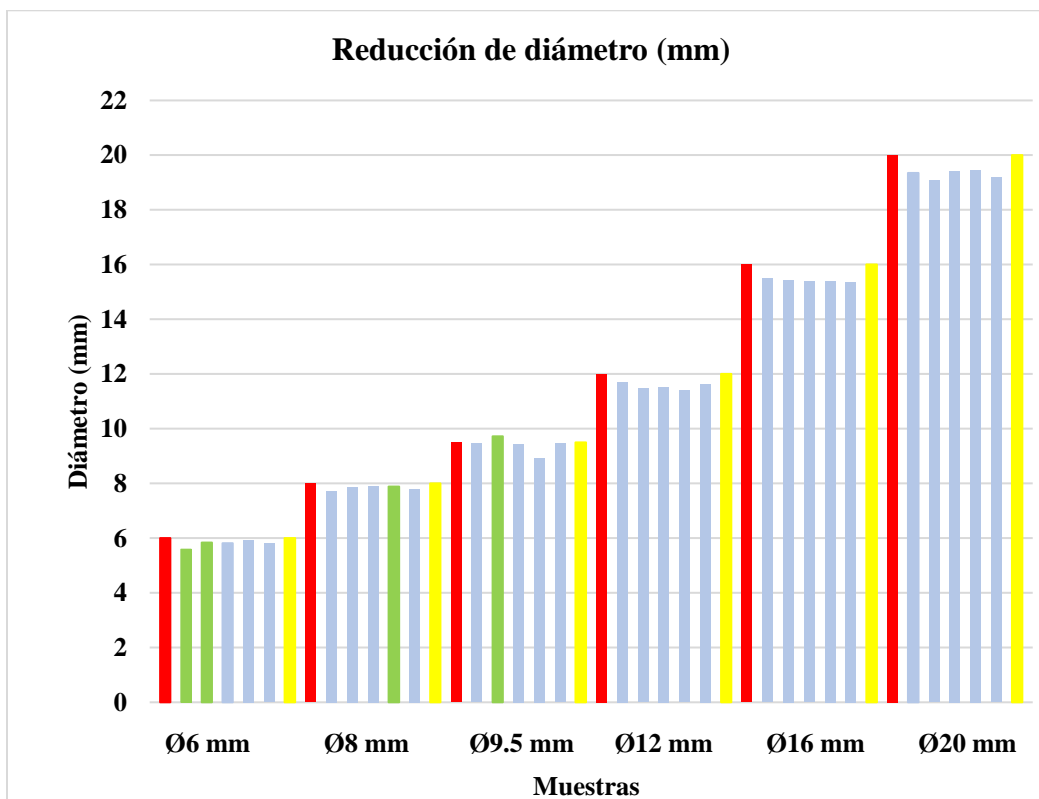
Color amarillo. – muestras de probetas sin corrosión (patrón).

Color celeste. – muestras de probetas con corrosión.

Color verde. – muestras de marca Acindar y Arequipa.

##### 4.7.1. Diámetro

Gráfico 43. Comparación de diámetro (mm).



La muestra N°2 del diámetro 9.5 mm, es una barra de marca Acindar de diámetro superior (10 mm), en el cual también se observa pérdida de diámetro.

