



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO DE REFUERZO
CORROÍDO EN EL HORMIGÓN ARMADO EN UN ELEMENTO PRISMÁTICO DEBIDO
A FACTORES AMBIENTALES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Lenin Francisco Chuquimarca Quisaguano
Isaac Gabriel Ojeda Espín
TUTOR: Daniel Armando Valverde Castillo

Quito - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Lenin Francisco Chuquimarca Quisaguano con documento de identificación N° 1726430471 e Isaac Gabriel Ojeda Espín con documento de identificación N° 1726188590; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 31 de julio del 2023

Atentamente,



Lenin Francisco Chuquimarca Quisaguano
1726430471



Isaac Gabriel Ojeda Espín
1726188590

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Lenin Francisco Chuquimarca Quisaguano con documento de identificación N° 1726430471 e Isaac Gabriel Ojeda Espín con documento de identificación N° 1726188590; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Análisis de las propiedades mecánicas del Acero de refuerzo corroído en el Hormigón Armado en un elemento prismático debido a factores ambientales”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 31 de julio del 2023

Atentamente,

Lenin Francisco Chuquimarca Quisaguano

1726430471

Isaac Gabriel Ojeda Espín

1726188590

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Daniel Armando Valverde Castillo con documento de identificación N° 1900467869, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO DE REFUERZO CORROÍDO EN EL HORMIGÓN ARMADO EN UN ELEMENTO PRISMÁTICO DEBIDO A FACTORES AMBIENTALES**, realizado por Lenin Francisco Chuquimarca Quisaguano con documento de identificación N° 1726430471 e Isaac Gabriel Ojeda Espín con documento de identificación N° 1726188590, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 31 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. Daniel Armando Valverde Castillo, Msc.
1900467869

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO DE REFUERZO CORROÍDO EN EL HORMIGÓN ARMADO EN UN ELEMENTO PRISMÁTICO DEBIDO A FACTORES AMBIENTALES

ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF REINFORCING STEEL CORRODED IN REINFORCED CONCRETE IN A PRISMATIC ELEMENT DUE TO ENVIRONMENTAL FACTORS

Lenin Chuquimarca-Quisaguano ¹, Isaac Ojeda-Espín ², Daniel Valverde-Castillo ³

Resumen

Este estudio se enfoca en comparar el comportamiento del acero de refuerzo corroído y el acero en condiciones normales, empleando el ensayo a tracción para ambos casos. Los resultados obtenidos del ensayo a tracción permitieron identificar el porcentaje de reducción en la resistencia del acero de refuerzo debido a la corrosión por factores ambientales, presente en cada una de las probetas analizadas. Se identificó líneas de tendencia correspondientes a la relación peso-longitud de cada probeta, con una diferencia de 11.59% entre las varillas corroídas y el valor de la ficha técnica del fabricante. Del análisis mencionado anteriormente se encontró uniformidad en los puntos de la gráfica peso-longitud del acero en condiciones normales; a diferencia del acero corroído en donde la marcada dispersión de los datos recabados presenta un coeficiente de variación de 5,57%. Por otro lado, una de las propiedades mecánicas analizadas corresponde al límite de fluencia el cual exhibe semejanza en los dos tipos de muestras. En el ensayo a flexión se utilizó elementos prismáticos tipo viga, elaborados de hormigón simple y armado, obteniendo en las

Abstract

This study focuses on comparing the behavior of corroded reinforcing steel and steel under normal conditions, using the tensile test for both cases. The results obtained from the tensile test allowed the identification of the percentage reduction in the strength of the reinforcing steel due to corrosion caused by environmental factors, present in each of the specimens analyzed. Trend lines corresponding to the weight-length ratio of each specimen were identified, with a difference of 11.59% between the corroded rods and the value of the manufacturer's technical data sheet. From the analysis, uniformity was found in the points of the weight-length graph of the steel under normal conditions; unlike the corroded steel where the marked dispersion of the data collected presents a variation coefficient of 5.57%. On the other hand, one of the mechanical properties analyzed corresponds to the yield strength, which exhibits similarity in the two types of samples. In the flexural test, prismatic beam-type elements made of simple and reinforced concrete were used, obtaining in the simple concrete specimens the maximum load and modulus of rupture. For the reinforced concrete specimens with steel without

¹ Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

² Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

³ Docente de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: lchuquimarcaq@est.ups.edu.ec; iojedae@est.ups.edu.ec; dvalverde@ups.edu.ec

Chuquimarca, Ojeda y Valverde/ Análisis de las propiedades mecánicas del acero de refuerzo corroído en el hormigón armado en un elemento prismático debido a factores ambientales

probetas de hormigón simple la carga máxima y Modulo de Rotura. Para las probetas de hormigón armado con acero sin corrosión se distinguió la homogeneidad en los valores de cargas y deformaciones máximas. Con los resultados obtenidos se logró apreciar la disminución de la resistencia del acero corroído expuestos a factores ambientales en un rango 5 a 10 años.

