



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

“INFLUENCIA DEL GALVANIZADO EN CALIENTE, EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO DE LA BARRA CORRUGADA, NORMA ASTM A-615, GRADO 60, PARA PREVENIR LA CORROSIÓN EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO”.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Baldomero Germán Cerdán Chávez

Asesor:

Ing. Luis A. Colonio García

Lima – Perú

2018

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** el trabajo de tesis desarrollado por el (la) Bachiller **BALDOMERO GERMAN CERDAN CHAVEZ**, denominada:

“INFLUENCIA DEL GALVANIZADO EN CALIENTE, EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO DE LA BARRA CORRUGADA, NORMA ASTM A-615, GRADO 60, PARA PREVENIR LA CORROSIÓN EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO”.

Luis A. Colonio García

Ing. Nombres y Apellidos

ASESOR

Paolo Macetas Porras

Ing. Nombres y Apellidos

JURADO

PRESIDENTE

Gerson Elías Vega Rivera

Ing. Nombres y Apellidos

JURADO

Ronald Esteban Villanueva Maguiña

Ing. Nombres y Apellidos

JURADO

DEDICATORIA

A mí padre, Germán, (+2006.08.31) por ser una persona muy ilustrada, un buen padre, previsor y un excelente profesional en sastrería.

A mí madre Hilda, por ser una buena esposa, madre, y soportarnos cuando éramos adolescentes traviosos, muy lectora y engreírnos preparando sus ricos dulces.

A mí esposa Dora, por ser una buena esposa, por su paciencia, por quitarle unos añitos para dedicarme nuevamente a estudiar, su don de madre, para con mis hijos y muy dedicada en su profesión de Asistente Social y también, buena preparando sus dulces.

A mí hijo Williams Erick, Ingeniero Civil y a mí hija Cinthya Solange, Economista, para que continúen siendo buenos profesionales y sigan perfeccionándose, en esta vida de cambios continuos y tengan éxito como personas humanas.

A mi hermano Juan Carlos, Administrador, mi hermana Ivonne, Dra. en Educación, que son su ayuda, consejos e impulso para seguir estudiando.

Para mis tíos, que de alguna u otra forma contribuyeron y fueron ejemplos para la formación de mis estudios actuales, me refiero a Don Teófilo Cotrina Infante (ex B.G.C.) (r) y a quién sin darse cuenta, desde muy chico lo vi trabajando en su tablero de dibujo realizando sus planos de sus proyectos de vivienda y me explicaba como hacia sus diseños, el Ing. Civil Everando Fuertes Molina (+2012.07.12).

A mis todos mis cuñados y cuñadas, con quienes algunas veces no me pude reunir, pero, todo sacrificio cuesta.

A mis todos mis sobrinos, para que cumplan sus metas de estudio académicas y sociales.

A mis todos mis amigos que me dieron sus buenos deseos para continuar y cumplir con mis objetivos.

“Saber cuándo detenerse o continuar es la clave del éxito”.

— Akio Morita

“Hay que cuestionar lo dado, esa es la función del saber.”

[Los dominios del hombre]

— Castoriadis.

AGRADECIMIENTO

Para todos y cada uno de los docentes de la UPN, por su paciencia, transmisión de sus experiencias y deseos para ser buenos profesionales.

Para mi hijo el Ing. Civil Williams Cerdán, a mis amigos el Ing. Civil Rafael Espinoza, y Venturo, quienes donaron el material a trabajar de sus diferentes obras, para ser las muestras de estudio.

Un agradecimiento especial al Ing. Bruno Rubio y al Ing. Dante Sunció Jefe de Planta de la empresa TUPEMESA, quienes desinteresadamente me ayudaron en el proceso de galvanizado en caliente, de las muestras a trabajar.

A mi amigo el Ing. Mecánico Cristian Suarez, ex Secretario General de la Universidad del Callao, quién en un día busco los contactos para conseguir una máquina de tracción.

A la Universidad de Ingeniería, por el alquiler de su máquina de tracción en su laboratorio número 4 de la Facultad de Mecánica, en especial al Ing. Robert Eusebio, por sus consejos.

A mi amigo el Ing. Jorge López, de la empresa Constructora y Consultora San Francisco de Asís (CCOSFA), quién se interesó y aportó datos para esta tesis.

A mi compañero de promoción Ángel Muñoz, quién me ayudo en la elaboración de esta tesis.

A mi asesor de carrera Ing. Luis A. Colonio G., por su apoyo en la realización de esta tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Antecedentes	15
1.2. Realidad Problemática	22
1.3. Formulación del Problema	27
1.3.1. Problema General	27
1.3.2. Problemas Específicos	27
1.3.2.1. Problema específico 01	27
1.3.2.2. Problema específico 02	27
1.3.2.3. Problema específico 03	28
1.3.2.4. Problema específico 04	28
1.4. Justificación	28
1.4.1. Justificación Teórica	28
1.4.2. Justificación Práctica	28
1.4.3. Justificación Académica	29
1.5. Objetivo	29
1.5.1. Objetivo General	29
1.5.2. Objetivo Específico	29
1.5.2.1. Objetivo específico 1	29
1.5.2.2. Objetivo específico 2	29
1.5.2.3. Objetivo específico 3	29
1.5.2.4. Objetivo específico 4	29
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	30
2.1. Galvanizado en Caliente:	30

2.1.1.	<i>Resistencia contra la corrosión atmosférica.</i>	32
2.1.1.1.	<i>Las especificaciones.</i>	35
	<i>Las especificaciones para los revestimientos mínimos de galvanizado en caliente, para las diferentes clases de trabajo, se hallan en las siguientes tres normas de la ASTM:</i>	35
2.1.1.2.	<i>Medición del Revestimiento.</i>	35
2.1.1.3.	<i>Influencia del silicio.</i>	38
2.1.1.4.	<i>Influencia del fósforo.</i>	39
2.1.1.5.	<i>Fragilización.</i>	39
2.1.1.6.	<i>Resistencia a los Cloruros.</i>	40
2.1.1.7.	<i>El galvanizado en el concreto</i>	41
2.1.1.8.	<i>Tipos de Inspección.</i>	42
2.2.	<i>Corrosión:</i>	45
2.2.1.	<i>Introducción</i>	45
2.2.2.	<i>Corrosión</i>	46
2.2.3.	<i>Mecanismo de la corrosión</i>	47
2.2.3.1.	<i>Acciones mecánicas.</i>	47
2.2.3.2.	<i>Acciones físicas.</i>	47
2.2.3.3.	<i>Acciones químicas.</i>	48
2.2.3.4.	<i>Acciones biológicas.</i>	48
2.2.4.	<i>Tipos de forma de corrosión</i>	49
2.2.5.	<i>Medidas de pérdida de Peso</i>	51
2.2.6.	<i>Velocidad de Corrosión</i>	52
2.2.7.	<i>Cloruros</i>	53
2.2.8.	<i>Carbonatación</i>	55
2.3.	<i>Barras corrugadas para la Construcción</i>	56
2.3.1.	<i>Diámetro Nominal</i>	56
2.3.2.	<i>Núcleo</i>	56
2.3.3.	<i>Aletas</i>	56
2.3.4.	<i>Corrugas</i>	56
2.4.	<i>Resistencia de materiales</i>	62
2.5.	<i>Tracción</i>	63
2.6.	<i>Definición de términos básicos</i>	67

CAPÍTULO 3.	DESARROLLO	70
3.1.	Alcance	70
3.2.	Ischikawa Causa-efecto (corrosión)	71
3.3.	Preparación de Material para Probeta de Ensayo de Tracción.	73
3.4.	Preparación de Material para Probeta de Ensayo para doblado.	74
3.5.	Composición Química del Acero de la Barra Corrugada	75
3.6.	Desarrollo Objetivo 1: Muestras galvanizadas.	76
3.7.	Desarrollo Objetivo 2: Ensayo de tracción de muestras.	78
3.8.	Desarrollo Objetivo 3: Ensayo de doblado.....	82
3.8.1.	<i>Requisitos del doblado.</i>	82
3.9.	Prueba de muestras de piezas a la intemperie.	86
3.9.1.	<i>Día 1, en la intemperie.</i>	86
3.9.2.	<i>Día 8, en la intemperie.</i>	87
3.9.3.	<i>Día 25, en la intemperie.</i>	88
3.9.4.	<i>Día 36, en la intemperie.</i>	88
3.10.	Desarrollo Objetivo 4: Costo de Galvanizado en caliente.	90
CAPÍTULO 4.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	92
4.1.	RESULTADOS	92
4.1.1.	<i>Objetivo 1: Espesor de galvanizado en muestras.</i>	92
4.1.2.	<i>Objetivo 2: Resultados de las Propiedades mecánicas.</i>	93
4.1.2.1.	<i>Valores de los ensayos de Esfuerzo de Fluencia, Máximo de Rotura y Elongación, muestras series 1N y 1G.</i>	93
4.1.2.2.	<i>Valores de ensayos Esfuerzo: de Fluencia, Máximo de Rotura y Elongación, muestras series 2N y 2G.</i>	96
4.1.2.3.	<i>Valores de ensayos de Esfuerzo de Fluencia, Máximo de Rotura y Elongación, muestras series 3N y 3G.</i>	98
4.1.2.4.	<i>Valores de ensayos de Esfuerzos: de Fluencia, Máximo de Rotura y Elongación, muestras series 1N, 2N y 3N.</i>	101
4.1.2.5.	<i>Valores de ensayos de Esfuerzos: de Fluencia, Máximo de Rotura y Elongación, muestras series 1G, 2G y 3G.</i>	102
4.1.3.	<i>Objetivo 3: Valoración de la Inspección visual de muestras dobladas.</i>	104
4.1.3.1.	<i>Valoración de la Inspección visual de muestras dobladas, series 1N, 2N, 3N.</i>	104
Cerdán Chávez, B.		vii

4.1.3.2.	<i>Valoración de la Inspección visual de muestras dobladas, serie 1G, 2G, 3G.</i>	106
4.1.4.	<i>Objetivo 4: Resultados del costo del galvanizado.</i>	107
4.2.	DISCUSIÓN.	109
4.3.	CONCLUSIONES	111
4.4.	RECOMENDACIONES	113
	ANEXOS	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1. Descascarillamiento del concreto	16
Figura n.º 2. Migración del zinc en barra de refuerzo.	16
Figura n.º 3. Carbonatación en columna de una edificación en reparación.....	17
Figura n.º 4. Uso de barras corrugadas galvanizadas, en obras, en Japón, Australia y Canadá	19
Figura n.º 5. Uso de barras galvanizadas, en obras, en Chile.	19
Figura n.º 6. Barras corrugado de acero expuesto, producto de la carbonatación	21
Figura n.º 7. Flujo de vientos dominantes en la zona de Lima y Callao.....	23
Figura n.º 8. Gases que genera un vehículo.	24
Figura n.º 9. Casa en demolición	25
Figura n.º 10. Armadura con corrosión evidente.....	26
Figura n.º 11. Barra corrugada de acero en columna con signo de corrosión.....	26
Figura n.º 12. Columnas con fisura en su base	27
Figura n.º 13. Proceso de Galvanizado por inmersión en caliente (norma ASTM A-123) ...	31
Figura n.º 14. Foto micrografía de un revestimiento galvanizado	31
Figura n.º 15. Proceso de Galvanizado por inmersión en caliente (norma ASTM A-153) ...	32
Figura n.º 16. Duración de la capa de zinc de acuerdo con el espesor y tipo de ambiente corrosivo.	33
Figura n.º 17. Espesor mínimo de recubrimiento por norma.	37
Figura n.º 18. Vista de comparación de espesores de revestimiento.	37
Figura n.º 19. Efectos del pH en la corrosión del zinc.....	38
Figura n.º 20. Contenido del silicio en el acero %.....	39
Figura n.º 21. Resistencia de la unión al concreto acero de refuerzo negro frente al galvanizado	42
Figura n.º 22. Foto uso de Spray Galvanizado en frio.	44
Figura n.º 23. Tipos de Corrosión de metales y aleaciones.....	51
Figura n.º 24. Efectos de la concentración de Oxígeno	52
Figura n.º 25. Representación esquemática del proceso de corrosión del acero en el hormigón (Modelo de Tuutti)	53
Figura n.º 26. Velocidad de penetración de los cloruros	54
Figura n.º 27. Separación de corrugas.....	57
Figura n.º 28. Barra corrugada: su forma y geometría, con su resalte.	57
Figura n.º 29. Doblado correcto de nervio de barra corrugada.	62
Figura n.º 30. Diagrama tensión deformación.....	64
Figura n.º 31. Esquema de Ishikawa causa - efecto	71

Figura n.º 32. Plano de probeta para tracción. (Anexo n.º 1)	74
Figura n.º 33. Plano para determinar medidas de probeta de doblado. (Ver Anexo n.º2) ..	74
Figura n.º34. Plano de probeta para ensayo de doblado. (Anexo n.º 3).	75
Figura n.º 35. Procesos de Galvanizado de las muestras.	77
Figura n.º 36. Medición de espesores de zinc en barra corrugada galvanizada Ø 3/8" x 390 mm.	77
Figura n.º 37. Medición de espesores de zinc en Barra corrugada galvanizada Ø 3/8" x 170 mm.	78
Figura n.º 38. Muestras de 9 barras corrugadas Ø 3/8" x 390 mm en calidad comercial negro serie 1N, 2N, 3N y galvanizadas 1G, 2G, 3G.	79
Figura n.º 39. Máquina para Prueba de Tracción y con asesor Ing. Colonio.....	79
Figura n.º 40. Ensayo de rotura en barras corrugas negra y galvanizada.....	80
Figura n.º 41. Rotura en barras corrugas negra y galvanizada.	80
Figura n.º 42. Gráficos del Diagrama tensión deformación de las pruebas realizadas.	80
Figura n.º 43. Gráficos del Diagrama tensión deformación de las pruebas, Serie 1.	81
Figura n.º 44. Gráficos del Diagrama tensión deformación de las pruebas, serie 2.	81
Figura n.º 45. Gráficos del Diagrama tensión deformación de las pruebas, serie 3.	82
Figura n.º 46. 15 barras corrugada Ø 3/8" x 170 mm en calidad comercial negro y	83
Figura n.º 47. Muestras barras corrugas Ø 3/8" galvanizada y en calidad comercial negra, ambas dobladas 180°, serie 1G y 1N (Acero Arequipa).....	84
Figura n.º 48. Muestras barras corrugas Ø 3/8" galvanizada y en calidad comercial negra dobladas, ambas dobladas 180°, series 2G y 2N (Siderperú).	85
Figura n.º 49. Muestras barras corrugas Ø 3/8" galvanizada y en calidad comercial negra dobladas, ambas dobladas 180°, serie 3G y 3N (Belgo 60).....	85
Figura n.º 50. Fecha 2018.06.25 Día 01, Temperatura 20 °C/16 °C, H.R 90%.	86
Figura n.º 51. Fecha 2018.07.03, día 08, Temperatura 21 °C/16 °C, H.R 90%.	87
Figura n.º 52. - Fecha 2018.07.20, día 25, Temperatura 19 °C, H.R 90%.	88
Figura n.º 53. - Fecha 2018.07.31, día 36, Temperatura 18 °C, H.R 90%.	89
Figura n.º 54. Plano de vivienda de 144,375 m2.	90
Figura n.º 55. Muestras galvanizadas con fractura dúctil.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla n.º 1. Tasas indicativas de velocidad de corrosión en entornos diferentes	34
Tabla n.º 2. Grados de espesor de revestimiento según norma ASTM. A123/A123M.	35
Tabla n.º 3. Cuadro de grado de espesor del revestimiento (según ASTM A-153)	36
Tabla n.º 4. Espesor mínimo de revestimiento por clase (según ASTM A-767 / A-767M) (Barra corrugada)	36
Tabla n.º 5. Contenido máximo de Ion Cloruro	54
Tabla n.º 6. Cuadro de datos tecnológicos para el acero grado 60 (Acero al carbón)	58
Tabla n.º 7. Propiedades mecánicas de las barras corrugadas.....	60
Tabla n.º 8. Cuadro de dimensiones y pesos nominales para barras corrugadas.....	60
Tabla n.º 9. Diámetro mínimo de doblado	61
Tabla n.º 10. Tabla 615B-2 Diámetro mínimo de doblamiento.	61
Tabla n.º 11. Los 5 por qué	72
Tabla n.º 12. Longitud de probeta para Ensayo de Tracción	73
Tabla n.º 13. Longitud de probeta para Ensayo de Doble.....	75
Tabla n.º 14. Composición química acero ASTM A-615 Grado 60 de proveedores en Lima. 76	
Tabla n.º 15. Resumen de metrado de estructuras: Acero en columnas, losa, escalera y cisterna.	91
Tabla n.º 16. Precio por kg de materiales	91
Tabla n.º 17. Cuadro de espesores de galvanizado en 9 muestras para tracción.....	92
Tabla n.º 18. Cuadro de espesores de galvanizado en 15 muestras para doblado.	93
Tabla n.º 19. Cuadro de valores de ensayos de Esfuerzo Máximo, de Fluencia y Elongación, muestras series 1N y 1G	95
Tabla n.º 20. Cuadro de valores de ensayos de Esfuerzo Máximo, de Fluencia y Elongación, muestras series 2N y 2G	98
Tabla n.º 21. Cuadro de valores de ensayos de Esfuerzo Máximo, de Fluencia y Elongación, muestras series 3N y 3G	100
Tabla n.º 22. Cuadro de valores de ensayos de Esfuerzo: Máximo, de Fluencia y Elongación, muestras series 1N, 2N y 3N.....	102
Tabla n.º 23. Cuadro de ensayos de Esfuerzos: Máximo, de Fluencia y Elongación, muestras series 1G, 2G y 3G	104
Tabla n.º 24. Cuadro de Inspección visual muestras dobladas, series 1N, 2N, 3N.....	105
Tabla n.º 25. Cuadro de Inspección visual, muestras dobladas, series 1G, 2G, 3G	106
Tabla n.º 26. Costo unitario de barra corrugada – Acero Arequipa (Serie 1)	107
Tabla n.º 27. Costo de partida del acero galvanizado.....	108

Tabla n.º 28. Presupuesto de vivienda con acero calidad comercial.....	108
Tabla n.º 29. Presupuesto de vivienda con acero galvanizado	109

RESUMEN

Esta investigación se realizó con la intención de generar y dar información que nos permita conocer y determinar las propiedades mecánicas y su doblado en las barras corrugadas de acero galvanizados, además de probar y demostrar que las de las barras corrugadas de acero galvanizadas en caliente, previenen la corrosión en estructura de concreto armado, por lo que se presenta la investigación de la “INFLUENCIA DEL GALVANIZADO EN CALIENTE, EN LA PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO DE LAS BARRA CORRUGADA, NORMA ASTM A-615, GRADO 60, PARA PREVENIR LA CORROSIÓN EN LAS ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO”. Los requisitos de esta norma ASTM A-615, nos da las instrucciones en la fabricación de las propiedades mecánicas y de su composición química del acero, que se usa en las barras de refuerzo del concreto armado.