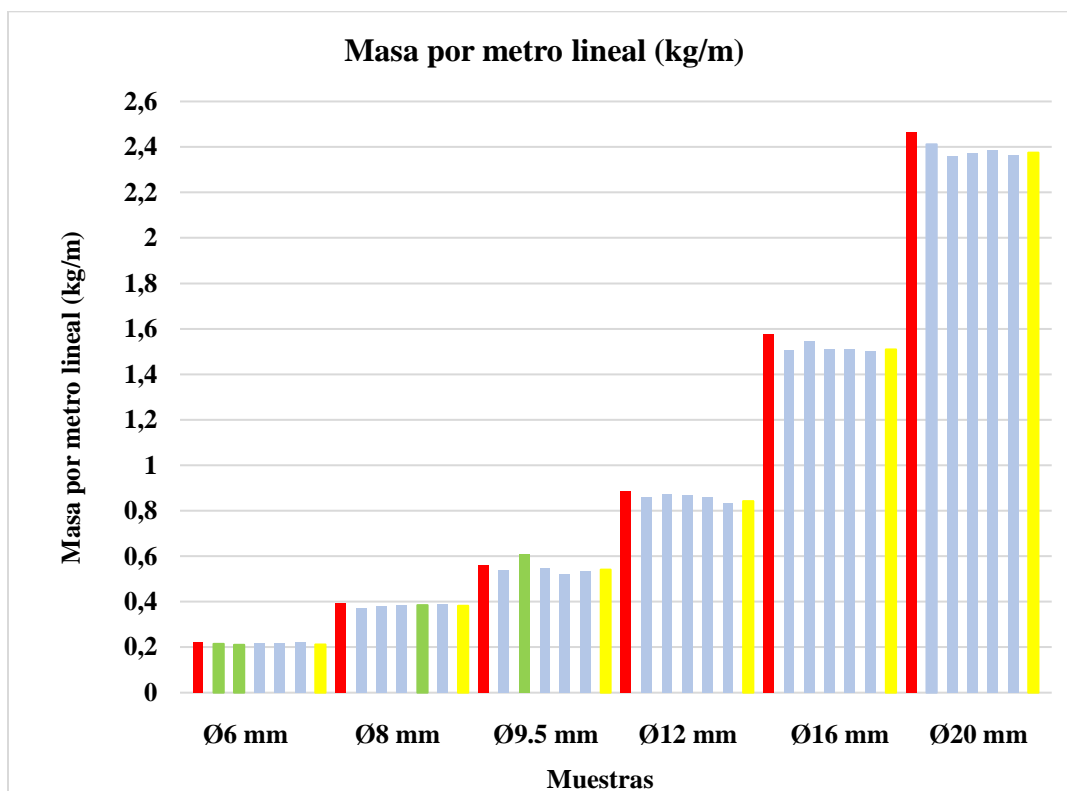
Todas las probetas ensayadas perdieron un porcentaje no mayor al 7% de sección transversal debido a la corrosión por la paralización de las obras.

La barra con mayor pérdida de sección es la muestra N°1 de diámetro 6 mm, con un porcentaje de 6.72%, con grado de corrosión D y un periodo de 8 años.

La barra con menor pérdida de sección es la muestra N°1 de diámetro 9,5 mm, con un porcentaje de 0,45%, con grado de corrosión D y un periodo de 3 años.

#### 4.7.2. Peso

Gráfico 44. Comparación de masa por metro lineal (kg/m).



De acuerdo al análisis realizado mediante el diagrama de barras, se puede observar en rojo, el requisito por norma establecido para medir la masa por metro lineal, con una tolerancia máxima del 6%, el cual es un requisito que deben cumplir las muestras.

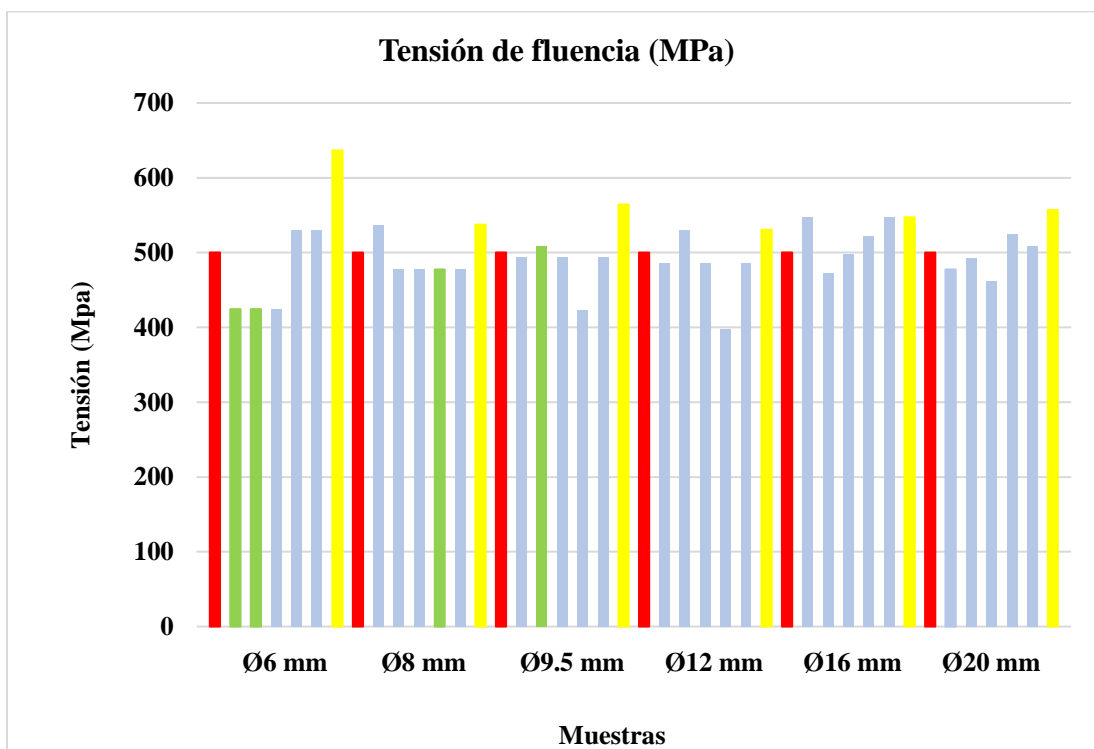
Se menciona que la muestras N°2 de diámetro 9.5 mm, es de un diámetro superior (10 mm), por lo que también tiene menor peso que lo referenciado por su norma de fabrica IRAM-IAS U500-528.