Palabras Clave: Acero, Zona elasto-plástica, Hormigón, Corrosión, Tracción, Flexión.

corrosion, the homogeneity in the values of maximum loads and deformations was distinguished. With the results obtained, it was possible to appreciate the decrease in the resistance of corroded steel exposed to environmental factors in a range of 5 to 10 years.

Keywords: Steel, Elasto-plastic zone, Concrete, Corrosion, Tensile, Flexure.

1. Introducción

El sistema constructivo más utilizado en las obras civiles es el hormigón armado, debido a su costo asequible y a la producción masiva de los materiales que lo componen, como se menciona en [10] “cada año se producen más de 4 mil millones de toneladas de cemento” siendo uno de los materiales con mayor demanda a nivel mundial. De igual manera, el acero alcanza una producción mundial de 3200 millones de toneladas [11]. Una de las principales problemáticas es la corrosión en el acero de refuerzo debido a factores ambientales, demostrando así el alterable entorno en el que se encuentra el acero de refuerzo. Además, la corrosión reduce propiedades mecánicas del acero de refuerzo esto se indica en [1] “Uno de los efectos más significativos de la corrosión del acero de refuerzo es la disminución de las propiedades del acero relacionadas con la ductilidad.”, por lo cual es importante resaltar los ensayos a tracción realizados.

En relación con lo mencionado es necesario determinar un valor que identifique la cantidad de corrosión Ming [2], citado por Feng [3], menciona que “la corrosión no uniforme se puede obtener mediante la medición cuantitativa de la pérdida de peso del acero corroído después de la fisura del concreto, pero es difícil obtener el proceso de propagación de la corrosión”, con los ensayos de tracción y flexión se determina la reducción de la resistencia en los testigos y se obtiene dicho valor.

Las variables para determinar la reducción de la resistencia se ven influenciadas por varios factores, en algunas investigaciones por ejemplo [4] explica sobre la variación en la relación agua/cemento y el recubrimiento “A mayor relación agua/cemento, mayor permeabilidad del hormigón, el cual será más proclive ante factores desencadenantes de corrosión. A menor espesor de recubrimiento, la agresividad del medio circundante afectará más al hormigón”.

También existen modelos empíricos focalizados para armaduras y elementos corroídos que relacionan [2] “el límite elástico, la resistencia última y la densidad de energía de deformación con el grado de corrosión y el diámetro de las armaduras” que arrojaron modelos lineales, con ello se determinó que la resistencia última y el límite elástico se encuentran relacionadas con el diámetro de la varilla. Por otra parte, la variación en la energía de deformación depende del porcentaje de corrosión, así como del diámetro del elemento estructural.

2. Materiales y Métodos

2.1 Hormigón

El cemento utilizado para este estudio es de la marca Chimborazo® Hidráulico Alta Resistencia Inicial Tipo HE, con densidad de 2.92 gr/cm³ de acuerdo con la norma INEN 2380. [15] El agua que se utilizó fue agua potable a temperatura ambiente. Los materiales pétreos utilizados fueron de la cantera de La Mitad del Mundo, Provincia de Pichincha cumpliendo la norma NTE INEN 696. [13]. Con respecto a la granulometría de los áridos finos y gruesos se empleó la norma NTE INEN 872 cumpliendo con lo especificado en la misma. [9] El peso específico de los áridos se realizó bajo los parámetros de la norma NTE INEN 858 [10]. Estas características se encuentran detalladas en la Tabla [1]

Tabla 1. Caracterización de los áridos

Propiedades	Agregado Fino	Agregado Grueso
Módulo de Finura	2,94	*
Tamaño Máximo Nominal [mm]	*	12,70
Peso Unitario Varillado [kg/m ³]	*	1462,80
Densidad Relativa	2,67	2,43
Contenido de Humedad [%]	2,94	0,60
Porcentaje de Absorción [%]	0,61	3,94