La metodología consistió en realizar un proceso de galvanizado en caliente según las normas ASTM A-153 y ASTM A-767, a muestras de barras corrugas de acero diámetro 3/8”, ASTM A-615, de tres proveedores acero corrugado de nuestra capital, se galvanizo en caliente, se les midió su espesor de capa de zinc y luego se efectuaron pruebas de ensayos. Los ensayos que se efectuaron a las muestras galvanizadas fueron:

- Ensayo de tracción, según Norma ASTM 370-09, Métodos de Ensayo y Definiciones

Estándar para Ensayos Mecánicos de Productos de Aceros, para determinar la resistencia a la tracción de la barras de acero corrugada ASTM A-615, galvanizado.

- Ensayo de doblado de 180°, en barras de acero corrugada galvanizado.
- Prueba de inspección visual, en barras de acero corrugada galvanizado.
- Prueba de barras de acero corrugada galvanizado expuestas al medio ambiente.

Luego del estudio se observa y se concluye que la influencia del galvanizado en caliente no modifica las propiedades mecánicas de la barra corrugada y cumple con los requerimientos de la norma ASTM A-615, por lo que se sugiere formar un comité para crear normas nacionales donde recomiende su uso de barras corrugadas galvanizadas como un componente del acero estructural en las armadura de concreto armado para la prevención de la corrosión.

PALABRAS CLAVE

Barra de acero corrugada galvanizada, rebar, acero galvanizado.

ABSTRACT

This investigation was carried out with the intention of generating and giving information that allows us to know and determine the mechanical properties and its bending in the galvanized steel rebar, besides testing and demonstrating that those of the hot galvanized steel rebar, prevent corrosion in reinforced concrete structure, for which the investigation of the "INFLUENCE OF THE GALVANIZED IN HOT, IN THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE CORRUGATED BARS STEEL, ASTM A-615, GRADE 60, FOR THE PREVENTION OF CORROSION IN THE ARMED CONCRETE STRUCTURE ". The requirements of this standard ASTM A-615, gives us the instructions in the manufacture of the mechanical properties and its chemical composition of the steel, which is used in reinforcing bars of reinforced concrete.

The methodology consisted in carrying out a hot galvanizing process according to the ASTM A-153 and ASTM A-767 standards, to samples of steel corrugated bars diameter 3/8 ", ASTM A-615, from three suppliers of corrugated steel from our capital , it was hot-dip galvanized, its zinc layer thickness was measured and then test trials were carried out. The tests that were carried out on the galvanized samples were:

- Tensile test, according to ASTM Standard 370-09, Test Methods and Standard Definitions for Mechanical Tests of Steel Products, to determine the tensile strength of galvanized steel bars ASTM A-615.
- 180 ° bend test, on galvanized corrugated steel bars.
- Visual inspection test, on galvanized corrugated steel bars.
- Test of galvanized corrugated steel bars exposed to the environment.

After the study it is observed and concluded that the influence of hot dip galvanizing does not modify the mechanical properties of the rebar and complies with the requirements of ASTM A-615, so it is suggested to form a committee to create national standards where recommend your use of galvanized corrugated bars as a component of structural steel in reinforced concrete reinforcement for the prevention of corrosion.

KEYWORDS

Galvanized corrugated, steel bar, rebar, galvanized steel.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

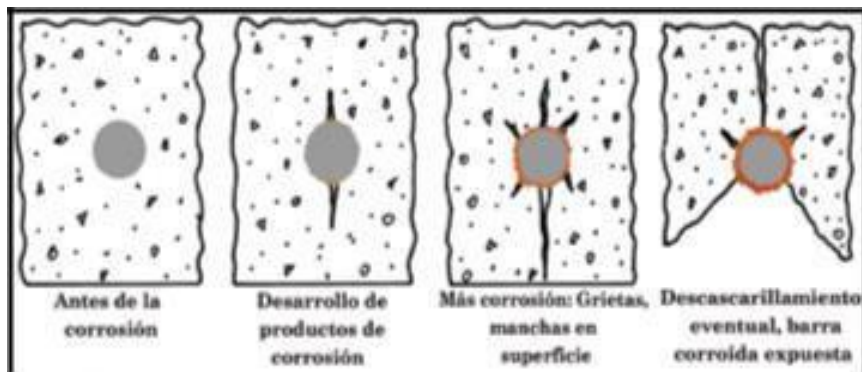
Según la publicación titulada, *Galvanizado en Caliente para la protección contra la corrosión: Guía del Especificador*, de la AGA. (Association American Galvanizers, 2015), indica que:

A medida que esta se corroe, surge presión alrededor de la barra y se produce el agrietamiento, el manchado y el eventual descascarado del concreto (ver Figura n.º1). Como la eficiencia de la barra de refuerzo conduce a una capacidad estructural comprometida o de fracaso, la protección contra la deficiencia prematura de la barra de refuerzo es clave. Como sucede en la atmósfera, la barra de refuerzo galvanizada extiende la vida útil del acero en el concreto. Los mecanismos de corrosión en el concreto son muy distintos que en la exposición atmosférica, y uno de los principales factores es la concentración de cloruro. La barra de refuerzo galvanizada puede resistir una concentración de cloruro al menos cuatro a cinco veces más alta que el acero negro, y permanece pasivada en niveles más bajos de pH, lo que ralentiza la tasa de corrosión. Además de la tolerancia más alta al cloruro, una vez que se forman productos de corrosión del zinc en la barra de refuerzo galvanizada, son menos voluminosos que el óxido de hierro y, de hecho, pueden migrar de la barra. La figura n.º2 muestra la migración de las partículas blancas de zinc de la barra (con revestimiento galvanizado) hacia los poros de la matriz de concreto. Tal migración impide que el aumento de la presión y del descascarado causado por las partículas de óxido de hierro. La vida útil total del acero galvanizado en concreto comprende el tiempo que le lleva al zinc despasivarse, más el tiempo que lleva el consumo del revestimiento de zinc, ya que se sacrifica para proteger el acero subyacente. Solo

después de que el revestimiento se haya consumido por completo en una región de la barra comenzará la corrosión de acero localizada. (p. 13).

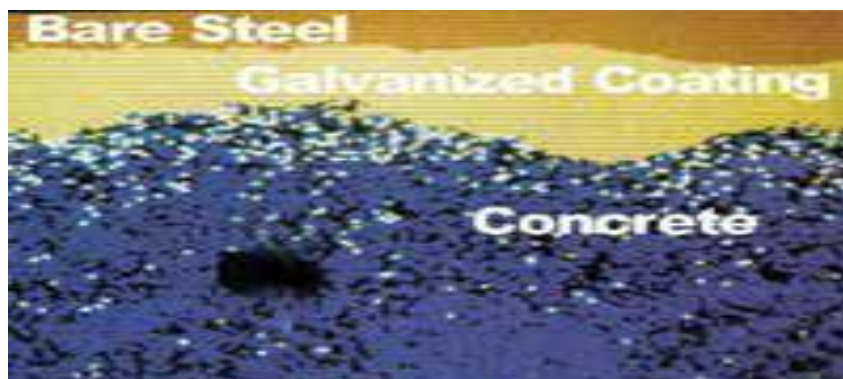
El antecedente de la *Guía del Especificador* de la American Galvanizers Association, (A.G.A.) menciona, señala como es la mecánica por la cual se desarrolla el proceso de corrosión de las barras corrugadas y la barra de refuerzo galvanizada, y que puede resistir una concentración de cloruro al menos cuatro a cinco veces más alta que el acero negro, también indica, que permanece pasivada en niveles más bajos de pH, lo que ralentiza la tasa de corrosión, dando un sustento técnico a nuestro trabajo de investigación.

Figura n.º 1. Descascarillamiento del concreto.



Fuente: (Association American Galvanizers, 2015, pág. 13)

Figura n.º 2. Migración del zinc en barra de refuerzo.



Fuente: (Association American Galvanizers, 2015, pág. 13)

En el artículo de investigación en México *Barras de acero galvanizado: Una opción contra la corrosión inducida por la carbonatación* (Moreno, Serrano, & Cob, 2005), afirma que:

Las barras de acero galvanizadas en concreto carbonatados se corroyeron a velocidades menores que las barras de acero simple. Las barras de acero galvanizado pueden ser un buen material alternativo contra la corrosión inducida por la carbonatación en ambientes tropicales no marinos. (p.23).

El antecedente de la investigación de Moreno, E; Serrano, D & Cob, E; donde se indica que la corrosión por carbonatación, es una buena alternativa, galvanizar las barras corrugadas de acero para las estructuras de concreto armado, para evitar costos enorme en su mantenimiento y reposición de estas estructuras, por todo lo que se menciona, nos permite relacionar la información obtenida, con nuestro objeto de estudio y darle una nueva calidad a las viviendas en los sectores costeros.

Figura n.º 3. Carbonatación en columna de una edificación en reparación.



Fuente: *Elaboración Propia (2016)*.

En el libro titulado *Galvanized Steel reinforcement in concret*, (Yeomans, 2004), afirma varios beneficios de la barra de refuerzo galvanizados:

- La corrosión del acero galvanizado en el hormigón es menos intensa y menos extensa durante un período de tiempo sustancial que el del acero negro;
- El acero galvanizado en el hormigón tolera una mayor concentración de cloruro que el acero negro antes de que comience la corrosión;
- El refuerzo galvanizado retrasa la aparición del agrietamiento, y el desprendimiento del hormigón es menos probable o se retrasa;
- El hormigón puede utilizarse en entornos más agresivos. Así, un diseño estándar de componentes de hormigón puede ser retenido para diversas condiciones de exposición mediante el uso de acero galvanizado en los casos más agresivos;
- Los hormigones ligeros y porosos se pueden utilizar con la misma cubierta que para los hormigones normales;
- Se obtiene una mayor compatibilidad con el cemento alcalino bajo;
- La mala mano de obra que resulta en una calidad de concreto variable (compactación deficiente, alta relación agua / cemento), puede ser fácilmente tolerada;
- La cubierta accidentalmente reducida es menos peligrosa que con el acero negro;
- Se puede tolerar el contacto continuo inesperado entre el agua de hormigón y el agua atrapada. (p. 320).

El antecedente de Yeomans, indica que galvanización, es menos intensa y menos extensa durante un período de tiempo sustancial, que el del acero negro y demuestra las experiencias existentes usadas en otros países del mundo (ver Figuras nros. 4 y 5), además que los beneficios del uso del galvanizado en la construcción y contribuye a reforzar estudio de la presente tesis y se tiene que demostrar lo que se afirma.

Figura n.º 4. Uso de barras corrugadas galvanizadas, en obras, en Japón, Australia y Canadá.



Fuente: (Yeomans, 2004, págs. 40-41)

Figura n.º 5. Uso de barras galvanizadas, en obras, en Chile.



Fuente: (Vela, 2012).

En la publicación titulada *La Corrosión, su tradición y alcances* (Francia, 2003), indica: Como mito, que siempre pensamos que el material nuevo es homogéneo, isotrópico y sin defectos. Esta es una hipótesis que constituye la base del cálculo matemático de estructuras y equipos por la teoría de la elasticidad. La realidad es otra y nos demuestra constantemente que los materiales no son homogéneos, ni isotrópicos y están llenos de defectos. La mecánica de la fractura, reconociendo esta realidad, postula la necesidad de aprender a convivir con fisura y ha permitido avances considerables en conseguir estructuras y equipos más fiables. La existencia de muchos

elementos desiguales y defectos estructurales en los materiales son de vital importancia en el comportamiento frente a la corrosión que actúa a escala atómica. Los bordes de grano son elementos desiguales, que se corroen más fácilmente que los granos en los metales. La presencia de distintos estados tensionales en una misma pieza, hace que, unas zonas sean más fácilmente atacadas que a otras. El resultado de la deformación en frío de los metales, y la presencia de fisuras, que actúan como concentradoras de esfuerzos, es que esas zonas sean rápidamente atacadas. (p.7).

El antecedente de esta publicación, de Francia y Yácono, nos señala como los estados tensionales son los causantes de fisuras en el material, en la cual, por teoría estimamos que es homogéneo, isotrópico, sin defectos y que justamente es por esas fisuras, por donde se permite el ingreso del oxígeno (O₂), entonces se produce la corrosión con lo que aparecen más fisuras; que es la inquietud a las preguntas de nuestro trabajo de investigación de la presente tesis.

En la publicación de la revista *Creces Ciencia y Tecnología, La corrosión de metales*, de (Duery, 1988) en Chile, menciona que:

Cuando los metales se oxidan o corroen incorporan átomos del medio ambiente hasta el punto de aumentar su volumen y generar una gran fuerza expansiva, capaz de romper o levantar una construcción o grandes tuberías. La corrosión de metales, o proceso de deterioro de éstos por agentes presentes en el medio ambiente, constituyen un problema generalizado en todos los países. Los metales pueden ser lentamente atacados por el oxígeno de la atmósfera, oxidando sus primeras capas superficiales hasta avanzar hacia el interior de su estructura. Sin embargo, el proceso de corrosión acelerarse cuando los metales están expuestos a una atmósfera con altas concentraciones de sales o compuestos químicos productos de la contaminación. Uno de los aspectos más sorprendentes del proceso corrosivo se revela por el aumento de volumen del cuerpo oxidado. En un proceso lento, pero inexorable, éste extrae átomos

del medio ambiente que lo rodea y los acomoda en su interior, generando un nuevo volumen expandido. La fuerza que permite este proceso es tal que teóricamente al menos puede ser capaz de levantar cualquier construcción, (ver Figura n°. 6). En cuanto al uso de protectores, como pinturas, lacas transparentes, entre otros productos, evitan por un buen tiempo el regreso del metal a su estado original, especialmente en aquellos casos que no pueden sellarse sus estructuras con cemento. Por otro lado, señala, sumadas a todas estas posibilidades, en el ámbito de la construcción existe la posibilidad actual de usar vigas de refuerzo galvanizadas o niqueladas o incrementar la compactación del cemento. (p.p.1 y 4).

Como se lee en este antecedente de la revista *Creces Ciencia y Tecnología*, la carbonatación hace que aumente de volumen del cuerpo oxidado, lo que hace que esto pueda levantar cualquier construcción y que existe la posibilidad de usar vigas de refuerzo galvanizadas, según indica Duery (1988); según lo explicado anteriormente, todo lo mencionado, sirve como base para nuestro estudio de investigación.

Figura n° 6. Barras corrugado de acero expuesto, producto de la carbonatación.



Fuente: *Elaboración Propia (2018)*.

1.2. Realidad Problemática

Desde que se inició la construcción de estructuras de hormigón armado, a principios del siglo pasado, la corrosión de las armaduras de acero ha sido uno de los factores que inciden más negativamente en la durabilidad de las construcciones, siendo causa de costosas reparaciones para mantener la funcionalidad, estética y seguridad de las estructuras, según afirmó (Martínez, 2014).

Veamos ahora cómo se comporta el clima, en la provincia el Callao, existen distritos costeros cuyas características meteorológicas en invierno, son: con baja temperatura, presencia de vientos, alta humedad relativa llegando a 100%, presencia eventual de neblinas en la mañanas y en las noches, presencia de lluvias ligeras; y en verano, lo opuesto a lo descrito anteriormente y con el elevado cambio de la temperatura según indica el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú ([SENAHMI], 2013).

Por otro lado, veamos cómo influye los contaminantes: se concluyó en un estudio realizado, usando sus propios equipos de mediciones, que los contaminantes primarios principio activo, PTS (Partículas Totales en Suspensión), PM10 (Partículas gruesas o de diámetro aerodinámico = 10 μm), PM2.5 (Partículas finas o de diámetro aerodinámico = 2,5 μm) y los gases, como el monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), y dióxido de azufre (SO₂) son llevados por la acción del viento hacia el Norte y Este de la Cuenca Atmosférica de Lima y Callao, siguiendo claramente el patrón de vientos dominantes (ver Figura n.º 7). La altura de la capa de mezcla de contaminantes es mayor en verano, que en invierno por lo que, se podría suponer un mayor efecto de la concentración de contaminantes es en el invierno. Según señala el *Estudio de Saturación elaborado por* (Swisscontact, 2000).a *pedido del Comité para la iniciativa de aire limpio para Lima y Callao.*

Figura n.º 7. Flujo de vientos dominantes en la zona de Lima y Callao.



Fuente: (Swisscontact, 2000)

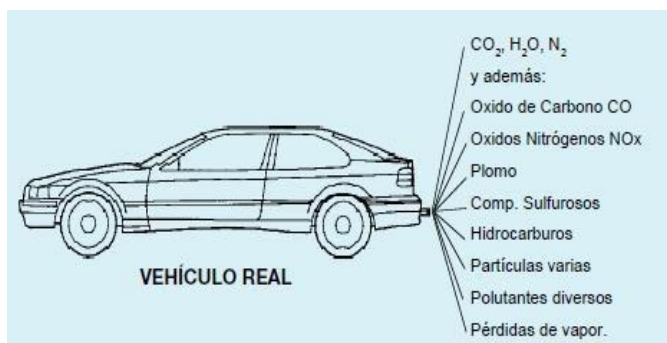
Comprenderemos como se generan las emisiones de gases, que también aportan en nuestra realidad problemática, según se indica: En el año 2011, se realizó un inventario de emisiones totales estimando que los aportes de los sectores transporte e industria al inventario de emisiones atmosféricas totales era del 86% y 14%, respectivamente, lo que permitió identificar al sector transporte como la principal fuente de emisiones atmosféricas en la zona metropolitana de Lima y Callao, según indica en la *Evaluación de la Calidad del Aire en Lima Metropolitana 2011*, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Román, 2013).