El 97,2% de las muestras ensayadas en el laboratorio cumplen con el requisito establecido por la norma, mientras que el 2,8% de las muestras no cumple, debido a la corrosión por un largo periodo de tiempo expuesto a la intemperie.

La muestra que no cumple este requisito es la muestra N°4 de diámetro 9.5 mm, con grado de corrosión D y un periodo de 10 años.

### 4.7.3. Tensión de fluencia

Gráfico 45. Comparación en la tensión de fluencia.



En referencia a la tensión de fluencia un 52.8% de las muestras se encuentra por debajo de las características mecánicas mínimas establecidas por la norma.

La obtención de estos resultados es debido a la reducción de su diámetro por corrosión y también que la máxima tensión ejercida a la probeta es muy alta en relación de la deformación que presenta el material una vez supera la zona elástica, esto produce dicho porcentaje de fluencia baja en las muestras.

El 47.2% de las muestras se encuentran dentro del rango establecido, mostrando una gran capacidad de deformación elástica, finalmente al momento de llegar a la máxima tensión, sufren las deformaciones plásticas sin necesidad de aplicar más carga.

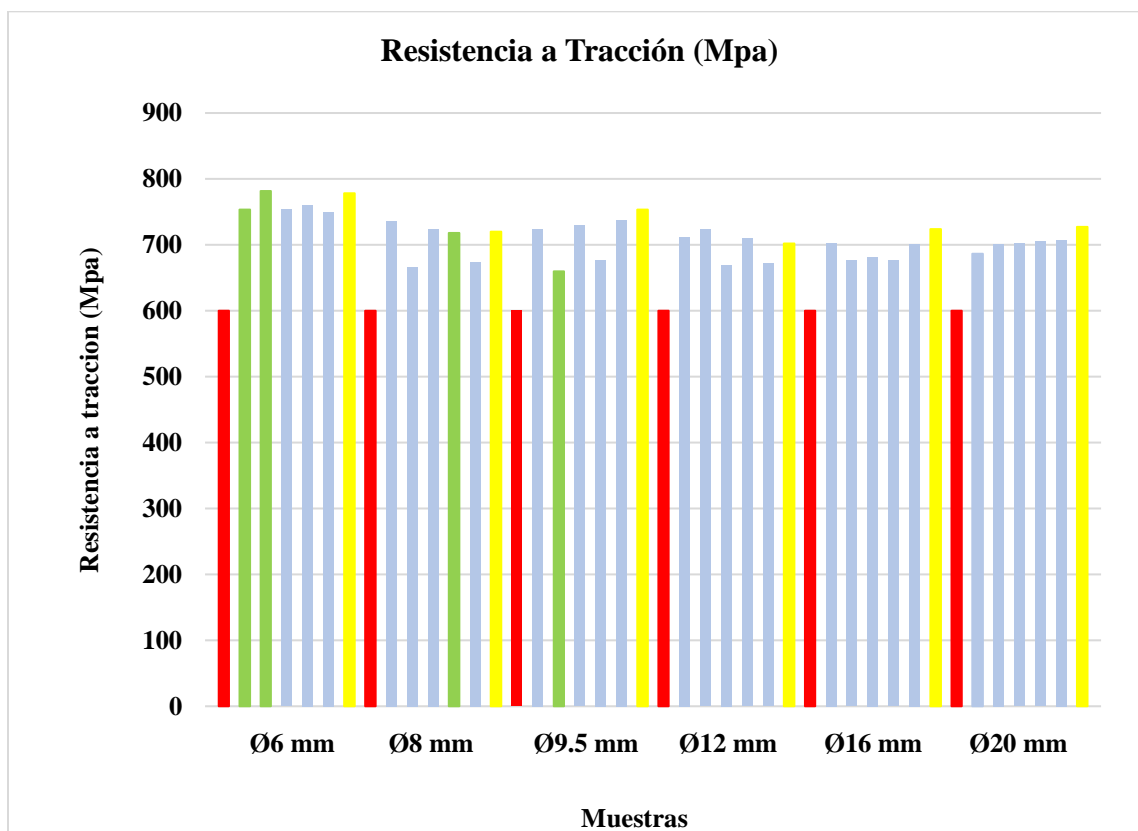
Cabe resaltar que para la muestra N°1 de diámetro 6 mm, y la muestra N°2 de diámetro 9.5 mm, son de marca Acindar, la cual está fabricada para una tensión de fluencia mínima de 420 MPa por la norma IRAM-IAS U500-528.