2.1.1 Dosificación

Chuquimarca, Ojeda y Valverde/ Análisis de las propiedades mecánicas del acero de refuerzo corroído en el hormigón armado en un elemento prismático debido a factores ambientales

El procedimiento empleado en la dosificación del presente estudio corresponde al Método de volumen absoluto el cual resulta preciso pues como se establece en [5] “el uso de las masas específicas de todos los ingredientes para calcular el volumen absoluto que cada uno de ellos ocupara en una unidad de volumen de concreto.” De esta forma se garantiza la resistencia requerida en base a los volúmenes calculados de cada uno de los agregados especificados en la Tabla 2.

Tabla 2. Dosificación de Hormigón

	Agua	Cemento	Arena	Ripio	Aditivo
Cantidades [kg]	197,06	386,82	833,41	807,13	*
Dosificación al Peso	0,51	1,00	2,15	2,09	0,01
Contenido de Humedad [%]	*	*	2,94	0,60	*
Capacidad de Absorción [%]	*	*	0,61	3,94	*
Corrección por Humedad	*	*	0,02	0,00	*
Cantidades Corregidas [kg]	199,71	356,63	833,41	807,13	3,57
Dosificación al peso	0,56	1,00	2,34	2,26	*

2.2 Acero de refuerzo

El acero sin corrosión corresponde a Varilla Micro aleada de la marca Novacero® con corrugaciones inclinadas a 65° [6], que cumplen con las especificaciones de normas técnicas NTE INEN 2167. [17] En el caso del acero de refuerzo corroído se utiliza diversas muestras de varillas con diámetro de 8mm, adquiridas en el sector de Calderón, Cantón Quito; expuestas de 5 a 10 años a factores ambientales. Además, los testigos para el ensayo a tracción cumplen con la longitud estipulada en la norma ASTM E8M. [12].

Las mediciones de las probetas sin presencia de corrosión poseen un peso constante correspondiente a la uniformidad de los elementos ensayados como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Características de los testigos sin corrosión (N)

Probeta	Longitud (mm)	Peso (gr)
1	149,52	58,46
2	146,55	57,28
3	148,39	57,17
4	150,10	58,12
5	148,71	57,50
6	148,41	58,14

Las probetas con presencia de corrosión poseen diversos valores de peso con longitudes similares descritos en la Tabla 4.

Tabla 4. Dimensiones de los testigos con corrosión (C)

Probeta	Longitud (mm)	Peso (gr)
1	148,23	53,26
2	148,95	53,03
3	149,79	54,17
4	149,54	46,42
5	149,41	53,54
6	151,90	53,11

2.3 Metodología

El presente trabajo se encargó de estudiar la reducción de la resistencia a flexión en un elemento prismático de hormigón armado correspondiente a la norma técnica NTE INEN 2554 [16]. La disminución de las propiedades mecánicas a tracción sobre el acero de refuerzo correspondiente a la normativa ASTM A706. [18], debido a la corrosión por factores ambientales.

Se determinaron las siguientes propiedades mecánicas: módulo elástico, punto de fluencia, resistencia a la tracción, resiliencia tenacidad y ductilidad, parámetros que sirvieron en la determinación del porcentaje en la reducción de las distintas características descritas en la norma NTE INEN 109 [15].

4	0,387	0,310	20
5	0,387	0,358	7
6	0,392	0,350	11

2.3.1. Ensayo a Tracción.

El ensayo a tracción brindó diversas formas de canalizar los datos los cuales se describen en [15] “resistencia a la tracción, límite elástico, alargamiento, y reducción de área”. Estas características generan información relacionada al espécimen sometido al ensayo.

Cada una de las características poseen información relevante como por ejemplo el límite elástico que se describe en [15] como “la tensión a la que un material se deforma permanentemente”. Al alcanzar el límite máximo de carga el espécimen no recupera a su estado original, como se pudo observar al realizar este ensayo en el acero en condiciones normales y corroídas.

2.3.2. Ensayo a Flexión.

El ensayo a flexión permitió determinar la carga máxima, como se menciona en [16] “el estado de carga se conoce como Módulo de Rotura (MR), se determina mediante ensayos a vigas prismáticas de hormigón simplemente apoyadas con dos cargas puntuales aplicadas a los tercios de la luz del elemento de dimensiones estandarizadas”. Se realizaron ensayos de simple y armado este último con acero con corrosión y sin corrosión.