El sector transportes aporta el dióxido de azufre (SO_2) es producto de las emisiones de los motores por los tubos de escape de los automóviles nuevos en aumento, que va de 866 881 unidades en el año 2004 a 1 395 576 unidades en el año 2012 (Ministerio de Transporte y Comunicaciones) y las industrias, 5 fundiciones en el sector del Callao (Directorio de Empresas Industriales del Gobierno Regional del Callao). Además se señala la presencia de dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxidos de nitrógeno (NO), óxidos de

nitrógeno (NOx) y ozono superficial (O₃), según indica el *Informe Nacional de Calidad del Aire, 2013-2014*, (Concepción, 2013-2014.) p.16.

Todos estos agentes naturales producto de las emisiones de gases, tienden a atacar al acero, en un proceso espontaneo y continuo, que atacan a las barras corrugadas en forma de oxidación y corrosión.

Figura n.º 8. Gases que genera un vehículo.



Fuente: (Escoda, s.f.)

El cambio climático está causando efectos en el planeta, por los diferentes gases de efecto invernadero, uno de ellos, es el dióxido de carbono (CO₂), por lo que, un peruano emite al medio ambiente 4,7 toneladas al año, lo que equivale a que una persona viaje en auto al día, desde la Molina al Callao (30 km), si bien en otros países es mayor, per cápita (Estados Unidos 17,4; Chile 5,3; Colombia 4,25 toneladas de CO₂), y el transporte es el responsable a nivel mundial del 15% de emisiones, indico, Susana Gutiérrez, Jefe de Responsabilidad Social de Pacífico Seguros, en el Diario (Correo, 2015).

La Cámara Peruana de la Construcción “CAPECO: El 70% de viviendas en Lima son informales y vulnerable a un terremoto”, (Espinoza, 2017), sin un profesional responsable en la supervisión de la obra de las viviendas, hace esto, también, que se genere problemas en la calidad de las construcciones de las viviendas.

“Incluso, algunos aditivos, como inclusores de aire y otros aceleradores de fraguado, suelen ser más problemáticos, porque pueden aceleran los procesos de corrosión”, según indica, en sus apuntes de *Patología de Estructuras de Hormigón Armado*. (Perez J., s.f), p. 3

Por todo lo expuesto anteriormente, el clima, la emisión de los gases contaminantes producto del aumento del sector transporte, la industria, el cambio climático, la autoconstrucción, y el transcurrir del tiempo ocasionan en las barras corrugadas, oxidación y la corrosión de estas, por lo que genera problemas en la integridad estructural y la vida útil de las viviendas, por consiguiente generan una serie de circunstancias que atentan contra la salud, medio ambiente, el crecimiento urbano, el económico del sector y por ende de la calidad de vida de los residentes con ambiente marino, de Lima y Callao.

Se presenta un panel fotográfico, donde se aprecia la mala praxis, la deficiencia en la supervisión de las obras en construcción, el medio ambiente y por consecuencia la corrosión, que hacen que viviendas construidas, acorte su vida útil.

Panel fotográfico

Figura n.º 9. Casa en demolición



Fuente: Elaboración propia (2016).

Figura n.º 10. Armadura con corrosión evidente.



Fuente: Elaboración propia (2016).

En las anteriores figuras nros. 9 y 10, se evidencia, casa aproximadamente con 30 años de construido, modificación de vivienda, sin presencia de ingeniero, se encontró columna con evidente signo de corrosión y sin un número adecuado de estribos.

Figura n.º 11. Barra corrugada de acero en columna con signo de corrosión.



Fuente: Elaboración propia (2016).

En la figura n.º 11, se evidencia, modificación de vivienda, sin presencia de ingeniero, se encontró barra longitudinal de armadura de columna con evidente signo de corrosión localizado por picadura evidente y sin un número adecuado de estribos.

Figura n.º 12. Columnas con fisura en su base



Fuente: Elaboración propia (2017).

En las figuras anteriores, se evidencia, columnas de viviendas, con fisuras.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿En qué medida, con la aplicación del galvanizado en caliente, sobre la barra corrugada de acero, se mejora la protección a la corrosión del acero, en el concreto armado?

1.3.2. Problemas Específicos

1.3.2.1. Problema específico 01

¿En qué medida, con el proceso del galvanizado en caliente, se mejora la barra corrugada de acero, para la protección a la corrosión del acero en el concreto armado?

1.3.2.2. Problema específico 02

¿En qué medida, mejora la resistencia a la tracción la barra corrugada de acero galvanizado en caliente, y por ende, la protección a la corrosión del acero en el concreto armado?

1.3.2.3. Problema específico 03

¿En qué medida, se podrá efectuar el doblado en las barras corrugadas de acero galvanizado en caliente, para mejorar la protección a la corrosión del acero en el concreto armado?

1.3.2.4. Problema específico 04

¿Cuánto es el costo por unidad, el costo por partida y el presupuesto de una vivienda, con barra corrugada galvanizada en caliente?

1.4. Justificación

Actualmente, en todas las obras de construcción en general cercanas al mar, donde existe condiciones de corrosión se emplea las barras corrugadas en calidad comercial, si bien, en el mercado nacional existen aditivos para proteger el concreto, este no se usa, en obras de viviendas, no hay un ingeniero residente y supervisor de obra, lo que existe en las obras, es un maestro de obra o un albañil, que desconoce el producto, por su impericia en su uso y su costo.

Sin embargo en el Perú, no se tiene investigaciones propias que traten sobre la influencia del galvanizado en las barras corrugadas de aceros. Por este motivo, esta investigación se realizó con la intención de generar y dar información que nos permita conocer y determinar las propiedades mecánicas y su doblado en los aceros corrugados galvanizados y así poder tener datos que se puedan utilizar como referencia para mejorar las construcciones y por consiguiente la vida útil de las futuras edificaciones.

1.4.1. Justificación Teórica

El presente proyecto de investigación se realiza con el propósito de generar un mayor conocimiento real y aportar al conocimiento existente acerca de las características mecánicas del acero corrugado galvanizado y mejorar el procedimiento de protección contra la corrosión.

La importancia de la investigación es determinar si el galvanizado afecta o mejora las propiedades mecánicas y de doblado del acero corrugado y que permitan plantear alternativas o recomendaciones para la solución de la problemática.

1.4.2. Justificación Práctica

Esta investigación, se realiza con la intención de mejorar la vida útil de las construcciones de futuras edificaciones en zonas costeras, con el uso de barras corrugadas galvanizadas.

1.4.3. Justificación Académica

Los resultados de esta investigación serán útiles como aporte para otras personas dedicadas a investigar problemáticas similares, como para aceros corrugados de refuerzo galvanizados en mayores diámetros y efectuar sus pruebas en el laboratorio pertinentes.

Es así que, con el fin de conocer esta situación real, se ha realizado un marco teórico, producto de la revisión de bibliografía respecto a la variable de estudio, que se pone a disposición de la profesión de ingeniería en el Perú.

1.5. Objetivo

1.5.1. Objetivo General

Determinar la influencia del galvanizado en caliente, en las propiedades mecánicas del acero de la barra corrugada, norma ASTM A-615, grado 60, para prevenir la corrosión en las estructuras de concreto armado.

1.5.2. Objetivo Específico

1.5.2.1. Objetivo específico 1

Determinar el espesor de la capa del galvanizado en caliente, en barra corrugada de acero galvanizado.

1.5.2.2. Objetivo específico 2

Determinar la resistencia a la tracción en barra corrugada de acero galvanizado.

1.5.2.3. Objetivo específico 3

Determinar el ensayo de doblado en barra corrugada de acero galvanizado.

1.5.2.4. Objetivo específico 4

Determinar el costo por unidad de la barra corrugada de acero galvanizado, el costo por partida de acero con barra corrugada de acero galvanizado y el presupuesto de una vivienda con barra corrugada de acero galvanizado.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Galvanizado en Caliente:

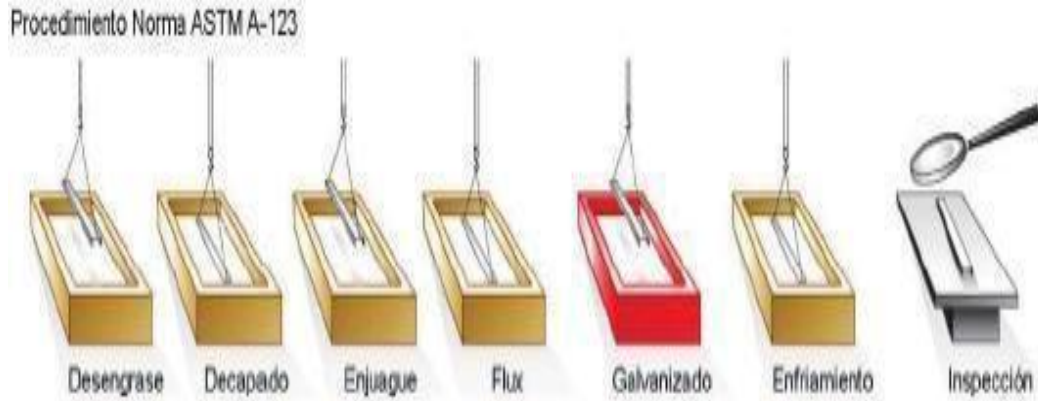
Según *La Galvanización y la Construcción Sostenible-Guía para Proyectistas* (Woolley, 2008), señala:

La galvanización es un procedimiento de protección del acero frente a la corrosión, mediante el cual el acero se recubre con zinc para evitar su oxidación. El proceso incluye la inmersión de las piezas de hierro y el acero en zinc fundido (a una temperatura de unos 450°C). Mediante una reacción metalúrgica entre el hierro y el zinc, se forman una serie de aleaciones de zinc-hierro que se crean una fuerte unión entre el acero y el recubrimiento. La duración típica de la inmersión es de unos cuatro o cinco minutos, pero puede ser mayor en el caso de piezas pesadas que tiene una elevada inercia térmica o cuando es necesario que el zinc penetre en las piezas o construcciones huecas. Al extraer las piezas del baño de galvanización una capa de zinc solidificado recubrirá las capas de aleaciones zinc-hierro. Esta capa superficial de zinc es la causante del aspecto brillante y luminoso asociado a los productos galvanizados. (p.8).

La química del baño está especificada en la B6 de la ASTM, y requiere al menos 98% de zinc puro mantenido a aproximadamente 450°C. Se galvaniza también según normas ASTM Internacional, Designación: A123/A123M-02, Especificaciones de norma para revestimientos de zinc (galvanizados por inmersión en caliente) en productos de fierro y acero. El tratamiento también se debe ajustar a la norma ISO 1461(Recubrimiento galvánicos en hierro y acero).

En el procedimiento del galvanizado, se sigue varios pasos, desengrase, decapado, lavado o enjuague, flux, secado, luego se le sumerge por completo el material en un baño de zinc fundido, enfriamiento y por último inspección final (ver figura n.º13).

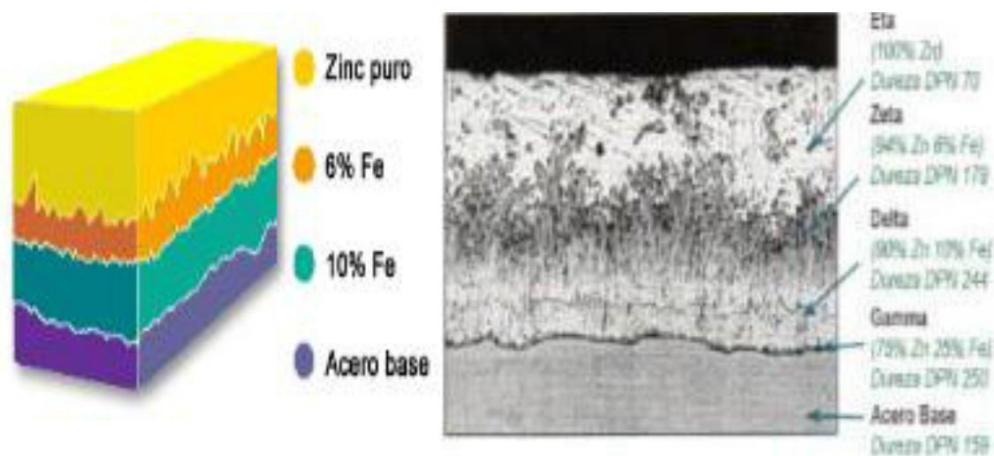
Figura n.º 13. Proceso de Galvanizado por inmersión en caliente (norma ASTM A-123).



Fuente: (CEMESA, Galvanizado en Caliente, s.f.)

Cuando la pieza está sumergida en la tina, el zinc reacciona con el hierro en el acero y se forma una serie de capas inter-metálicas de aleación zinc/hierro. (Ver figura n.º.14). Luego viene secado al aire y la inspección final.

Figura n.º 14. Foto micrografía de un revestimiento galvanizado.



Fuente: (Association American Galvanizers, 2015)

Una vez que se terminada el proceso de la adherencia del zinc en la pieza a galvanizar, esta se saca del baño de galvanizado, y se retira el zinc sobrante, mediante un drenaje, (se inclina las piezas grandes), por vibración y/o centrifugado (en piezas pequeñas como pernos, abrazaderas de diferente forma). (Ver figura n.º15).

Figura n.º 15. Proceso de Galvanizado por inmersión en caliente (norma ASTM A-153).



Fuente: (CEMESA, *Galvanizado en Caliente*, s.f.)

2.1.1. Resistencia contra la corrosión atmosférica.

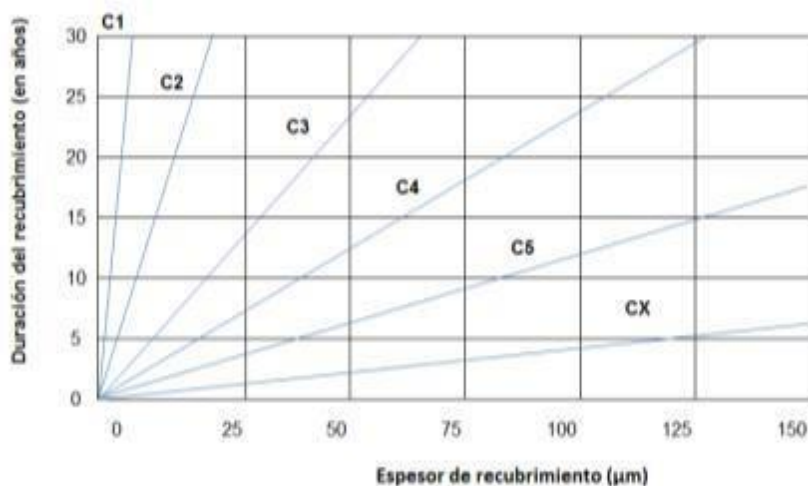
Según la Guía para el Galvanizado en Caliente- (Association American Galvanizers, 2015), donde se indica que:

La resistencia de la galvanización contra la corrosión atmosférica depende de una película protectora que se forma sobre el área de su superficie. Cuando se quita el acero del baño de galvanización, el zinc muestra una superficie brillante y pulida. Con el pasar del tiempo esta se torna gris, porque la superficie reacciona al oxígeno, el agua y el dióxido de carbono de la atmósfera, lo cual ocasiona la formación de una película protectora compleja, pero al mismo tiempo fuerte y estable, que se adhiere con firmeza al zinc.

Los contaminantes que se encuentran en la atmósfera afectan la naturaleza del zinc, siendo el dióxido de azufre (SO₂) el principal contaminante que daña al zinc y que gobierna en gran medida la velocidad de la corrosión atmosférica de este elemento. La velocidad de corrosión del zinc, se produce generalmente de forma lineal en un entorno determinado, lo cual permite comprender la vida útil del revestimiento mediante las inspecciones constantes de su espesor.

Además, se puede determinar la vida útil del recubrimiento a través del cálculo de las velocidades de corrosión de una determinada categoría de corrosividad, de acuerdo con la norma ABNT NBR 14643, (p. 9), se muestra en la figura n.º 16 y Tabla n.º 1.

Figura n.º 16. Duración de la capa de zinc de acuerdo con el espesor y tipo de ambiente corrosivo.



Fuente: (CEMESA, (s.f.))

Tabla n.º 1. Tasas indicativas de velocidad de corrosión en entornos diferentes.

Velocidad de corrosión de un determinada categoría de corrosividad (según norma ISO 9223:2012)					
Categoría de corrosividad	Riesgo de corrosión	Ambiente	Tasa media anual de la corrosión del zinc (en un año)	Tasa media anual de la corrosión del acero al carbono (en un año)	
C1	Muy baja	Interior	Seco, muy baja humedad y polución. Ej: <u>oficinas , casas</u>	< 0,1	< 1,3
		Exterior	Zonas secas y frías, baja humedad. Ej: <u>algunos desiertos</u>		
C2	Baja	Interior	Condensaciones ocasionales. Ej: <u>almacenes, gimnasios.</u>	0,1 a 0,7	1,3 a 25
		Exterior	Zonas con baja polución (SO ₂ < 5 µg/m ³). Ej: <u>zonas desérticas</u>		
C3	Media	Interior	Condensaciones y polución moderada. Ej: <u>Planta procesadora de alimentos, lavanderías, lecherías.</u>	0,7 a 2,1	25 a 50
		Exterior	Urbano no marítimo y marítimo de baja salinidad, zona tropical y subtropical (SO ₂ de 5 a 30 µg/m ³).		
C4	Alta	Interior	Gran condensación y grandes niveles de polución. Ej: <u>Piscina, planta química, etc.</u>	2,1 a 4,2	50 a 80
		Exterior	Zona industrial, zona costera sin niebla salina, (SO ₂ de 30 a 90 µg/m ³).		
C5	Muy alta	Interior	Alto nivel de condensación y polución. Ej: <u>Minas, almacenes sin ventilación en zonas tropical y subtropical.</u>	4,2 a 8,4	80 a 200
		Exterior	Muy alto nivel de polución (SO ₂ de 90 a 250 µg/m ³). El: <u>zonas industriales, o con elevado grado de salinidad, estructura cercana a la costa.</u>		
CX	Extrema	Interior	Permanente condensación y extrema humedad con altos niveles de cloruros y <u>polución en el aire.</u>	8,4 a 25	200 a 700
		Exterior	Alta condensación industrial, <u>embarcadero en contacto directo con el agua salina de la costa. (SO₂ mayor de 250 µg/m³).</u>		

2.1.1.1. Las especificaciones.

Las especificaciones para los revestimientos mínimos de galvanizado en caliente, para las diferentes clases de trabajo, se hallan en las siguientes tres normas de la ASTM:

- *Tabla 1 para ASTM A123/A123M Especificación para Revestimientos de Zinc (Galvanizado en Caliente) en Productos de Hierro y Acero.*
Cubre acero estructural, cañería y tubería, barra plana/redonda, alambre y acero de refuerzo.
- *Tabla 2 para ASTM A153/A153M Especificación para Revestimiento de Zinc (en Caliente) en Equipo de Hierro y Acero.*
Incluye revestimientos de dimensiones pequeñas, clavos, tuercas, tornillos, arandelas y partes chicas centrifugadas después del galvanizado, para eliminar el exceso de zinc.
- *Tabla 3 para ASTM A767/A767M Especificación para Barras de Acero Revestido con Zinc (Galvanizado) para Reforzamiento de Concreto.*
Cubre barras de acero de refuerzo.