La muestra N°2 de diámetro 6 mm, y la muestra N°4 de diámetro 8 mm, son de marca Arequipa, las cuales están fabricadas para una tensión de fluencia mínima de 420 MPa por la norma ASTM A615 – NTP 341.031/Grado 60.

#### 4.7.4. Resistencia a tracción

Gráfico 46. Comparación resistencia a la tracción.

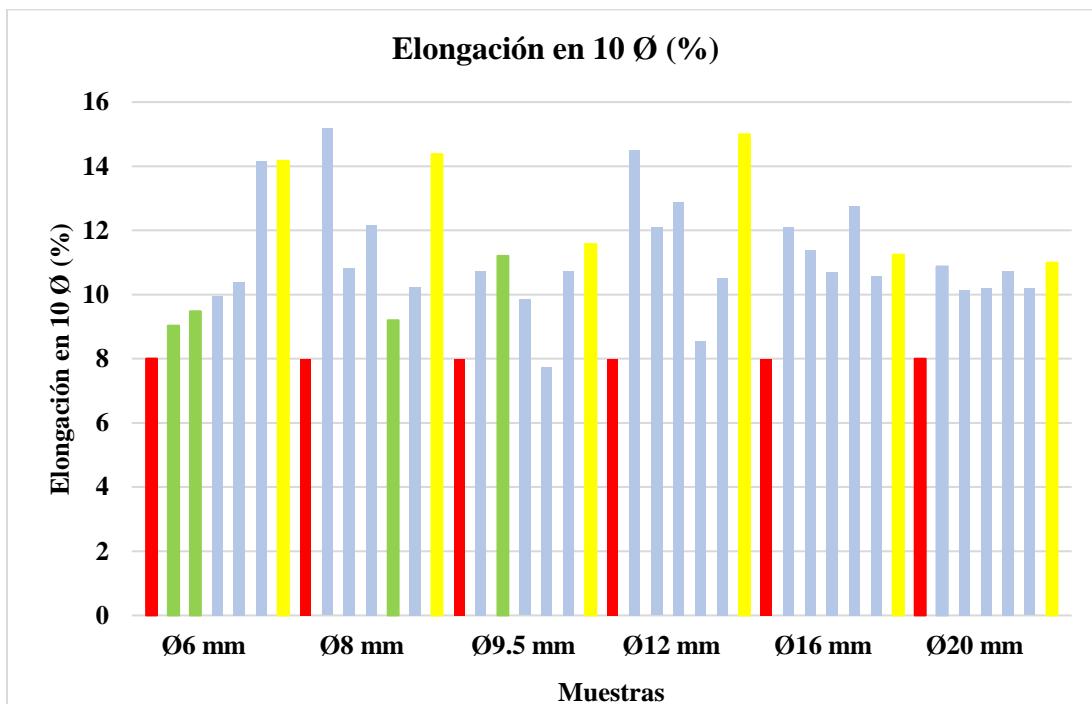


En el diagrama de barras se puede observar que el 100% de las muestras cumplen con la resistencia a tracción requerida por la norma boliviana NB 732, esta es la tensión que es capaz de soportar el material, antes de comenzar a sufrir deformaciones plásticas permanentes o de llegar al punto de rotura.