3. Resultados y Discusión

La Tabla [5] indica los resultados de la relación entre la longitud-peso de los casos de acero corroído C y sin corrosión N. El valor de la relación longitud-peso de la probeta 4, por lo tanto, si comparamos la relación con la probeta de acero no corroído el cual es del 20%.

Tabla 5. Porcentaje de reducción en los testigos

Probeta	Relación N [Kg/m]	Relación C [Kg/m]	Reducción [%]
1	0,391	0,356	9
2	0,391	0,359	8
3	0,385	0,362	6

En la Tabla 6 se observa que el promedio de la relación peso-longitud de las varillas sin corrosión tiene un valor cercano a lo establecido por el fabricante, presentando una diferencia de 1.57%, a diferencia de la varilla con corrosión cuyo promedio disminuyo de lo estipulado por el fabricante y con una diferencia de 11.59%. El coeficiente de correlación Pearson (r) indica que la varilla sin corrosión presenta una relación moderada a diferencia de la relación nula en el caso de las varillas con corrosión.

Tabla 6. Promedios de la Relación peso-longitud

Φ 8 [mm]	Promedio [kg/m]	Error [%]	Coficiente r
Ficha Técnica	0,395	0,00	1,00
Normal	0,389	1,57	0,68
Corroída	0,349	11,59	0,03

Además, en la Figura 1 se apreció que la relación peso-longitud los resultados se alejan de la línea de tendencia, mientras que las varillas sin corrosión se mantienen homogéneos. Estos resultados se encuentran muy cercanos a los estipulados por el fabricante.

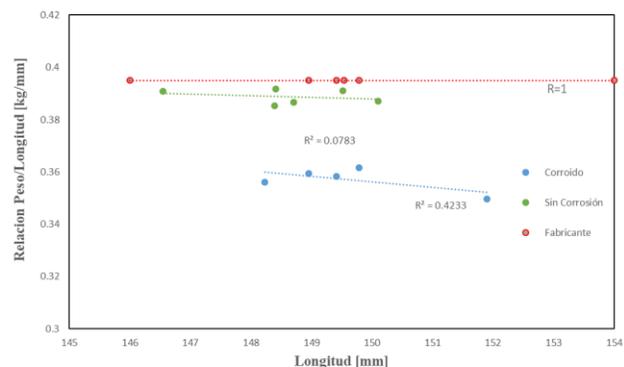


Figura 1 Relación Peso/Longitud varillas corroídas, normales y fabricante

Los resultados en la Figura 2 del ensayo a tracción presentan uniformidad en las zonas elásticas, elasto-plástica y plásticas para el

Chuquimarca, Ojeda y Valverde/ Análisis de las propiedades mecánicas del acero de refuerzo corroído en el hormigón armado en un elemento prismático debido a factores ambientales

conjunto de probetas analizadas con una deformación unitaria entre 0,3 y 0,45.

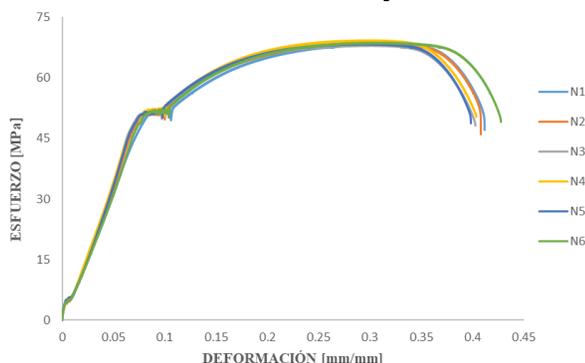


Figura 2 Diagrama Esfuerzo-Deformación varillas sin corrosión

en la zona elasto-plástica; del mismo, se identificó una deformación inestable con un rango de 0,12 y 0,35 sin relación directa a su respectivo esfuerzo.