2.1.1.2. Medición del Revestimiento.

El espesor del recubrimiento puede ser detallado, por el peso de la pieza o por su área de superficie. Las especificaciones incluyen tablas que proporcionan estos requisitos por superficie en función del tipo de acero y de su espesor (ver la Tablas nros. 2, 3 y 4).

Tabla n.º 2. Grados de espesor de revestimiento según norma ASTM. A123/A123M.

Tipo de material	Espesor de material (pulgadas y milímetros).				
	< 1/16" (< 1,6mm)	1/16" a < 1/8" (1,6 a < 3,2 mm)	1/8" a 3/16" (3,2 a < 4,8 mm)	>3/16" a < 1/4" (> 4,8 a < 6,4 mm)	≥ 1/4" (≥ 6,4 mm)
Espesor mínimo de recubrimiento (µm).					
Placas, platinas, angulares	45	65	75	85	100
Barras, varillas	45	65	75	85	100
Tubos	45	45	75	75	75

Fuente: (CEMESA, Notas Informáticas V5/15, (s.f.)) p.10.

Tabla n.º 3. Cuadro de grado de espesor del revestimiento (según ASTM A-153)

Cuadro de grado de espesor del revestimiento (según ASTM A-153)				
Grado	mills	oz/ft ²	µm	g/m ²
35	1,4	0,8	35	245
45	1,8	1,0	45	320
50	2,0	1,2	50	355
55	2,2	1,3	55	390
60	2,4	1,4	60	425
65	2,6	1,5	65	460
75	3,0	1,7	75	530
80	3,1	1,9	80	565
85	3,3,	2,0	85	600
100	3,9	2,3	100	705

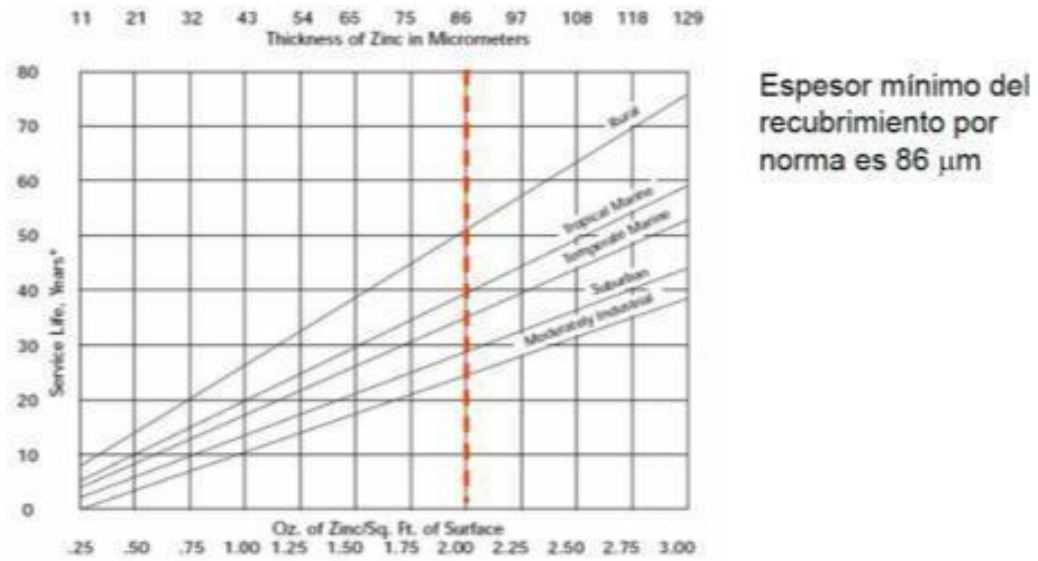
Fuente: (CEMESA, Notas Informáticas V5/15, (s.f.)) p.11.

Tabla n.º 4. Espesor mínimo de revestimiento por clase (según ASTM A-767 / A-767M) (Barra corrugada).

Clase de Revestimiento	Masa de Revestimiento de zinc mínimo			
	mills	µm	g/m ²	oz/ft ²
Clase I				
Tamaño de designación de barra n.º. 10 (3)	5,0	130	915	3,00
Tamaño de designación de barra n.º. 13 (4) y más	5,9	152	1070	3,50
Clase II				
Tamaño de designación de barra n.º. 10 (3) y más	3,35	86	610	2,00

Fuente: (A.G.A., 2016).

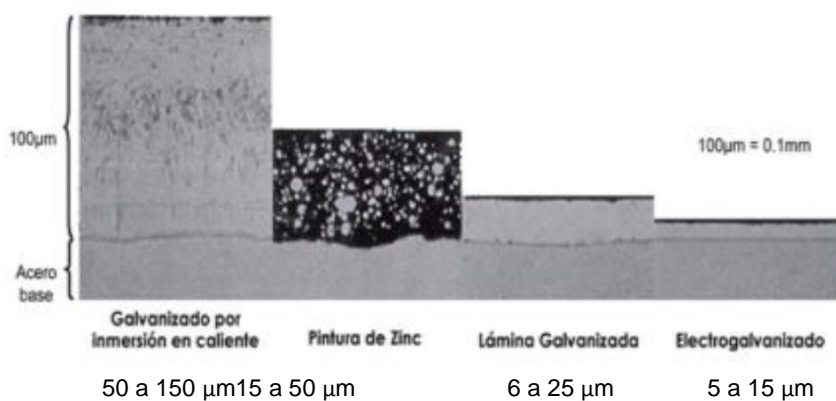
Figura n.º 17. Espesor mínimo de recubrimiento por norma.



Fuente: (Viloria R, s.f.) p. 18.

En comparación con otros procesos de recubrimiento, el galvanizado en caliente es el único que se funde con el metal base, contra la corrosión y la capa de recubrimiento es mucho mayor. (Ver figura n.º.18).

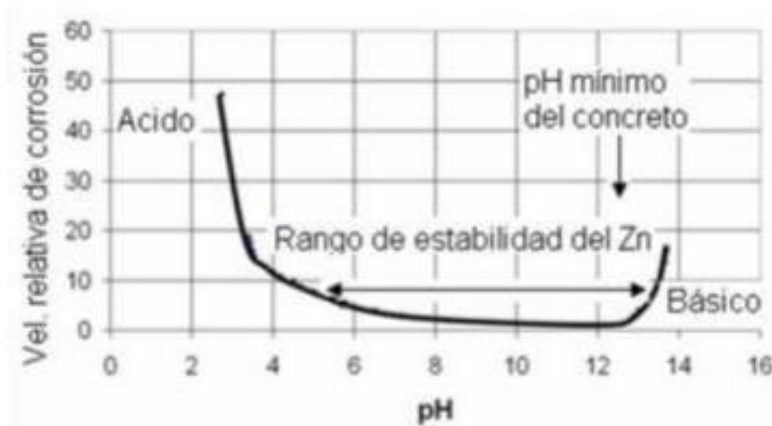
Figura n.º 18. Vista de comparación de espesores de revestimiento.



Fuente: (CEMESA, s.f.)

En el rango de pH 5,5 y 12,5 se forma una capa protectora en la superficie, la velocidad de corrosión es muy lenta, el galvanizado no se ve afectado por la carbonatación, según indica en el manual de *Acero Galvanizado como refuerzo del concreto*, de la Asociación Venezolana de Galvanizadores (AVGAL), (Viloria R, s.f.) p.23

Figura n.º 19. Efectos del pH en la corrosión del zinc.

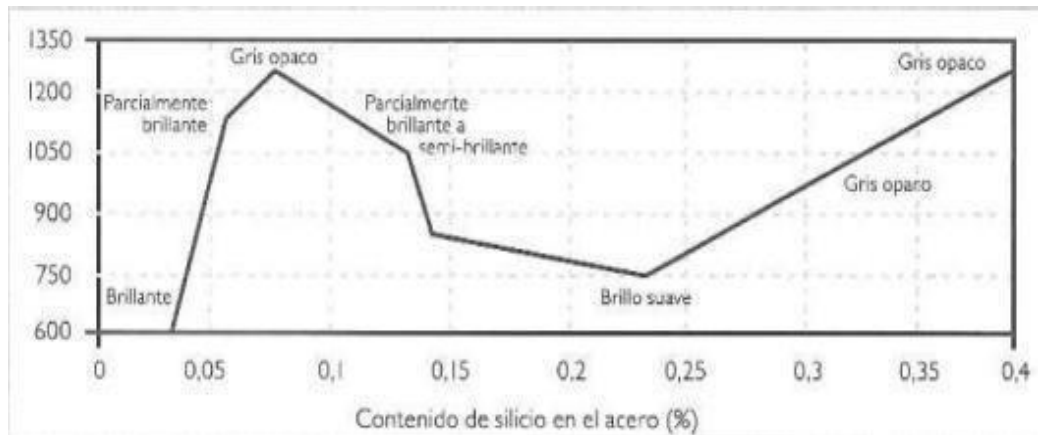


Fuente: (Viloria R, s.f.)

2.1.1.3. Influencia del silicio.

Se sabe la importancia que tiene el silicio cuando se encuentra en el acero, sobre las reacciones hierro-zinc durante el proceso del galvanizado. Si el acero tiene un contenido de 0,045 a 0,12 %, y por arriba de 0,25%, se produce un crecimiento acelerado de las aleaciones de zinc-hierro (efecto Sandelin), formando revestimientos más gruesos de lo que realmente se forman dando un aspecto de color gris oscuro mate. Puede formarse en toda la superficie o en parte. (Rodríguez, 2015) p.25.

Figura n.º 20. Contenido del silicio en el acero %.



Fuente: (GYMSA, 2008)

Recuperado de: C:/Users/delta/Downloads/Galvanizados%20(2).pdf

2.1.1.4. Influencia del fósforo.

Cuando el acero tiene silicio por debajo (<0,03% Si), el contenido de fósforo del acero tiene una importancia sobre su reactividad frente al zinc. Se ha establecido una fórmula empírica para evaluar la reactividad de los aceros de bajo contenido de silicio:

$$\text{Si} + 2,5\text{P} \leq 0,090\%$$

Esto significa que para evitar los recubrimientos color gris oscuro mate deben seleccionarse aceros cuyo porcentaje de silicio, sumado al del fósforo multiplicado por el factor 2,5 no supere el valor 0,090 %. La influencia del fósforo solo es relevante en los aceros de bajo contenido en silicio. En aceros altos en silicio (>0,12%) los contenidos de fósforo normalmente presente en los mismos, no tiene un efecto en el galvanizado. (Rodríguez, 2015). p.26.

2.1.1.5. Fragilización.

Puede ocurrir cierto grado de fragilización en algunos aceros durante su galvanización, pero es poco frecuente. Solo en casos de aceros envejecidos por deformación, estos tienden a aumentar su dureza y disminuir su ductibilidad con el tiempo.

Esto está relacionado con el método de fabricación del acero. Se debe a la segregación de ciertos elementos como el nitrógeno, que se acelera cuando el material sufre una deformación plástica en frío y después se somete a un calentamiento moderado, otras operaciones que también lo ocasionan son: el punzonado en frío, el doblado severo, y el corte en cizalla. Para evitar este riesgo se toma las siguientes precauciones:

- a. Seleccionar aceros al carbono inferior al 0,25 %.
- b. Si se utilizan aceros susceptibles, evitar las deformaciones al frío, por ejemplo:
 - i. doblar con radio de curvatura no inferior a tres veces el espesor del material.
 - ii. el punzonado material de espesor superior a seis milímetros, usar un punzón de calibre 3mm menor al diámetro del agujero final y luego taladrarlo.
 - iii. evitar el corte en frío en cizalla de las chapas que vayan a trabajar con sollicitaciones mecánicas altas. Corte con soplete o sierra.
- c. Si no se puede evitar, los elementos ya trabajados, someterlo a tratamiento térmico para bajar las tensiones antes de su galvanización (a 800°C y una hora de duración por cada 25 mm de espesor de la pieza). (Rodríguez, 2015).
p.28.

Cuando la fragilidad es sospechosa, ASTM A-143 designa la prueba apropiada de método para determinar la presencia de fragilización. (Rodríguez, 2015).

2.1.1.6. Resistencia a los Cloruros.

El refuerzo puede tolerar valores de concentración de cloruros muy por encima del valor umbral que causa corrosión en el acero negro. Consideremos:

- a. Un umbral de 0,4% de cloruros por masas de cemento para el acero negro y 1% para el galvanizado.
- b. 0,35% de cloruros en la superficie del concreto.
- c. 30 mm de espesor de concreto.

El ataque de la barra de refuerzo negro comenzará en 15 años mientras que en la barra de refuerzo galvanizado comenzará después de 44 años, según se indica en *Acero Galvanizado como refuerzo del concreto (AVGAL)*, (Viloria R, s.f.) p.p. 28-29.

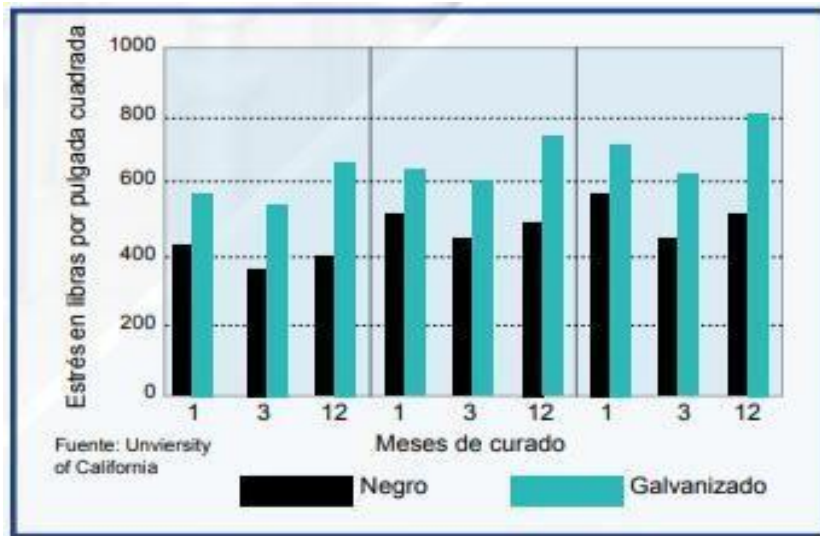
2.1.1.7. El galvanizado en el concreto

Según se indica en la guía de *Rendimiento de Productos de Acero Galvanizado en Caliente* de la (AGA, 2015), la resistencia de la unión entre la barra de refuerzo galvanizada y el concreto es excelente. Sin embargo, su desarrollo lleva un poco más que la unión de tiempo entre la barra de refuerzo no revestida y el concreto. Según pruebas de laboratorio y de tierra, la unión entre la barra de refuerzo galvanizada, es de hecho más fuerte que la unión entre la barra de refuerzo no revestida y el concreto, o con la barra de refuerzo revestida con epoxi y el concreto. p (10).

El recubrimiento se disuelve lentamente formando productos de corrosión de zinc.

- a. Son menos voluminosos que la herrumbre del acero y no perturban al concreto.
- b. Migran desde la interfase del refuerzo hacia la masa del concreto sellando poros y grietas.
- c. **Se extiende considerablemente la vida útil del concreto reforzado de cuatro a doce veces.** Otras ventajas del galvanizado:
- d. Almacenamiento igual que acero negro, por su alta resistencia a la abrasión.
- e. Triple protección: barrera física, protección electroquímica y autocurado.
- f. Duración excepcional, fácil de inspeccionar y de pintar.

Figura n.º 21. Resistencia de la unión al concreto acero de refuerzo negro frente al galvanizado.



Fuente: (AGA, 2015)

2.1.1.8. Tipos de Inspección.

Hay varios procesos de Inspección que se pueden realizar en el hierro al someterlo al galvanizado profundo y caliente. Las inspecciones se realizan después de que la capa protectora ha sido bañada sobre la superficie del elemento galvanizado y antes de dejar la planta de galvanizado. La parte que más se inspecciona es el espesor de la capa de recubrimiento sobre el hierro. Las especificaciones proporcionan requerimientos mínimos sobre el recubrimiento del zinc para cada clase de material, durante el proceso de galvanizado por inmersión (sumergir) en caliente. (A.G.A., 2016).

2.1.1.8.1 Inspección visual:

Aspecto y Acabado, se hace por medio de una inspección no magnificada, se observa por dentro y fuera, todas las partes y elementos del producto galvanizado, se hace en uniones, puntos de contacto, y área curvadas, para certificar que se ha realizado con todas la normas solicitadas. Se realiza antes de ser entregada al cliente. (A.G.A., 2016).

2.1.1.8.2 Retoque y reparación en frío del galvanizado.

La superficie del galvanizado puede dañarse debido a soldaduras, perforaciones, cortes, transporte, etc. Las zonas dañadas deben ser curadas con productos que cumplan con la norma ASTM A-780, como por ejemplo, galvanizado en frío. El uso de productos que no cumplan con esta norma provocará corrosión prematura en las zonas dañadas.