Cabe resaltar que para la marca Acindar está fabricada para una resistencia a la tracción mínima de 500 MPa por la norma IRAM-IAS U500-528, y para la marca Arequipa están fabricadas para una resistencia a tracción mínima de 620 MPa por la norma ASTM A615 – NTP 341.031/Grado 60.

#### 4.7.5. Elongación en 10 Ø (%)

Gráfico 47. Comparación a la elongación en 10 Ø (%).



La norma boliviana NB 732 en sus requisitos de característica mecánicas mínimas de tracción para varillas de acero corrugado establece un porcentaje de alargamiento medido en 10 Ø de la probeta donde no tiene que ser menor al 8% de su unidad de longitud.

Para las probetas de marca Acindar, fabricadas con la norma IRAM-IAS U500-528, el alargamiento porcentual mínimo es de 12%.

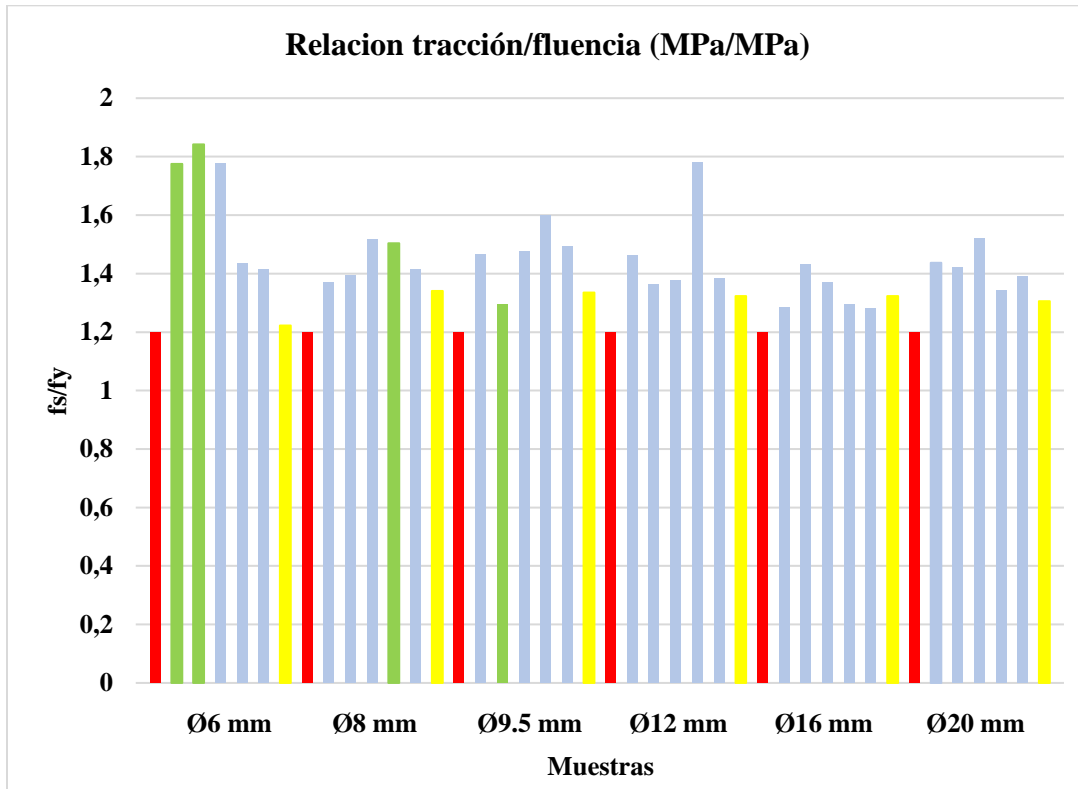
Para las probetas de marca Arequipa, fabricadas con la norma ASTM A615 – NTP 431.031/Grado 60, el alargamiento porcentual mínimo es de 11% para barras de diámetro 6 y 8 mm.