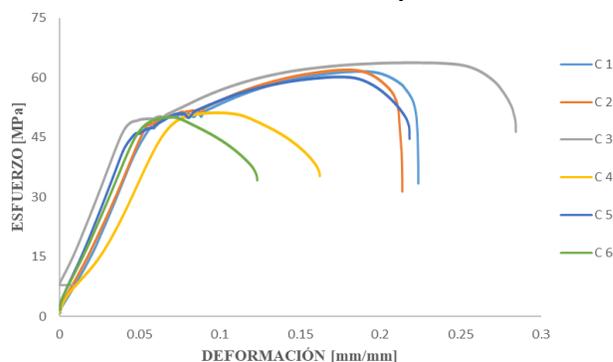


Figura 3 Diagrama Esfuerzo-Deformación varillas con corrosión

La Tabla 7, describe los resultados de las propiedades mecánicas en las probetas sin corrosión, donde se presenta una resistencia máxima de 69,25 MPa y un punto de rotura mínima de 45,96 MPa. Todos estos valores presentan uniformidad.

Tabla 7. Propiedades mecánicas de las probetas sin corrosión

	N1	N2	N3	N4	N5	N6
[MPa]						
Módulo Elástico	590,12	646,89	671,35	645,53	673,20	631,25
Punto de Fluencia [MPa]	50,14	49,43	49,72	50,52	49,94	50,06
Resistencia la Tracción [MPa]	68,22	68,37	68,09	69,25	68,42	68,67
Punto de Rotura [MPa]	47,07	45,96	48,11	50,31	48,70	49,11
Resiliencia [MPa]	2,09	1,83	1,77	2,00	1,83	1,97
Tenacidad [MPa]	22,92	22,95	22,56	22,94	22,39	24,20
Ductilidad A [%]	41,20	40,83	40,30	40,39	39,86	42,80

Las propiedades mecánicas en las probetas con corrosión muestran una diferencia en sus valores, en la Tabla 8 se tiene datos como el módulo elástico en donde se encontró un valor de 682,99 MPa y se amplificó a 1183,03 MPa.

Tabla 8. Propiedades mecánicas de las probetas con corrosión

Probeta	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Módulo Elástico [MPa]	830,83	858,13	1183,03	682,99	958,90	903,24
Punto de Fluencia [MPa]	47,13	48,19	47,94	47,45	45,76	47,08
Resistencia la Tracción [MPa]	61,69	62,09	63,89	51,30	60,32	50,22
Punto de Rotura [MPa]	33,42	31,38	46,40	35,27	44,63	34,21
Resiliencia [MPa]	1,33	1,35	1,11	1,59	1,16	1,29
Tenacidad [MPa]	10,80	10,34	15,47	6,06	10,64	4,60
Ductilidad A [%]	22,36	21,37	28,43	16,22	21,81	12,32

La Figura 3 indica la variabilidad de los resultados al realizar el ensayo a tracción que presentan corrosión, esta variación es significativa

Con los datos obtenidos del ensayo a tracción de las varillas se calculó: la media aritmética \bar{X} ,

varianza S^2 , desviación estándar S y el coeficiente de variación CV . Con la finalidad de determinar el porcentaje de las de las propiedades mecánicas con lo especificado por el fabricante, para los resultados de las varillas sin corrosión presentes en la Tabla 9 se estimó un coeficiente de variación con un intervalo de 1% el mínimo y de 6% para el máximo las propiedades, es decir, que presentan similitud en sus valores.

Tabla 9. Análisis estadístico en las varillas sin corrosión

	\bar{x}	S^2	S	CV [%]
Módulo Elástico [MPa]	643,06	778,76	27,91	4,00
Punto de Fluencia [MPa]	49,97	0,14	0,37	1,00
Resistencia la Tracción [MPa]	68,50	0,17	0,42	1,00
Punto de Rotura [MPa]	48,21	2,36	1,54	3,00
Resiliencia [MPa]	1,91	0,02	0,12	6,00
Tenacidad [MPa]	22,99	0,40	0,64	3,00
Ductilidad [%]	40,90	1,08	1,04	3,00

La Tabla 11 presenta los análisis estadísticos previamente descritos, de los especímenes con presencia de corrosión. De los datos obtenidos la tenacidad posee el máximo coeficiente de variación, en otras palabras, la carga necesaria para llegar al punto de ruptura sufre una alteración debido a los diferentes estados o grados de corrosión.