2.1.1.8.3 Galvanizado en frío: (Pintura rica en Zinc).

Según la Hoja Técnica XZMGF, (XYLAZEL, 2008), esta indica: Imprimación galvánica anticorrosiva. Es fabricada con resinas de alta calidad y polvo de zinc esférico micronizado, aporta un aspecto metalizado galvánico. Para proteger las superficies de hierro y acero incluso oxidadas. Para usos en condiciones extremas, tanto en ambientes interiores como en exteriores.

Campos de aplicación: Especialmente indicada para retoques de desperfectos, Uniones de soldaduras, vallas y estructuras metálicas.

Características:

- Resistente a 500° C
- Rápido secado
- Excelente poder anticorrosivo
- Buen endurecimiento
- Excelente adherencia
- Gran durabilidad de brillo
- Facilidad de aplicación y repintado, (p.1)

El galvanizado en frío, es una opción práctica al galvanizado en caliente, con referencia a su resistencia a la corrosión. Se puede emplear para estructuras nuevas o sobre galvanizado dañado, y puede ser fácilmente aplicada en obra por el usuario.

Es una alternativa válida para aquellas zonas que están alejadas de plantas galvanizadoras o para mantención de estructuras en terreno, según indica Oscar Infante, Gerente de Sales y Compuestos Limitada, en el artículo publicado en la Revista Metal Industria (Asimet). (Infante, 2003).

Figura n.º 22. Foto uso de Spray Galvanizado en frío.



Fuente: (CRC, s.f.)

Recuperado: <http://peru.top-free-ad.com/negocios-y-oficinas-crc-galva-brillo-galvanizado-en-frio-al-98-zinc-spray-400ml.5521.html>.

Normas de Galvanizado en caliente para armaduras de acero:

- Estados Unidos, ASTM-A767 Barras de acero recubiertas con zinc (galvanizadas) para hormigón armado.
- Francia, NFA35-025 Barras y bobinas galvanizadas en caliente para hormigón armado.
- Italia, UNI 10622 Barras y varillas de acero recubiertas con zinc (galvanizadas) para hormigón armado.
- Inglaterra BS ISO14657 Recubierta de zinc (Galvanizado) para acero de refuerzo en hormigón armado.
- India, IS 12594 Recubrimiento en caliente de barras de acero estructural para aplicación con hormigón armado.
- Colombia, NTC 4013 Siderurgia. Barras de acero recubiertas con cinc (galvanizadas) para refuerzo de concreto.
- Organización Internacional de Normalización, ISO/DIS 14657 Acero revestido con zinc para hormigón armado.

Fuente: (Viloria R, s.f.)

Otras referencias:

- Asociación Técnica Española de Galvanizadores, ATEC. www.ateg.com
- European General, EGGA. www.ega.com
- Galvanizer Association (Reino Unido). www.galvanizing.org.uk
- Hot Dip Galvanizers Association of Southern Africa, HDGASA. www.hdgsa.org.za
- Asociación Mexicana de Galvanizadores AC, AMEGAC. www.amegac.org.mx
- Asociación Latinoamericana de Zinc, LATIZA, www.latiza.com
- American Galvanizer's Association, AGA, <https://galvanizeit.org/>

2.2. Corrosión:

2.2.1. Introducción

Los metales están siempre expuestos a la acción de la atmósfera, la cual está compuesta por 78% de nitrógeno y 21% de oxígeno 1% otros gases. (Dióxido de carbono, Argón, Kriptón, Neón, Helio). El nitrógeno es un gas poco activo, inerte y apenas se disuelve con el agua. El oxígeno es un gas muy reactivo, que cuando se combina con otras sustancias las oxida, permite que los combustible ardan y se disuelva con el agua. Los metales son muy estables, la acción del oxígeno solo, sobre el metal es muy débil. Los agentes que ayudan al oxígeno, son dos: el calor y la humedad. El oxígeno con la acción del calor, produce la oxidación de los metales. El oxígeno con la acción de la humedad, produce la corrosión de los metales. Ambos son procesos distintos, pero se emplean protecciones comunes para prevenirlos.

En consecuencia la Corrosión Atmosférica, es de naturaleza electroquímica es la que se produce por la acción conjunta del oxígeno y la humedad que se encuentra en el aire, el electrolito es una capa de humedad sobre la superficie del metal muy delgadas. (Dominguez, 2009). También, existe la corrosión química producto de los ácidos y los álcalis. La corrosión es un proceso evolutivo natural y lento. El Hierro en presencia de la humedad y del aire se transforma en óxido y si continua el proceso de oxidación y termina por destruirse todo.

2.2.2. Corrosión

La corrosión es el daño que sufren los materiales por las acciones del medio en que se encuentran ya sea de naturaleza química o electroquímica, (depende de las condiciones ambientales donde se encuentra la obra), que comienza en la superficie, como una oxidación del metal y, si el óxido no es adherente y es poroso, puede dar a lugar a la destrucción de todo el metal, produciendo pérdidas en sus propiedades mecánicas de resistencia, lo que da lugar a cambios en la geometría de las estructuras (pérdida de masa) y constituyentes, por lo que se pierde la función para la cual estaban diseñadas, los elementos fabricados, ocasionando:

- Pérdidas directas, como el cambio de estructuras y equipos corroídos.
- Pérdidas indirectas, como la pérdida de la producción por suspensión temporal de los sistemas productivos y las instalaciones, y la contaminación de los bienes fabricados.
- Los efectos de la corrosión se miden por medio del grueso del material que se degrada (milésimos de pulgada).
- Para el acero embebido en el concreto, la corrosión genera la formación de óxido que en el volumen original del acero esta aumenta su volumen de 2 a 4 veces. (Association American Galvanizers, 2015)
- La corrosión produce en la superficie del acero de refuerzo descascaramiento y vacíos, reduciendo la capacidad resistente como resultado de la disminución de la sección transversal. (Association American Galvanizers, 2015)

Es importante distinguir tres clases de corrosión atmosférica: La corrosión seca y la corrosión húmeda y la corrosión por mojado.

- La corrosión se llama seca, cuando el ataque se produce por reacción química, sin intervención de la corriente eléctrica, cuando el metal trabaja a temperaturas elevadas y no hay agua en estado líquido. La corrosión se llama húmeda, cuando es de naturaleza electroquímica, es decir que se caracteriza por la aparición de una corriente eléctrica dentro del medio corrosivo, depende de la humedad atmosférica y esta sobrepasa un valor crítico de 60%, es un valor relativo, que varía de metal a metal. (Rauchle & Diaz, 1987) p.30.

- La corrosión se llama por mojado, cuando el metal se expone a la lluvia o a otra fuente de agua, cuando la superficie es plana y esta aparentemente seca, fisuras donde se produce depósitos de agua, lo que ocasiona la corrosión.
- Se puede decir que la corrosión química se produce cuando un material se disuelve en un medio líquido corrosivo hasta que dicho material se consume o, se sature el líquido.
- La corrosión electroquímica se produce cuando al colocar algunos metales con alto número de electrones de valencia, con otros metales, estos tienden a capturar dichos electrones libres produciendo corrosión.

2.2.3. Mecanismo de la corrosión

Los mecanismos de la corrosión son aquellos que se producen por acciones mecánicas, físicas, químicas y/o biológicas los cuales deterioran las estructuras de concreto. Que continuación se las indica:

2.2.3.1. Acciones mecánicas.

Dentro de los factores de deterioro producto de acciones mecánicas están la deformación lenta (fluencia); las cargas y deformaciones impuestas (grietas estructurales; deflexiones y movimientos excesivos imprevistos; y las fracturas y los aplastamientos); los impactos; las vibraciones excesivas; y los daños por abrasión (frotamiento, rozamiento, erosión y cavitación), que están relacionados con el uso que se le da a la estructura. (Cerdán, 2012) p.17.

2.2.3.2. Acciones físicas.

Trata sobre los cambios volumétricos que experimenta el concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido, como consecuencia de cambios de humedad (agua líquida, vapor de agua) y/o temperatura (frio, calor, fuego). Cabe aseverar que las acciones físicas también trata de las variaciones que el concreto puede tener en su masa y afectan el peso unitario, la porosidad y la permeabilidad. Aunque el concreto es muy resistente a la compresión, su capacidad de tolerar esfuerzos de tracción es relativamente

débil; y por ello, los movimientos que el experimenta y que se manifiestan pueden desarrollar microfisuras, fisuras y grietas. (Cerdán, 2012) p.17.

2.2.3.3. Acciones químicas.

El ataque, degradación y/o desintegración del concreto, como consecuencia de su contacto con sustancias químicas agresivas que se pueden encontrar en forma líquida, gaseosa o aún sólida (pero usualmente los productos químicos agresivos deben presentarse en solución y en una concentración crítica), están muy ligadas a la condición de exposición y sobre todo al micro-clima que rodea a la superficie del concreto. Como mecanismos de deterioro del concreto por reacciones químicas de este ante un agente agresor, se pueden mencionar: las reacciones que provocan la descomposición y el lavado (lixiviación) de los compuestos de las pastas de cemento endurecido que generan productos solubles e insolubles no expansivos; y las reacciones que forman nuevos productos que son expansivos. (Cerdán, 2012) p.17.

2.2.3.4. Acciones biológicas.

La actividad biológica tiene un papel importante debido a sus interacciones con el material. Cuando se presenta organismos y microorganismos de origen vegetal o animal sobre las estructuras de concreto, no solo pueden deteriorar el bienestar ambiental y la estética de las construcciones, sino que producen daños y defectos de carácter físico (cambios de humedad donde se presentan manchas y cambios en la tonalidad del color), mecánico (sobrecargas por la presencia de incrustaciones y capas de colonias establecidas), químico (a causa de fluidos orgánicos que se producen y reaccionan) o biológico (bacterias que carcomen algunos compuestos del concreto). Conociéndose cuatro tipos de degradación ambiental: biofísico, biomecánico, bioquímico y biológico. Los dos primeros, afectan principalmente la permeabilidad, la resistencia y la rigidez del concreto; mientras que los dos últimos, provocan la modificación de los compuestos del cemento endurecido y/o los agregados del concreto.

2.2.4. Tipos de forma de corrosión

Se clasifican de acuerdo a la apariencia del metal corroído, dentro de las más comunes están:

1.- Corrosión uniforme o generalizada: Actúa uniformemente sobre toda el área superficial del metal. La velocidad de corrosión depende del tipo de metal, humedad, presencia de contaminantes. El deterioro uniforme es la mayor destrucción de los metales, especialmente de los aceros. (Salazar, 2015) p.130.

2.- Corrosión galvánica o entre dos metales: Ocurre cuando diferentes metales se encuentran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos distintos, lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo, a mayor diferencia de potencial, el material con más activo será el ánodo. El acero galvanizado, que es acero recubierto de zinc, es un ejemplo en el que un metal (zinc) se sacrifica para proteger al otro (acero). Cuando están separados se corroen casi al mismo lapso de tiempo. Sin embargo cuando están juntos el zinc se corroe en el ánodo de la pila galvánica y así protege al acero. (Salazar, 2015)p131.

3.- Corrosión erosión: Se produce cuando soluciones (líquidas, físicas y/o gaseosas) con rápido flujo desprenden capas adheridas y depósitos que protegen contra la corrosión. En velocidades inferiores de 1 m/s. Son propensos los aceros al carbono y aleaciones de Cobre (Cu) y Aluminio (Al), además de los aceros ordinarios, aceros inoxidables, aleaciones de titanio, de aluminio y de cobre. Produce surcos, agujeros, que malogra la superficie del metal. (Salazar, 2015) p.132.

4.- Corrosión por frotamiento o desgaste: Se le conoce también, por abrasión o fricción, aparece cuando dos superficies en contacto están con desplazamientos relativos de tipo oscilatorio. Aparecen surcos u hoyos redondeados producto de la corrosión. Se observa en cojinetes, cilindros rotores, bielas y piezas sometidas a vibración, estando en muchos casos asociados a la rotura por fatiga. (Zapata, 2015).

5.- Corrosión en grietas o hendidura: Se encuentra en espacios confinados o hendiduras que se producen cuando los componentes están en contacto muy cercano. La hendidura debe ser cerrada, con medidas menores a un milímetro. Se asemeja a la corrosión por picado. Es fundamental en la ingeniería, ya que su presencia es frecuente bajo juntas, empaquetaduras, empalmes, pernos, remaches, válvulas y sus asientos y en lugares similares. Se produce en aleaciones como el acero inoxidable y aleaciones de titanio, aluminio y cobre. (Salazar, 2015) p.131.

6.- Corrosión por picaduras: Es donde se manifiestan picaduras o agujeros por agentes químicos. La rotura localizada de los revestimientos pasivos que protegen las áreas superficiales metálicas sumergidas o enterradas, es el inicio de picaduras. La corrosión se concentra en la zona anódica hasta llegar incluso a la traspasar el espesor del metal. Este tipo de corrosión es muy destructivo para las estructuras metálicas de ingeniería si provoca la perforación del metal que pueden provocar fallos inesperados. La picadura puede necesitar meses o años para pasar un espesor de material, pero, una vez iniciada la picadura, estas crecen a velocidad en la dirección de la gravedad y sobre las áreas superficiales que se encuentran en las zonas más bajas de las máquinas. (Salazar, 2015)p132.

7.- Corrosión inter-granular o inter-cristalina: Es la que se encuentra ubicada en los extremos del grano, esto origina pérdidas en la resistencia que desintegran los bordes de los granos. Se presentan en aceros inoxidable, aleaciones de, aluminio, níquel y metales puros. (Zapata, 2015)

8.- Corrosión bajo tensión: Se produce en los metales que están expuestos a un esfuerzo de tensión constante y a la acción de un medio corrosivo. La fuerza de tensión puede ser aplicada exteriormente o ser solamente una fuerza residual. Durante la corrosión bajo tensión, el ataque que recibe el área superficial del metal, es generalmente muy pequeño, mientras aparecen claramente las grietas localizadas y se propagan a lo largo de la sección del metal. Los esfuerzos de tensión, que causan las fracturas son por de trabajos en frío, soldadura, tratamientos térmicos, o bien pueden ser aplicados en forma externa durante el trabajo de la maquinaria. (Salazar, 2015) p.132.

9.- Corrosión fatiga o fatiga por corrosión: Es un proceso de agrietamiento que se presenta en los materiales cuando se encuentran sometidos a la acción de esfuerzos repetidos o cíclicos. Con solo aplicar fuerzas inferiores a la carga de rotura, bajo un esfuerzo, para provocar la rotura de un elemento de maquinaria sometida a un esfuerzo cíclico de fatiga. La acción conjunta de una carga cíclica en un medio agresivo, produce una aceleración rápida del proceso de fractura. (Salazar, 2015) p.132.

10.- Corrosión seca o a altas temperaturas: Cuando un material es sometido a temperaturas elevadas la corrosión se da por la reacción directa entre el metal y un gas oxidante. La velocidad de corrosión de incrementa con el aumento de la temperatura y como resultado de la reacción se forma una película superficial de óxidos, los cuales, se comportan como un electrolito solido permitiendo el paso de cationes o aniones, y, estos materiales también reaccionan con el aire para formar óxidos externos. La alta

temperatura de oxidación de los metales es particularmente importante en el diseño de algunos componentes como turbinas de gas, motores y equipamiento de petroquímicas.

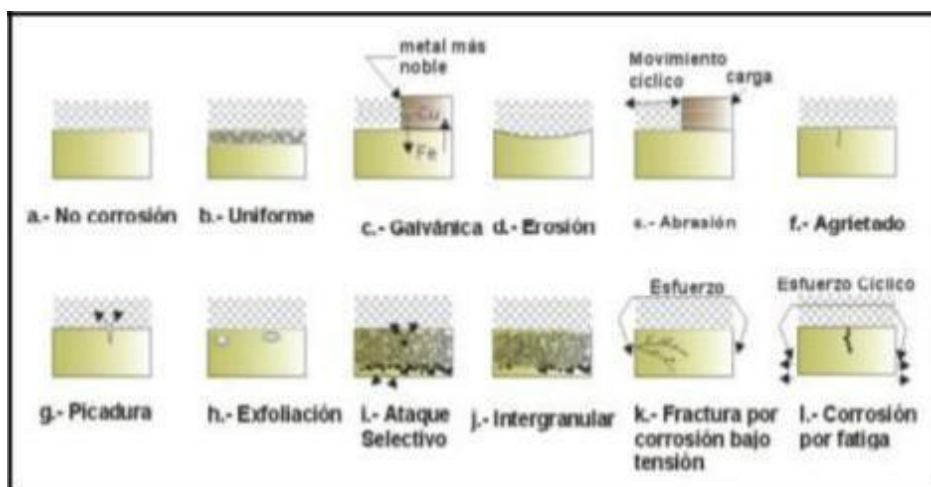
11.- Fragilización por Hidrógeno (FPH), Corrosión bajo tensión: Conocida como fragilización ácida. Aunque técnicamente no es un fenómeno de corrosión. Algunas aleaciones sufren rotura bajo tensión en medios corrosivos a consecuencia de la entrada de átomos de hidrógeno en la red de la aleación. A este fenómeno se lo reconoce como fragilización por hidrógeno, que se produce a través de una reacción química. Esto se traduce en fracturas catastróficas a tensiones inferiores a las que soporta el material en condiciones normales. (López, 2013) p.1

2.2.5. Medidas de pérdida de Peso

Este procedimiento se basa en calcular la pérdida de peso que ha soportado un metal o aleación en contacto con un medio corrosivo.

Las unidades más frecuentes utilizadas para expresar esa pérdida de peso son: miligramos decímetro cuadrado día (mdd), milímetros por año (mm/año), pulgada por año o milipulgadas por año (mpy) abreviado en inglés.

Figura n.º 23. Tipos de Corrosión de metales y aleaciones.



Fuente: (Hernández, (s.f.))