Dentro del diagrama se puede observar que un 86.1% de las muestras se encuentran por encima del valor exigido por las normas, sin embargo, esta no establece un valor máximo de alargamiento.

El 13.9% de las muestras se observan por debajo del límite, debido a la poca ductilidad del material que se fue perdiendo por la corrosión. Sus fibras no tienen la capacidad de alargamiento siendo estas de carácter elástico, produciendo baja plasticidad en el material.

#### 4.7.6. Relación tracción/fluencia

Gráfico 48. Comparación de la relación tracción/fluencia.



La tracción debe ser mayor a 1.2 veces la fluencia, así como lo establece en las características mecánicas mínimas de la norma NB 732.

Para las barras de marca Acindar y Arequipa la tracción debe ser mayor o igual a 1.25 veces la fluencia, así como lo indica la norma IRAM-IAS U500-528 y la norma ASTM A615 – NTP 431.031/Grado 60.

Se puede observar en el diagrama de barras que el 100% de las muestras cumplen con este requisito a pesar de tener diferentes periodos de corrosión.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Se concluye el proyecto de investigación confirmando la hipótesis que, debido a la corrosión por un largo periodo de tiempo, su tensión de fluencia, peso y diámetro tienden a ser menores que las características mecánicas mínimas proporcionadas por la norma NB 732.
- Gracias a las gráficas de tensión vs deformación, se puede evidenciar que el acero patrón no es superior en todas sus características a algunas probetas corroídas, esencialmente con las barras que tienen poco tiempo de exposición a la intemperie.
- De todas las barras ensayadas se tiene una pérdida de sección transversal, que es debido a la corrosión especialmente, a excepción de las barras patrón.
- La tolerancia para el peso por metro lineal es del 6% según la norma NB 732, lo cual solo el 2.8% de las barras sobrepasan estos límites.
- Una vez analizado todos los ensayos de las barras corroídas y en comparación con un acero patrón, es notable su diferencia en cuanto a su tensión a la fluencia, generando así el rechazo del 52.8% de las barras que no cumplen con las características mecánicas mínimas proporcionadas por la norma NB 732, para la continuación de las obras paralizadas.
- El 100% de las muestras tienen la capacidad de soportar las tensiones a las cuales fueron sometidas, antes de presentar deformaciones plásticas permanentes o llegar al punto de rotura, evidenciando la capacidad o máxima resistencia a la tracción que tienen.
- El mal acopio de los materiales al momento de la paralización de la obra es uno de los más grandes errores cometidos, debido a que son dejados en contacto con agentes naturales que causan la corrosión y pérdida de sus propiedades mecánicas.
- Los métodos para la protección de los aceros son muchos, pero en nuestro medio es de poca utilización y de menor importancia debido a que no se percatan de las pérdidas de propiedades mecánicas especialmente.

## RECOMENDACIONES

Según lo investigado y trabajando dentro del desarrollo del presente proyecto, se recomienda para futuros trabajos de investigación y proyectos de grado sobre el acero corrugado de refuerzo:

- Realizar un análisis químico de acuerdo a la norma ASTM A751 y verificarlo con los valores límites establecidos en la norma boliviana NB 732, para las diferentes marcas en cuanto a la corrosión de los aceros, con el fin de verificar el cumplimiento de la composición química por colada.
- Se recomienda reparar la máquina universal de ensayo de la Facultad de Ciencias y Tecnología para próximos estudios o practicas requeridas por diferentes materias.
- Se recomienda hacer ensayos a tracción de las armaduras de todas aquellas obras paralizadas para poder garantizar una buena construcción.
- Se recomienda realizar ensayos de adherencia con las barras corroídas, para poder analizar las características de adherencia de las barras corrugadas empleadas para armaduras de refuerzo del hormigón.
- Un acero corroído para poder ser usado en la continuación de la construcción debe cumplir en total cabalidad la normativa y recomendaciones de diseño en cuanto a las especificaciones, de no ser así, es motivo de rechazo del material.
- Acopiar de forma adecuada el material en las obras paralizadas, haciendo uso de plásticos, pinturas u otro tipo de protección para evitar que estos se corroan y pierdan sus propiedades mecánicas y químicas.
- Capacitar al personal técnico y ejecutor de la obra, respecto al uso, disposición, acopio, protección y manejo de acero.