Tabla 10. Análisis estadístico en las varillas con corrosión

	\bar{x}	S^2	S	CV [%]
Módulo Elástico [MPa]	902,85	22861,62	151,20	17,00
Punto de Fluencia [MPa]	47,26	0,73	0,86	2,00
Resistencia la Tracción [MPa]	55,61	41,21	6,42	12,00
Punto de Rotura [MPa]	37,55	39,96	6,32	17,00
Resiliencia [MPa]	1,30	0,03	0,17	13,00
Tenacidad [MPa]	9,65	15,02	3,88	40,00
Ductilidad [%]	20,42	30,79	5,55	27,00

Los datos de la Figura 4 indican la similitud de los resultados en la región elástica hasta llegar al punto de fluencia, a partir de dicho punto la zona elástico-plástica se ve reducida en las probetas C1, C2, C3 y C5, mientras que las probetas C4 y C6 carecen de esta propiedad; es decir, no tenían fluencia. Finalmente, en la zona plástica todas las probetas se ven disminuidas en comparación al caso representativo de las varillas sin corrosión que llegaron a una carga máxima de 68,08 MPa, una deformación unitaria de 0,39 y un punto de rotura de 48,78 MPa.

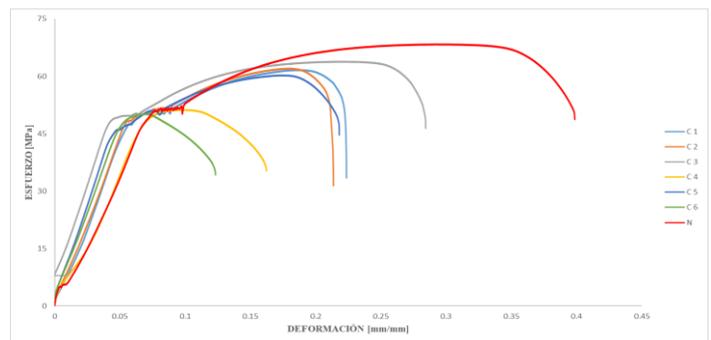


Figura 4 Comparativa Diagrama Esfuerzo-Deformación de testigos corroídos (C) y sin corrosión (N)

Los resultados del ensayo a flexión en las vigas elaboradas con hormigón simple de la Tabla 11 presentan las cargas máximas similares y no superan el valor de 22,68 kN. También se calculó el módulo de rotura que está

Chuquimarca, Ojeda y Valverde/ Análisis de las propiedades mecánicas del acero de refuerzo corroído en el hormigón armado en un elemento prismático debido a factores ambientales

directamente relacionado a la masa del elemento prismático, es decir, a mayor masa mayor carga.

Tabla 11. Descripción de las vigas prismáticas elaboradas de hormigón simple

Probeta	1	2	3
Luz [mm]	450,00	450,00	450,00
Ancho [mm]	151,00	151,20	150,80
Espesor [mm]	150,70	151,80	150,20
Longitud [mm]	530,00	537,00	535,00
Masa [g]	27310	27494	27066
Carga Máxima [kN]	21,76	22,68	21,60
Módulo de Rotura [kPa]	4283,90	4393,91	4285,65

Las características de las vigas prismáticas con acero sin corrosión se presentan en la Tabla 12 al igual que las vigas elaboradas con hormigón simple, la masa es directamente proporcional a la carga.

Tabla 12. Descripción de las vigas prismáticas elaboradas de hormigón armado con acero en condiciones normales

Probeta	1	2	3
Luz [mm]	450,00	450,00	450,00
Ancho [mm]	150,60	150,80	149,20
Espesor [mm]	151,50	151,80	151,90
Longitud [mm]	535,00	534,00	535,50
Masa [g]	27992	28072	27994
Carga Máxima [kN]	60,06	60,22	60,21

Los resultados de la Tabla 13 pertenecen a las vigas con acero corroído que como se ha visto en los ensayos anteriores no presenta uniformidad, para la relación masa-carga se observan datos sin relación o proporción.

Tabla 13. Descripción de las vigas prismáticas elaboradas de hormigón armado con acero corroído.

Probeta	4	5	6
Luz [mm]	450,00	450,00	450,00
Ancho [mm]	151,20	151,60	150,90
Espesor [mm]	150,20	149,20	151,36
Longitud [mm]	536,00	536,50	533,40
Masa [g]	28336	28156	28158
Carga Máxima [kN]	57,85	64,30	51,61

En la Figura 5 se representó los datos obtenidos del ensayo carga-deformación para cada muestra, los elementos prismáticos presentan irregularidades en sus cargas a diferencia de las vigas del acero sin corrosión.