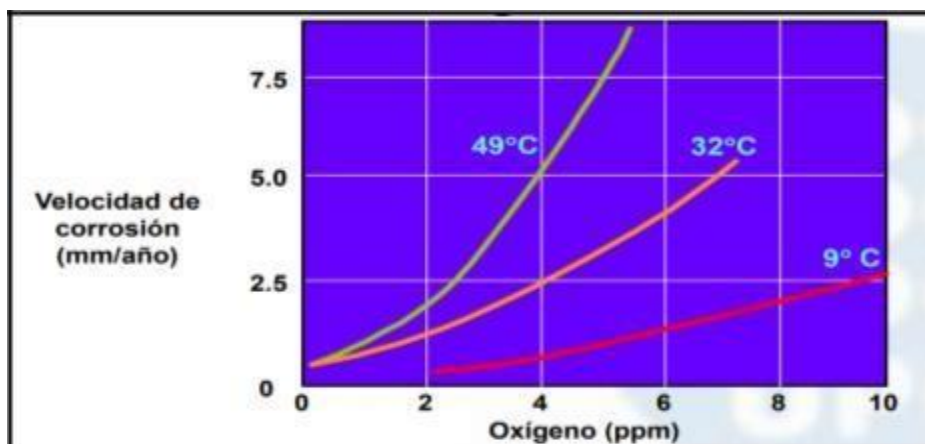
Recuperado: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/hernandez_m_js/capitulo1.pdf

2.2.6. Velocidad de Corrosión

Es un proceso en el que intervienen la reacción anódica y una catódica en el instante en que se produce la corrosión, la velocidad de oxidación anódica, tiene que ser igual a la velocidad de la reducción catódica. Donde el cruce de la intersección de las curvas de polarización anódica, nos dará el potencial de corrosión y la densidad de corriente, que será proporcional a la velocidad de corrosión.

“La velocidad de corrosión de un acero en estado pasivo embebido en hormigón es de 0,1 $\mu\text{m/año}$, al despasivarse, el acero se corroerá a una velocidad de al menos de tres órdenes de magnitud”, según se indica en la *Protection of Metal in Concrete Against Corrosion* de la American Concrete Institute. (222, 2001).

Figura n.º 24. Efectos de la concentración de Oxígeno.



Fuente: (Aguilar, (s.f.))

Recuperado: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/Libros/2013/cml/6-Oxidacion.pdf>

Figura n.º 25. Representación esquemática del proceso de corrosión del acero en el hormigón (Modelo de Tuutti).



Fuente: Corrosión de armaduras, (Moreno E. , 2008), p.95.

2.2.7. Cloruros

Cloruro (Cl⁻: peso atómico 35,5; grupo VII, haluro). Las sales cloruro son muy solubles al agua, se encuentra siempre donde existe fuentes de agua dulce, en cantidades de 10 y 100 mg/l. El contenido en el agua de mar, es de más de 30 000 mg/l como Cloruro de Sodio (NaCl). Y en pozos subterráneos salinos pueden llegar a estar saturados, con un 25% aproximadamente de NaCl.

En la construcción el cloruro se halla en presente en los agregados del concreto, en el agua de la mezcla y en el cemento en menor proporción. El cloruro puede ingresar en las construcciones de concreto desde el exterior por medio de una combinación de varios mecanismos de transporte:

- Por difusión iónica debido al gradiente de concentración entre el área de la superficie expuesta y el líquido de poro en la matriz cinética, siempre que exista humedad dentro de la estructura del poro del concreto.
- Por absorción del agua conteniendo cloruro, del concreto saturado parcialmente o (absorción capilar).
- Por movimiento del agua en el concreto, debido a efectos convectivos de la solución de poro, como el flujo de agua en el concreto con una superficie seca y otra superficie mojada.
- Por motivo de un efecto de un potencial eléctrico propio y/o externo.

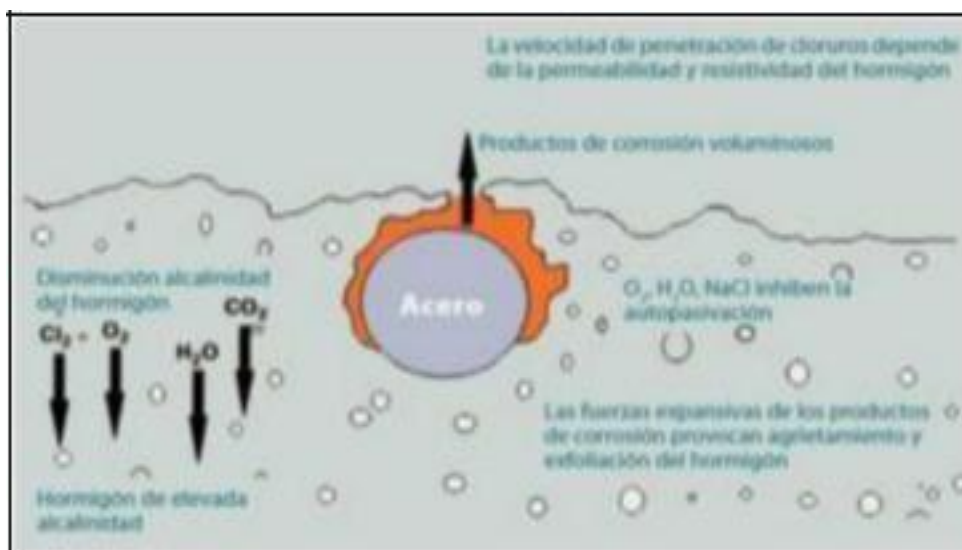
En el Reglamento Nacional de Construcción E-060, se indica el máximo contenido de cloro.

Tabla n.º 5. Contenido máximo de Ion Cloruro

Tipo de Elemento	Ion cloruro máx. soluble en el agua, % en peso del cemento
Concreto pretensado	0,06
Concreto armado expuesto a la acción de cloruros	0,10
Concreto armado no protegido, que puede estar sometido a un ambiente húmedo, pero no expuesto a cloruros	0,15
Concreto armado que deberá estar seco o protegido de la humedad, recubrimientos impermeables.	0,80

Fuente: Reglamento Nacional de Construcción (El Peruano, 2006), p.10.

Figura n.º 26. Velocidad de penetración de los cloruros.

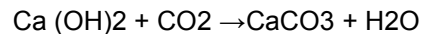


Fuente: (Amador, 2015)

Recuperado: <https://masqueingenieria.com/blog/corrosion-acero-hormigon-armado/#more-877>

2.2.8. Carbonatación

El ácido carbónico, transforma el hidróxido de calcio Ca(OH)_2 , liberado y depositado en los poros durante la hidratación del cemento (conocido como la cal libre del cemento), en carbonato de calcio (CaCO_3) y agua.



El pH del concreto (13) puede variar por el ingreso de distintas sustancias desde el medio ambiente (lo que hace que baje a valores de pH 9). Estas sustancias, son sobre todo, el monóxido de carbono o anhídrido carbónico (CO_2) que se halla en el aire y el trióxido de azufre (SO_3) que se genera por la combustión de combustibles fósiles, de estos, el monóxido de carbono (CO_2) en el aire, es al que hay que tener mayor cuidado, ya que de ahí viene el nombre de Carbonatación, que penetra al concreto por difusión. A la estructura porosa de la superficie del concreto, ingresa el monóxido de carbono (CO_2) también, por la absorción desde el suelo por efecto de la lluvia absorba o que en las agua freáticas o subterráneas este presente este ácido, lo puede producir una carbonatación apreciable de la pasta de cemento, si hay ciclos de humedecimiento y secado. La carbonatación, es un tipo particular de reacción ácida, de mucha importancia en la durabilidad del concreto.

Al ocurrir una baja significativa del pH en la capa superficial del concreto de pH 13 a pH 9, y al perder su basicidad, ya no es un elemento protector de la corrosión de la barra corrugada de acero para refuerzo. A consecuencia del avance de la penetración de la carbonatación, llamada como “frente de carbonatación”, se pierde la defensa de capa pasivadora, que tiene el recubrimiento del concreto. Además se produce una retracción adicional en el concreto (como efecto de la disminución en el volumen de la pasta de cemento), conocida como “contracción por carbonatación”. A esta contracción adicional, está acompañada por la contracción por secado. (Camacho, 2001).

El proceso de carbonatado es más rápido, cuanto más intensos son los cambios de humedad y más alta la temperatura. Esto también se presenta de manera importante en climas cuya humedad relativa se encuentra entre 65% y 98%. Si el concreto permanece

saturado (muy húmedo) o está siempre seco, no se produce el frente de carbonatación. Por otra parte, el proceso también es más intenso en la medida en que sea mayor la permeabilidad del concreto. De ahí la necesidad de trabajar con mezclas con relación agua–cemento que estén por debajo de 0,5 y además bien curados.

2.3. Barras corrugadas para la Construcción

Son barras de acero rectas de sección circular, con corrugas tipo resaltes Hi-bond que se adquiere por laminación de palanquilla por colada o lingotes que son precalentadas hasta una temperatura de 1250°C y es de alta adherencia con el concreto. Se usa para reforzar el concreto en la construcción de estructuras de para viviendas, edificios, puentes, represas de irrigación, etc.

Las barras utilizadas en este estudio son las de grado 60, que se usa más en el mercado nacional. Las normas técnicas que rigen su uso son:

- Norma Americana: Fierro Corrugado ASTM A-615, Grado 60
- Norma Peruana: NTP 341.031 Acero (2001).
- Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.

2.3.1. Diámetro Nominal

Es el número con el cual se colocan las tolerancia, con este número se establecen los valores nominales del área de la sección recta transversal y del masa por metro lineal, tomado por norma , como masa específica del acero 7,85 kg/cm².

2.3.2. Núcleo

Es la parte central de la barra que no está comprendida la corrugada ni las aletas.

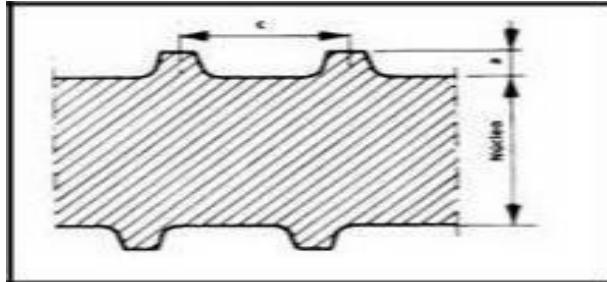
2.3.3. Aletas

Es una parte que sobresale de manera continua y va conformado en paralelo al eje longitudinal de la barra corrugada y que va en ambos lados opuestos.

2.3.4. Corrugas

El acero se conocerá mediante la ubicación de las corrugas en los sectores opuestos de la barra. Las corrugas tendrán una misma inclinación y estarán uniformemente separadas.

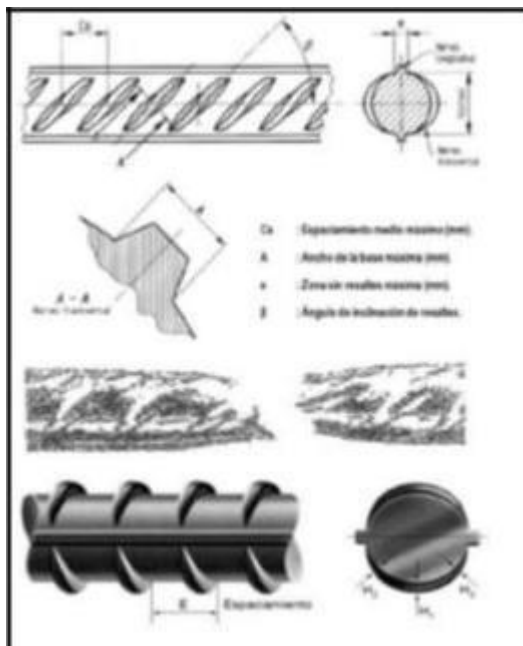
Figura n.º 27. Separación de corrugas



Fuente: Aceros para hormigón. (Prontuario, s.f) p 2

Recuperado: http://www.apta.com.es/prontuario/Capitulo_6.htm

Figura n.º 28. Barra corrugada: su forma y geometría, con su resalte.



Fuente: Optimización de aceros corrugados, (Castro, 2010), p.24.

Recuperado: <https://es.slideshare.net/yoberc/optimizacin-aceros>

- **Composición Química acero ASTM A-615 Grado60.**

Se debe realizar el análisis de cada colada de acero a partir de ensayos tomados de la colada vertidas, teniendo que determinar los porcentajes de carbono, manganeso, fósforo y azufre.

La norma ITINTEC 341.0931 ARN 420-91 y la norma ASTM A-615 Grado 60-95C, donde se indica que el requisito químico es con respecto a un máximo de porcentaje de Fósforo (P) es de 0.06%, y no debe exceder de lo especificado en más de 25% (0,075%).

El análisis químico de la muestra de acero se ha efectuado con un espectrógrafo de emisión atómica, obteniéndose los siguientes resultados, según indica (Vega, 1999) p.17.

Tabla n.º 6. Cuadro de datos tecnológicos para el acero grado 60 (Acero al carbón)

Denominación ASTM A-615 Grado 60	
Composición química del acero utilizado	C= 0,386 %
	Mn= 0,929 %
	Si= 0,200 %
	P= 0,036%
	S= 0,037 %
Composición química normada ASTM A-615 Grado 60 P	P= 0,050%

Fuente: (Vega, 1999) p.17

Recuperado: file:///C:/Users/delta/Downloads/2157-7725-1-PB%20(2).pd

- **Propiedades Mecánicas.**



Límite de fluencia: O resistencia límite de fluencia de un material se define como la tensión existente en la sección de una probeta normalizada de dicho material, sometida a un ensayo de tracción o a un ensayo de compresión, en el instante que se inicia la fluencia o deformación plástica del mismo. Se representa mediante el símbolo f_y (f_{yt} , si se obtiene del ensayo de tracción y f_{yc} , si se obtiene del ensayo de compresión). La deformación longitudinal unitaria alcanza el 0,2%. (Perez A. , 2014).



Resistencia a la Rotura: Es la máxima tensión que puede resistir un material bajo tensión antes que su sección transversal se contraiga de forma significativa, sin romperse.

También llamada Carga unitaria de rotura. Se mide en unidades de fuerza por unidad de área. Se representa mediante el símbolo f_r .

En ambos casos se usa el Sistema Internacional (S.I.) la unidad es el pascal (Pa).

1 Pa= Newton por metro cuadrado. — — —

1 MPa= Newton por milímetro cuadrado. — —

1 MPa= 1 000 000 Pa.

1 MPa= 10,197 Kg/cm²

➤ **Relación f_r/f_y :** Es la relación entre Resistencia a la Rotura y el Límite de fluencia, en la que resultado debe ser mayor o igual a 1,25. (Gamonal, s.f).

➤ **Alargamiento:** Alargamiento en 200 mm:

Diámetros:

- 6mm, 8 mm, 3/8", 12 mm, 1/2", 5/8" y 3/4"..... = 9% mínimo.

- 1"..... = 8% mínimo.

- 1 3/8"..... = 7% mínimo. (Gamonal, s.f).

➤ **Doblado a 180°:** Bueno en todos los diámetros. (Gamonal, s.f).

Para las barras corrugadas grado 60, las propiedades mecánicas requeridas son las siguientes:

- Esfuerzo de Fluencia, mínimo: 420 MPa. (4 283 kg/cm²) o (42,83 kg/mm²).
- Esfuerzo de Fluencia, máximo: 540 MPa. (5 506 kg/cm²) o (55,06 kg/mm²).
- Esfuerzo de Tracción, mínimo: 620 MPa. (6 320 kg/cm²) o (63,20 kg/mm²).
- Alargamiento en 8 pulgadas [203.2 mm], mínimo (%).
- Módulo de Elasticidad: $E_s = 2\,000\,000\text{ kg/cm}^2$
- Deformación en el inicio de la fluencia: $\epsilon = F_y / E_s$, $\epsilon = 0,0021$
- Deformación de rotura >> Deformación de fluencia (30 a 40 veces).
- Coeficiente de dilatación térmica $11 \times 10^{-6} 1/C^\circ$, valor muy parecido al del concreto $10 \times 10^{-6} 1/C^\circ$, ambos valores dependen de la temperatura.

Tabla n.º 7. Propiedades mecánicas de las barras corrugadas.

Norma Técnica americana	Límite de Fluencia (fy)	Resistencia a la Rotura (fr)	Relación fr/fy	Alargamiento en 200 mm		Doblado a 180°	Norma equivalente nacional
	kg/mm ²	kg/mm ²		Diámetros (mm) (pulg)	% (mínimo)		
ASTM A-615	4 280	6 320	> = 1,25	6, 8, 3/8", 12, 1/2", 5/8", 3/4"	9	Bueno en todos los diámetros	NTP 314-031 (2001)
				1"	8		
				1 3/8"	7		

Fuente: Uso de las normas ASTM en Aceros Arequipa. (Gamonal, s.f).

Elaboración propia.

En estructuras de acero se distingue el óxido de laminación, que se produce por efecto del agua en el metal al rojo vivo durante el proceso de laminación, del óxido atmosférico que se inicia a medida que se desprende la costra de laminación.

Tabla n.º 8. Cuadro de dimensiones y pesos nominales para barras corrugadas

Diámetro pulgada	mm.	Sección mm ²	Perímetro mm.	Peso Kg/m	Altura resalte mm-mínimo
	6	28	18,8	0,220	0,24
	8	50	25,1	0,395	0,32
3/8"		71	29,9	0,560	0,38
	12	113	37,7	0,888	0,48
1/2"		129	39,9	0,994	0,51
5/8"		199	49,9	1,552	0,71
3/4"		284	59,8	2,235	0,97
1"		510	79,8	3,973	1,27
1 3/8"		1006	112,5	7,907	1,80

Fuente: Fierro corrugado, (Arequipa Aceros, 2016) Elaboración propia.

Se fabrican para el mercado nacional, en barras de 9 y 12 m de longitud, en los siguientes diámetros: 6 mm, 8 mm, 3/8", 12mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1", 1 3/8". Según el fabricante se puede producir en otros diámetros y longitudes requeridos por los clientes, previo acuerdo.

Diámetro mínimo de Doblado (D) mm.

Tabla n.º 9. Diámetro mínimo de doblado.

Diámetro de la barra (d)	6 mm	8 mm	3/8"	12 mm	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 3/8"
Diámetro de doblado (D)	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	3.5d	5d	5d	5d
medida en (mm)	21	28	33,3	42	44,5	55,6	98,3	127	250,7

Fuente: Fierro corrugado, (Arequipa Aceros, 2016) Elaboración propia.

Diámetro Mínimo de Doblamiento para aceros según norma 615B.05

El doblado de las barras de refuerzo será en frío. Los diámetros mínimos de doblado, serán medidos en el interior de la barra, estas medidas están los indicados en la tabla N° 615B-2. 58.