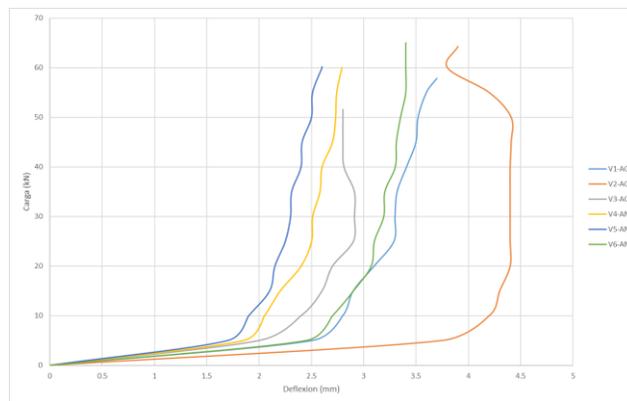


Figura 5 Diagrama Carga-Deformación de probetas de Hormigón Armado con acero corroído (AC) y normal (AN)

Los datos detallados en la Tabla 14 representan la deformación y carga máxima, con sus respectivos promedios. Durante los ensayos se examinaron las fisuras, la V2-AC presento fisuras por cortante con un ancho de fisura de 1,68 [cm] y una bifurcación a una altura de 7,80 [cm] en el apoyo. La fisura por tracción comenzó con un ancho de 0,34 [cm] hasta llegar a la altura de

12,94 [cm] con un ancho de 0,13 [cm], siendo este el caso más crítico de las vigas con acero corroído.

La viga con acero sin corrosión presento fisuras que produjeron con un ancho de 0,20 [cm] hasta llegar a una altura de 9,66 [cm] con un ancho de 0,17 [cm].

Tabla 14. Deformaciones y cargas máximas de los elementos prismáticos ensayados

Probeta	Deformación [mm]	Carga [kN]	Promedios
V1-AC	3,70	57,85	
V2-AC	3,90	64,30	57,92
V3-AC	2,80	51,61	
V4-AN	2,79	60,06	
V5-AN	2,60	60,22	60,16
V6-AN	3,4	60,29	

En la Figura 6 se detalla los promedios para los tres tipos de vigas, para el hormigón simple se utilizó las letras HS, la denominación AC para las que contienen acero de refuerzo corroído y AN para las que poseen acero de refuerzo sin corrosión. Los resultados de las cargas máximas para cada elemento prismático con acero de refuerzo corroído tienen un valor máximo de carga 57,92 kN.

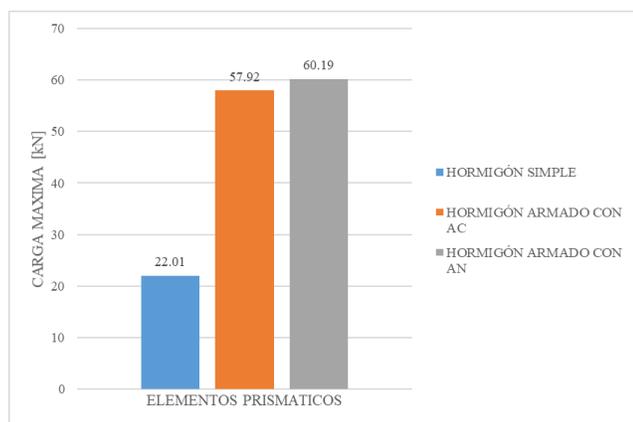


Figura 6 Promedio de cargas máximas [kN] sobre las probetas

4. Conclusiones

La relación peso-longitud es una característica determinante al momento de estipular si los especímenes presentan un grado de corrosión sustancial, pues a medida que dicha relación se aleje de los establecido por la ficha técnica del fabricante cada una de sus propiedades mecánicas se verán reducidas.

La reducción de las propiedades mecánicas del acero en el ensayo a tracción tiene un comportamiento similar hasta el límite elástico con puntos de fluencia en un rango entre 47-50 MPa para ambos casos de acero estudiados. A partir del punto de fluencia se observa que en el caso de las varillas con corrosión los límites elasto-plásticos tienen valores dispersos en comparación a las varillas sin corrosión.

La ductilidad en las varillas sin corrosión mantiene una proporción de 2:1 con respecto a las varillas corroídas, de igual forma la resiliencia y tenacidad conservan una proporción semejante.