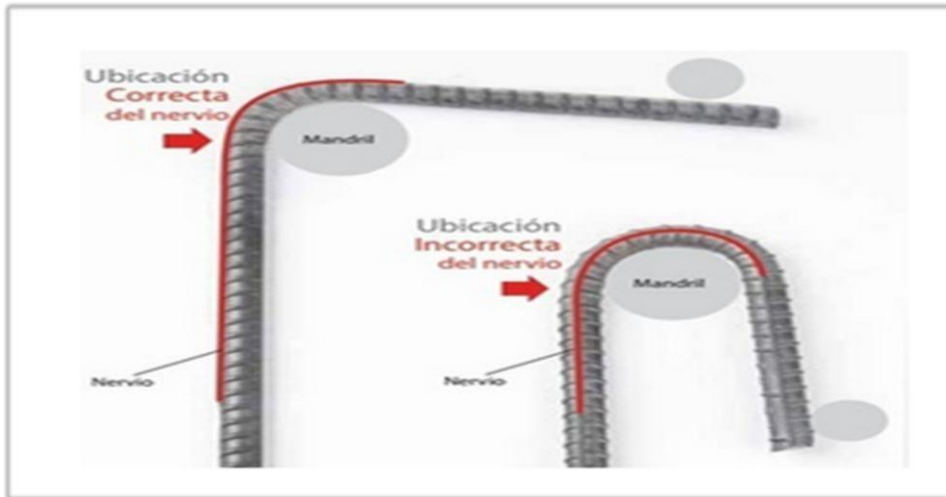
Tabla n.º 10. Tabla 615B-2 Diámetro mínimo de doblamiento.

Número de la barra	Diámetro de la barra (d)	Diámetro mínimo
2 a 8	1/4" a 1"	6 diámetros
9 a 11	1 1/8" a 1 3/8"	6 diámetros
14 a 18	35,11 a 57,3 mm	6 diámetros

Fuente: (MTC, 2008), p. 59.

Para un doblado correcto de barras corrugadas laminadas en caliente, se recomienda, la posición de la vena, según la figura siguiente:

Figura n.º 29. Doblado correcto de nervio de barra corrugada.



Fuente: Catálogo de productos de (ADELCA C.A., 2015) p.1

Recuperado: <http://www.manualdeobra.com/blog/dobladedovarillas>.

2.4. Resistencia de materiales

- **Resistencia de materiales. Objeto.**

La mecánica desde el punto de vista de la física (estática, cinemática y dinámica), estudia las fuerzas y los movimientos, considerando que los cuerpos que los sufren son rígidos (indeformables). En la práctica se observa que los cuerpos rígidos no existen, sino que todos los cuerpos se deforman más o menos, cuando se les aplican fuerzas. Por ello la ingeniería, además de la mecánica - física aplicada a las máquinas e instalaciones, estudia la deformación de los cuerpos, considerándola como parte de la mecánica aplicada denominada, Resistencia de Materiales. JIL-DCM-CM2 (CFGS Construcción Metálica, s.f.), p.2.

- **Resistencia de Materiales**

Es la parte de la mecánica que estudia la deformación de los cuerpos cuando sufren la acción de fuerzas externas.

El objeto de la resistencia de materiales es:

- a) Conocidas unas fuerzas, determinar las dimensiones del material que puedan soportarlas.
- b) Conocido un material (con su forma y dimensiones) determinar la fuerza o fuerzas que puede soportar.

Normalmente el problema a resolver es de tipo a), lo que ocurre en el diseño o proyecto de máquinas, instalaciones, estructuras resistentes, edificios, etc. JIL-DCM-CM2 (CFGS Construcción Metálica, s.f.), p.2.

- **Clases de esfuerzos.**

Por la deformación que sufre un cuerpo, las fuerzas que provocan se clasifican en: Tracción, Compresión, Cizallamiento, Flexión, Torsión. JIL-DCM-CM2 (CFGS Construcción Metálica, s.f.), p.2.

2.5. Tracción

Se conoce como tracción, al esfuerzo interno a que está sometido un cuerpo o elemento, por la aplicación de dos fuerzas con la misma dirección, que actúan en sentido opuesto y tienden a estirarlo.

- **Ensayo de tracción.**

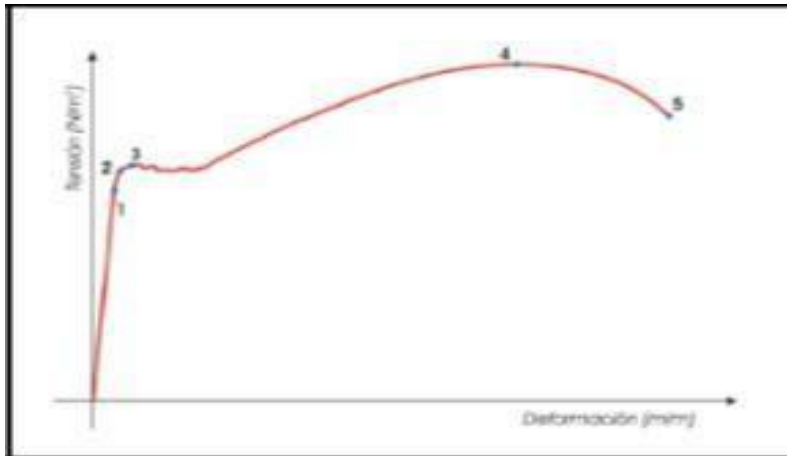
Para averiguar cómo va hacer el comportamiento de la deformación de un material frente a los esfuerzos, se toma una muestra y se ensaya en el laboratorio de resistencia de materiales, en máquinas de prueba universales de tracción/compresión, en este caso sometiéndola al esfuerzo de tracción. Las conclusiones que se obtienen de la prueba de ensayo nos permiten concluir como se va a comportar posteriormente el material en circunstancias reales de servicio.

La prueba de ensayo efectuada es el de Tracción empleado a los metales, como al acero ya que se usa siempre en la fabricación de piezas de elementos de maquinarias y estructuras diversas.

La realización de la prueba de ensayo de tracción es normada según (UNE-EN ISO 6892-1:2010). Estas normas especifican las dimensiones de la muestra conocida como Probeta, la nomenclatura y el procedimiento de realización del ensayo. De este modo, los resultados obtenidos pueden ser aceptados y comparados por cualquier persona, centro o institución de cualquier país.

De la prueba del ensayo de tracción, los datos obtenidos de las deformaciones o alargamientos unitarios y sus esfuerzos o Tensiones Unitarias, se llevan a los ejes de coordenadas cartesianas y en el acero, se obtienen la gráfica mostrada:

Figura n.º 30. Diagrama tensión deformación



Fuente: Diseño de construcciones metálicas módulo 2 JILC – DCM – CM2. (CFGS Construcción Metálica, s.f.) p.3

Se considera y observa lo siguiente:

Esfuerzo o tensiones unitarias: en el eje de ordenada (vertical) en el cual se indican los valores de esfuerzos unitarios σ :

$$\sigma = \frac{F}{S} \left[\frac{Kg_f}{cm^2} \text{ ó } \frac{N}{mm^2} \right]$$

Dónde:

F= Fuerza total aplicada

S= Sección recta de la probeta

- **Alargamientos unitarios:** en el eje de abscisa (horizontal) se indican los alargamientos unitarios ϵ :

Dónde:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_i}{L_i} = \frac{\Delta L}{L_i}$$

L_f = Longitud de la probeta.

L_i = Longitud inicial de la probeta.

ΔL = aumento o incremento de longitud de la probeta.

ε = alargamiento unitario. Se expresará en %.

- **Tensión límite de elasticidad. Zona elástica:** el punto (1) es, “e”, en la gráfica de la figura n.º30 mostrada anteriormente, nos señala el final de la *proporcionalidad directa* entre tensiones y deformaciones. Hasta el punto (1), todas las deformaciones halladas en ese segmento, son elásticas. A este punto se le llama *Límite de Elasticidad* y a la tensión correspondiente, se le llama *Tensión límite de elasticidad* o simplemente *Coefficiente de elasticidad*.

Hasta el límite de elasticidad, el material recupera su forma y dimensiones iniciales, si cesa la fuerza que provoca la deformación.

Dentro de esta zona elástica se cumple la Ley de Hooke: “Las deformaciones provocadas a un material son directamente proporcionales al esfuerzo aplicado”, lo que puede expresarse matemáticamente de la siguiente forma:

$$\frac{\sigma_e}{\varepsilon_e} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/S}{\Delta L/L_i} = E = \tan \alpha$$

Al valor de E, se le llama *Módulo de Elasticidad* o *Módulo de Young*, y es un valor típico de cada material, y se encuentra registrado en tablas de materiales.

Para el acero: **E**= 2 100 000 kgf/cm².

Para el acero común de construcción el límite elástico tiene un valor Aproximado **σ_e**= 2 500 a 3 000 kgf/cm² (245 a 294 N/mm²).

- **Zona plástica:** a partir del límite elástico el material se deforma rápidamente de forma plástica (se estira), pero, no recupera su la forma inicial, si cesa la fuerza que fue aplicada. (quedando en parte deformado permanentemente).
- **Tensión de rotura:** al llegar el punto R (4) en la gráfica mostrada anterior, la fig. 29, se provoca la rotura de la probeta, después de estirarse un poco más.

También es un valor típico de cada material, y se encuentra registrado en tablas de materiales.

Para el acero común de construcción: $\sigma_R = 5\ 000$ a $6\ 000$ kgf/cm² (490 a 588 N/mm²).

- **Coefficiente de trabajo:**

Para el cálculo y diseño de elementos resistentes se calcula que los materiales trabajen siempre a esfuerzos por debajo del límite elástico. A esta tensión de cálculo o tensión máxima, que se establece que sufran los materiales cuando trabajen, se le denomina Tensión o Coeficiente de Trabajo. También es un valor típico de cada material, y se encuentra registrado en tablas de resistencia de materiales.

Para el acero común de construcción suele ser:

$\sigma_T = 1\ 400$ ó $1\ 600$ kgf /cm². (137 a 157 N/mm²).

- **Coefficiente de seguridad 1:**

Es la relación que hay entre la tensión de rotura y la tensión de trabajo.

Para el acero común de construcción suele ser:

$$n = \frac{\sigma_R}{\sigma_T} = \frac{6.000 \text{ Kgf/cm}^2}{1.400 \text{ Kgf/cm}^2} = 3 \text{ a } 5$$

2.6. Definición de términos básicos

Acero: El acero es una aleación de hierro con una cantidad de carbono que puede variar entre 0,03 % y 1,75 % en el peso de su composición. Acero no es lo mismo que hierro. Y ambos materiales no deben confundirse. El Hierro es un metal relativamente duro y tenaz, con una temperatura de fusión de 1535°C y punto de ebullición de 2 740°C. El acero mantiene las características metálicas del hierro en estado puro, pero con la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos (Mn, Cr, Ni), como otros no metálicos (S, P, Si) mejora sus propiedades físico-químicos. Hay varios tipos de acero según los elementos aleantes que estén presentes en su formación. Cada tipo de acero permitirá diferentes aplicaciones y usos, lo que lo hace un material versátil y muy difundido en la vida moderna, donde, podemos encontrarlo ampliamente.

Aditivos: Los aditivos para concreto (hormigón) son componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica, su incorporación tiene como objetivo cambiar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco. Se presenta en forma de polvo o de líquido, como emulsiones.

Carbono: El Carbono (C), a mayor contenido, mayor resistencia, perjudica sensiblemente a la ductilidad en especial el doblado.

Despasivación: Es el aumento de la velocidad de corrosión de un metal pasivo, por la causa de la eliminación total o parcial de su recubrimiento de pasivación.

Dislocaciones: En el ámbito de las ciencias de los materiales y la física del estado sólido, son defectos de la red cristalina de dimensión uno, es decir, que afectan a una fila de puntos de la red de Bravais.

Ductibilidad: Es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión.

Fisuración: Las fisuras en la superficie del concreto aumentan el riesgo de ingreso de sales, oxígeno y humedad propiciando el inicio de la corrosión del acero corrugado en el concreto. Las fisuras, de acuerdo a su momento de aparición pueden iniciarse en la etapa cuando el hormigón está fresco o en estado plástico, es decir, antes de concluir el

fraguado, o partir del término del fraguado, o sea, durante la etapa de endurecimiento del hormigón. Se da por razones de trabajo estructural: fisuras por flexión o por tracción debido a la contracción del concreto. Este último producto de la fragua del concreto, del proceso de secado o de las gradientes térmicas, caso elementos estructurales masivos.

Fósforo: Aumenta el límite de resistencia, favorece la resistencia a la corrosión y la dureza, pero perjudica la ductilidad y la soldabilidad.

Oxígeno: El dióxigeno, (O_2) conocido como oxígeno, es un gas que en condiciones normales de presión y temperatura es incoloro e insípido. Que reacciona con la totalidad de los metales (exceptuando los metales nobles) que estimula la aparición de la corrosión.

Pasivación: Es la aparición de un recubrimiento relativamente inerte sobre el área superficial de un material (metal) que los ayuda a protegerse de la acción de agentes externos. El acero del hormigón tiende a pasivarse, debido a la alcalinidad que le otorga la portlandita o $CaOH_2$ (Hidróxido de calcio o cal apagada) derivado de la hidratación del cemento y los alcalinos del mismo.

pH: La sigla significa: potencial hidrógeno. Es una escala numérica que sirve para especificar la acidez o basicidad de una solución acuosa. La disolución acuosa, en la escala de pH varía, de 0 a 14. Las soluciones con un pH inferior a 7, son ácidas (el valor del exponente de la concentración es mayor, porque hay más iones hidrógeno en la disolución) y las soluciones con un pH superior a 7 son básicas (disoluciones alcalinas). El agua pura es neutra, a pH 7 ($25^\circ C$), y no es ni un ácido, ni una base. Las mediciones de pH se usan en varias ramas de las ciencias dentro de ellas, las ciencias ambientales, la ingeniería civil, en el tratamiento y depuración de aguas. El cemento es base ph 13.

Recubrimiento por películas pasivas: No deja pasar del oxígeno y la humedad así la corrosión del resto del metal. Forma un fino recubrimiento sobre el metal que ayuda a proteger, siendo estos recubrimientos compuestos de dicho metal. Muchos metales y aleaciones, como el aluminio, el zinc o los aceros inoxidable, basan su resistencia a la oxidación en la formación espontanea de capas protectoras de óxido. Otras veces la capa se crea artificialmente, por ejemplo, el hierro se trata, con ácido fosfórico para formar una capa protectora de fosfatos y los aceros se recubren de cromatos.

Silicio: Como desoxidante del acero, favorece sensiblemente a la resistencia, pero reduce la soldabilidad.

Tenacidad: Los aceros estructurales son tenaces, o sea poseen resistencia y ductilidad. Es la propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades.

Vida Útil: El concepto de vida útil de una estructura que propone el reporte de la Red Temática DURAR, indica:” Período en el que la estructura conserva los requisitos del proyecto sobre la *seguridad* (disminución de sección en los elementos estructurales que comprometen la capacidad portante del elemento), *funcionalidad* (desprendimiento del elemento) y *estética* (manchas, óxidos, fisura), sin costos inesperados de mantenimiento”. En otras palabras, si la estructura careciera de cualquier de estas tres propiedades indicadas, está ya sobrepaso el período de su vida útil”.

Zinc: El zinc (Zn), es un metal clasificado como metal de color blanco, que arde en el aire con llama verde azulada. El aire seco no lo ataca, pero en contacto de la humedad, se forma un recubrimiento superficial de óxido o carbonato básico que separa al metal y lo protege de la corrosión. Su uso más importantes es el galvanizado del acero, que sirve para defenderlo de la corrosión, cuya ayuda efectiva es incluso cuando se agrieta el recubrimiento, ya que el zinc actúa como ánodo de sacrificio para evitar la corrosión de partes metálicas en depósitos de agua, barcos, etc.

CAPÍTULO 3. DESARROLLO

3.1. Alcance

- **Visión del estudio:**

Orientar y proponer como una opción viable a considerar para el uso de las barras corrugadas galvanizadas en la construcción de vivienda en los distritos con cercanía la mar y con ello alargar la vida útil de estas construcciones.

- **Misión del estudio:**

Explicar el método del galvanizado, procedimientos, normas, sus ventajas, y hacer ver que es una buena opción al problema planteado de la corrosión de en las estructuras de concreto, en distritos costeros.

- **Conceptualización del estudio:**

Esta visualizada para dar a conocer y continuar con el estudio de este procedimiento y convencer de la importancia de crear una norma que encamine a los proyectistas, constructores y fabricantes del uso del proceso del galvanizado para el acero de las barras corrugadas, ya usado en países vecinos.

Este trabajo de investigación se desarrolla recolectando barras corrugadas fabricadas por tres diferentes empresas que se venden en el Lima y usadas en tres obras diferentes también en Lima. Fueron luego galvanizadas en caliente en calidad de muestras, en la empresa galvanizadora TUPEMESA, perteneciente al grupo CAP, ubicada en la Carretera Panamericana Sur km. 21,5 en el distrito de Villa El Salvador, empresa que ha inaugurado el año 2017 la planta de galvanizado más moderna de Latinoamérica en el distrito de Lurín, en un terreno de 10 hectáreas.

Después las muestras galvanizadas fueron ensayadas a tracción en el Laboratorio 4 de la Facultad de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería. Los datos recopilados serán evaluados, comparados y cuantificados con unas muestras de control de barra corrugada calidad comercial en negro en cantidad y calidades iguales. Para así determinar si sufren cambios la barra corrugada galvanizada en caliente, en sus propiedades mecánicas, en su doblado y si es conforme recomendar su uso para evitar la corrosión en el uso de viviendas en distrito costeros.

3.2. Ishikawa Causa-efecto (corrosión).

Figura n.º 31. Esquema de Ishikawa causa - efecto



Fuente: Elaboración propia.