Las vigas a flexión simple tuvieron un valor promedio de 22,01 kN. Para las vigas de hormigón armado sin corrosión su carga promedio fue superior con un valor de 60,16 kN. Además, sus cargas fueron directamente proporcionales a su deformación tal como detalla la Tabla 14 en contraste con las vigas elaboradas con acero corroído que muestra valores dispersos en la relación carga-deformación.

Establecer el rango de tiempo de exposición de agentes ambientales del acero corroído con el fin. Realizar un análisis en elementos prismáticos bajo esfuerzos cortantes o variantes de flexo-compresión. Analizar la reducción de las propiedades determinadas en el ensayo de fatiga del acero y analizar sus resultados. Considerar la implementación de refuerzos longitudinales y transversales hasta conseguir valores relacionados con las especificaciones de construcción vigentes.

Referencias

- [1] E. Moreno, A. Cobo y G. Nieves, «Effect of corrosion degree on different steel ductility parameters, based on “Equivalent Steel” criterion,» *Emerald insight*, vol. 7, n° 2, pp. 260-276, 2016.
- [2] G. Feng, Z. Jin, D. Zhu, C. Xiong, C. Xiong y X. Wang, «Corrosion propagation of steel reinforcement in pre-cracked mortar attacked by seawater using wire beam electrode,» *Elsevier*, pp. 1-22, 2022.
- [3] G. Feng, Z. Jin, D. Zhu y C. Xiong, «Corrosion propagation of steel reinforcement in pre-cracked mortar,» *Journal Pre-proof*, vol. 1, n° 2, pp. 1-10, 2022.
- [4] J. Paredes, J. Prieto y I. E. Santos, Corrosion de acero en elementos de Hormigón Armado: Vigas y Columnas, Guayaquil: Espol, 2020.
- [5] H. L. Kennedy, «International Concrete Abstracts Portal,» *Journal Proceedings*, vol. 36, n° 6, pp. 597-614, 1940.
- [6] Novacero, *Varilla Microaleada Ficha Técnica*, Quito: INEN 2167, 2020.
- [7] A. S. f. T. a. Materials, *Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement*, Fildelfia: ASTM, 2022.
- [8] S. P. A. Patricio y V. v. L. Geovanny, *Determinación de la deformación unitaria del hormigón flexible (ϵ_{cu}) elaborado con microfibras de polímeros para la teoría de diseño a flexión de vigas simplemente armadas*, Quito: UCE, 2019.
- [9] INEN, *ÁRIDOS PARA HORMIGÓN REQUISITOS*, Quito: NTE INEN, 1982-12.
- [10] Metallirari, «Los 20 materiales más importantes para nuestra sociedad,» METALLIRARI.COM, 19 03 2020. Available: <https://es.metallirari.com/20-materiales-mas-importantes-nuestra-sociedad/>.
- [11] P. Segui, «El hormigón: el material más destructivo de la Tierra,» ovacen, 1 8 2019. Available: <https://ovacen.com/hormigon-material-destructivo-tierra/>.
- [12] M. Spiret, «ASTM E8 | ASTM E8M Método estándar para ensayo de tracción en materiales metálicos,» zwickroell, 1 8 2021. Available: <https://www.instron.com/es-es/testing-solutions/astm-standards/the-definitive-guide-to-astm-e8-e8m>.
- [13] INEN, *ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO.*, Quito: NTE INEN, 2011. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas23/696.pdf>
- [14] INEN, *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS.*, Quito: NTE INEN, 2010. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas23/nte_inen_2167.pdf
- [15] INEN, *CEMENTO HIDRÁULICO. REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA CEMENTOS HIDRÁULICOS*, Quito: NTE INEN, 2011. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas23/2380.pdf>
- [16] INEN, *ENSAYO DE TRACCIÓN PARA MATERIALES METÁLICOS A TEMPERATURA AMBIENTE.*, Quito: NTE INEN, 2009.

https://archive.org/stream/ec.nte.0109.2009/ec.nte.0109.2009_djvu.txt

[17] INEN, *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN. (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS)*., Quito: NTE INEN, 2011.

<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas23/nte-inen-2554.pdf>

[18] INEN, *VARILLAS CON RESALTES DE ACERO DE BAJA ALEACIÓN, SOLDARLES, LAMINADAS EN CALIENTE Y/O TERMOTRATADAS*

PARA HORMIGÓN ARMADO. REQUISITOS., Quito: NTE INEN, 2003.

https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas23/nte_inen_2167.pdf