Tabla n.º 11. Los 5 por qué

		Nivel del problema	Nivel de correspondencia de la solución
Medio Ambiente	¿Por qué?	Alta humedad en Lima	No se puede controlar el medio ambiente, salvo que se aisle la zona a trabajar, cosa que no es factible por tamaño de las obras.
		Presencia de Oxígeno Garua en Invierno	
Técnica de construcción	¿Por qué?	Uso de agua al momento del vaciado	Se puede controlar, dosificar y por medio de agua potable.
		Porosidad en el concreto de mayor relación a/c	Se puede controlar por medio de diseño de mezcla.
		Mala compactación y curado del concreto:	Se puede controlar por medio de supervisión.
		Grietas en las columnas	Fisuras por el curado y por asentamientos diferenciados.
		Armado en la intemperie de barras	
Almacenamiento	¿Por qué?	sin cobertura de protección	No se puede controlar, no es factible por tamaño de las obras
		Deficiente al aire libre	
Hombre personal	¿Por qué?	uso de personal empírico	Se puede capacitar
		Personal poco capacitado	
		Supervisión ineficiente	Se puede contratar supervisión
		sin supervisión	
Aditivos	¿Por qué?	No usan aditivos	Se puede capacitar y enseñar su uso.
		Precio alto de aditivos	
		Técnica de uso de aditivos	
Materia Prima	¿Por qué?	Colocan acero con signos de corrosión	Se puede controlar por medio de supervisión
		Falta limpieza en los aceros	

Fuente. Elaboración propia (2108).

El medio ambiente, (la humedad, presencia de oxígeno, garúas), la técnica de construcción (el armado en la intemperie de la barras, las fisuras y grietas en la columnas y vigas) el almacenamiento (sin cobertura de protección, deficiente al aire libre), la materia prima (la falta de limpieza en los aceros , hacen que se coloque el acero con signo de corrosión) , las fisuras y grietas en la columnas y viga, hacen que se debe estudiar la protección de las barras corrugadas por medio de un revestimiento de galvanizado en caliente.

3.3. Preparación de Material para Probeta de Ensayo de Tracción.

La probeta debe tener en toda la longitud la misma sección, a lo largo de la barra corrugada de acero a ensayar. La probeta debe tener una longitud de calibración de 200 mm.

Para ambos lados debe tener:

- Una parte libre entre las mordazas de máquina de tracción de 2d.
- Una longitud para la sujeción de las mordazas de máquina de tracción de aproximadamente 70 mm
- Una longitud de exceso de 6mm.

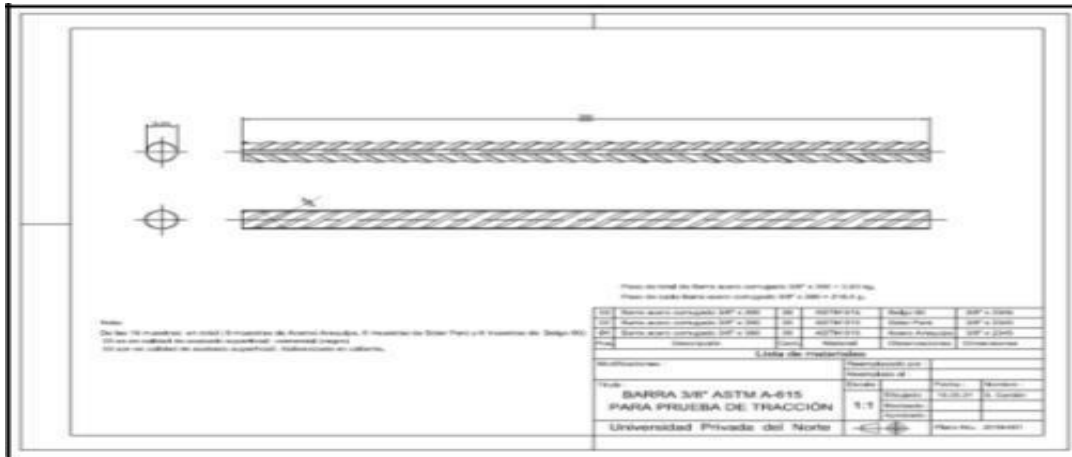
$$\text{Longitud total de la probeta} = 2L_e + 2L_{m0} + 2D + LC$$

Tabla n.º 12. Longitud de probeta para Ensayo de Tracción.

Longitud de Probeta de Ensayo						
Nº de designación de barra	d= diámetro de la barra (pulgada) (mm)	Longitud de exceso L (mm)	Longitud de mordaza (mm)	2 diámetros 2d (mm)	Longitud Calibrada (mm)	Longitud Total de la muestra (mm)
3	(3/8") (9,53)	6	70	19	200	390

Fuente. Elaboración propia (2108).

Figura n.º 32. Plano de probeta para tracción. (Anexo n.º 1)

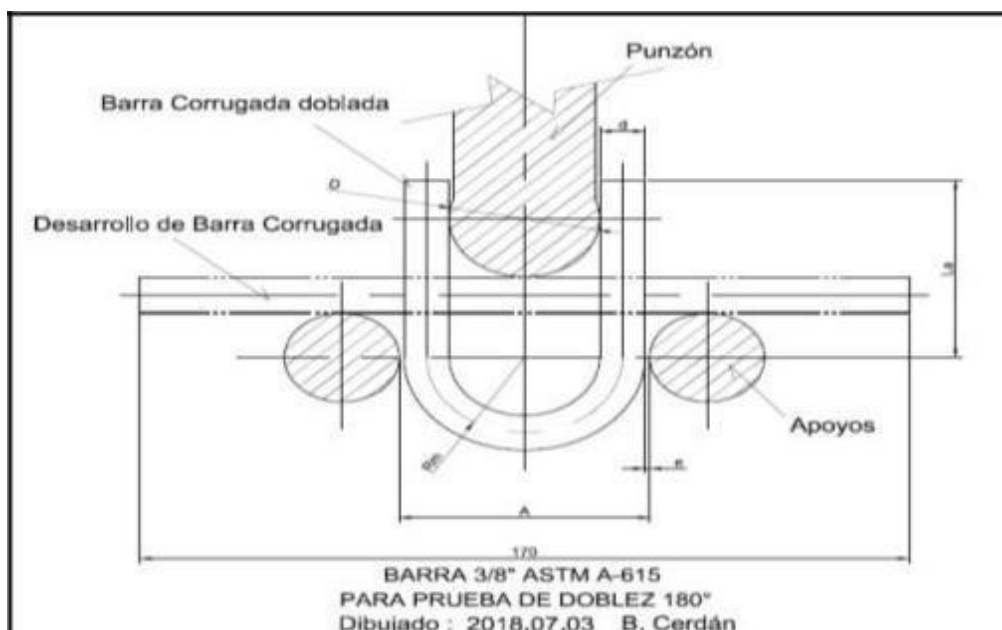


Fuente. Elaboración propia (2108).

3.4. Preparación de Material para Probeta de Ensayo para doblado.

La probeta para el ensayo de doblado debe tener las dimensiones de la curvatura de acuerdo con la machina a usar para doblar.

Figura n.º 33. Plano para determinar medidas de probeta de doblado. (Ver Anexo n.º2)



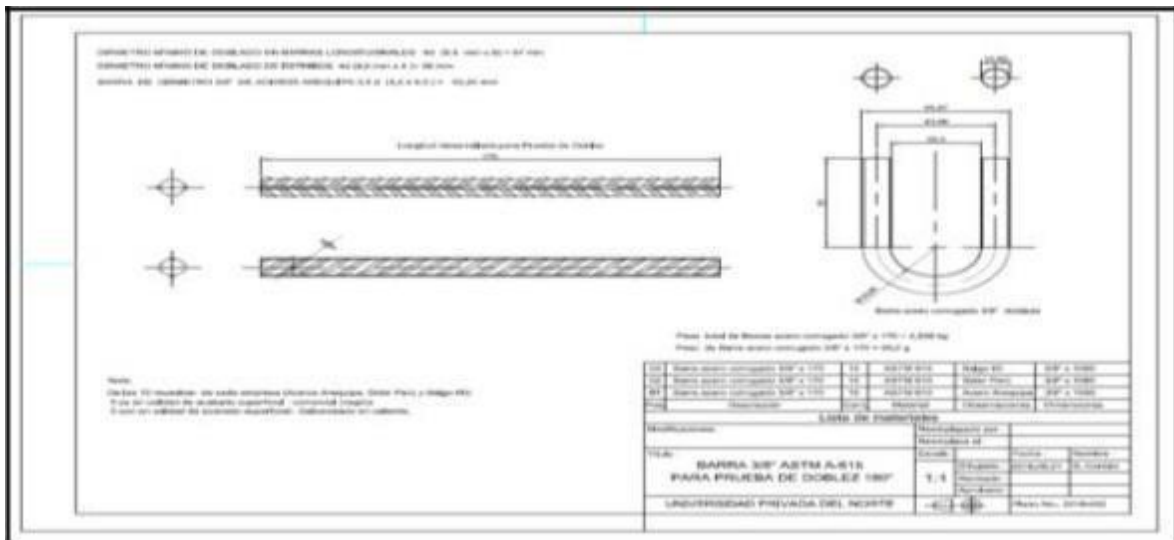
Fuente: Elaboración propia (2108). Auto CAD 2014.

Tabla n.º 13. Longitud de probeta para Ensayo de DobleZ.

Longitud de probeta de Ensayo para Doblado								
N.º de designación de barra	d= diámetro de la barra (pulgada) (mm)	D= Diámetro del punzón macho= 4d mínimo (mm)	Rm= Radio medio de curvatura de la barra (mm)	Lm= Desarrollo del diámetro neutro de la barra/2 (mm)	La= Longitud de apoyo (mm)	e= Luz entre piezas (mm)	A= Abertura de matriz hembra (mm)	Longitud Total de la muestra (mm)
3	(3/8") (9,53)	38,1	47,53	74,82	47,59	1,42	19	170

Fuente: Elaboración propia (2108).

Figura n.º34. Plano de probeta para ensayo de doblado. (Anexo n.º 3).



Fuente: Elaboración propia (2108). Auto CAD 2014.

3.5. Composición Química del Acero de la Barra Corrugada

La norma ASTM 615 cubre los aceros de refuerzo que se usan en nuestro mercado nacional, esta norma, no limita la composición química de los aceros, salvo el contenido de fósforo 0,06%.

Tabla n.º 14. Composición química acero ASTM A-615 Grado 60 de proveedores en Lima.

Composición química del acero ASTM 615 GRADO 60							
Elementos químicos en el Grado 60	NTP 341.031 / ASTM 615	Acero Arequipa (1)	Observaciones.	Siderperú (2)	Observaciones.	Belgo 60 (3)	Observaciones.
Carbono (C)	0.260 % máx					0,33% máximo	NO CUMPLE
Manganeso (Mn)	0.40 % máx	0.050				1,56% máximo	NO CUMPLE
Fósforo (P)	0.060 % máx	% máximo	CUMPLE	0.060 % máximo	CUMPLE	0,043% máximo	CUMPLE
Azufre (S)	0.050 % máx					0,053% máximo	NO CUMPLE
Silicio (Si)	0.040 % máx					0,055% máximo	NO CUMPLE

1.- Aceros Arequipa pertenece a Corporación Aceros Arequipa S.A del Perú

2.- Siderperú pertenece a Gerdau Aza de Brasil, no indica sus % de aleación. Se asume 0,060 máx

3.- Belgo 60 pertenece a Arcelor Mitral de Brasil, esta cumple con la norma NTP339.186 /ASTM706

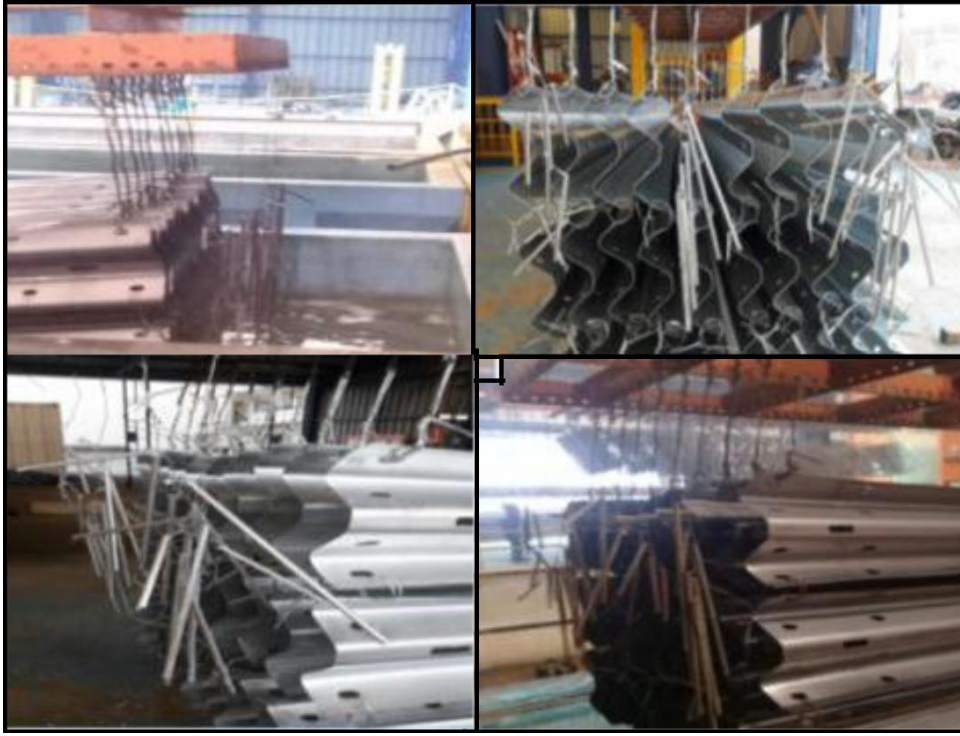
Fuente: Elaboración propia (2018).

3.6. Desarrollo Objetivo 1: Muestras galvanizadas.

Las muestras de 15 barras corrugadas de acero 3/8" x 390mm, y 15 barras corrugadas de acero 3/8" x 170 mm, fueron galvanizadas en la empresa TUPEMESA GALVANIZADORA, estas piezas pasaron por los siguientes procesos de:

- 1.- Limpieza caustica.
- 2.- Lavado con agua
- 3.- Decapado acido (Reduce los óxidos).
- 4.- Lavado con agua
- 5.- Pre-fluxado (Mordentado).
- 6.- Horno de secado y atemperado pre-calentamiento.
- 7.- Galvanizado en caliente (460°C).
- 8.- Zona de enfriamiento.
- 9.- Pasivado (evita manchas blancas)
- 10.- Limpieza mecánica e Inspección de calidad.
- 11.- Peso final.

Figura n.º 35. Procesos de Galvanizado de las muestras.



Fuente: Empresa Tupemesa. Elaboración propia. (2018).

Figura n.º 36. Medición de espesores de zinc en barra corrugada galvanizada $\varnothing 3/8"$ x 390 mm.



Fuente: TUPEMESA Elaboración propia. (2018).

Figura n.º 37. Medición de espesores de zinc en Barra corrugada galvanizada Ø 3/8” x 170 mm.



Fuente: TUPEMESA Elaboración propia. (2018).

3.7. Desarrollo Objetivo 2: Ensayo de tracción de muestras.

Selección e identificación de muestras:

- Nueve (9) muestras de barra corrugada Ø 3/8” x 390 mm, en calidad comercial negro, donde:
 - tres (3) muestras con número de serie 1N son de Aceros Arequipa.
 - tres (3) muestras con número de serie 2N son de Siderperú.
 - tres (3) muestras con número de serie 3N son de Belgo 60.
- Nueve (9) muestras de barra corrugada Ø 3/8” x 390 mm, galvanizadas, donde:
 - tres (3) muestras con número de serie 1G son de Aceros Arequipa.
 - tres (3) muestras con número de serie 2G son de Siderperú.
 - tres (3) muestras con número de serie 3G, son de Belgo 60.

Procedimiento:

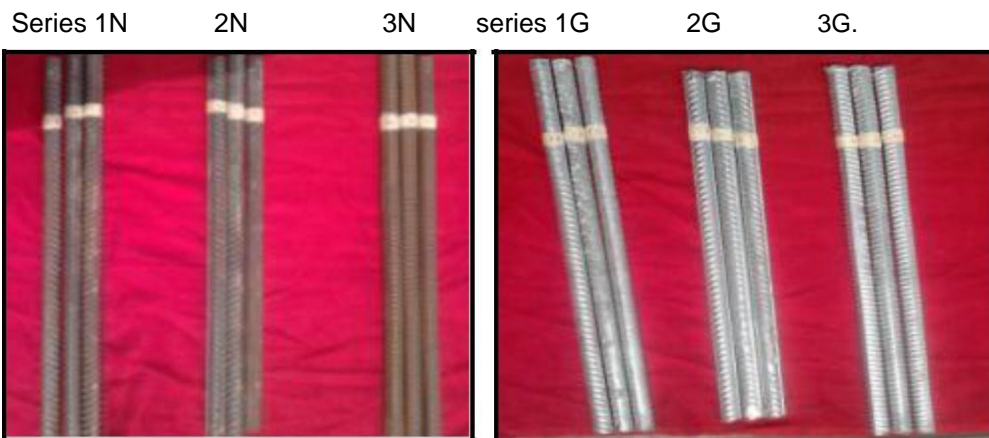
- Se le marcará con dos puntos distantes a una medida de 200 mm, usando un calibrador.
- Una vez la probeta este colocada y sujeta en por las mordazas de la máquina de prueba de ensayos, se le aplica esfuerzos crecientes de tracción. La distancia entre los puntos aumentará progresivamente.
- Se representa en un gráfico la curva que relaciona:
 - Las tensiones $\sigma = F / S_0$
Donde, F es la carga aplicada en un instante S_0 , es el área transversal.



Las deformaciones $\epsilon = L - L_0 / L_0$

- Los resultados dan un índice sobre el comportamiento del material que se debe analizar mediante criterios de rotura, los datos obtenidos se van a seleccionar en cuantitativos y no cuantitativos. Los cuantitativos proporcionan un valor numérico que representa una propiedad del material y los no cuantitativos indica si su comportamiento es satisfactorio o no. Los resultados van a ser comparables entre ellos y han de corresponder a pruebas realizadas en las mismas condiciones.

Figura n.º 38. Muestras de 9 barras corrugadas $\varnothing 3/8"$ x 390 mm en calidad comercial negro serie 1N, 2N, 3N y galvanizadas 1G, 2G, 3G.



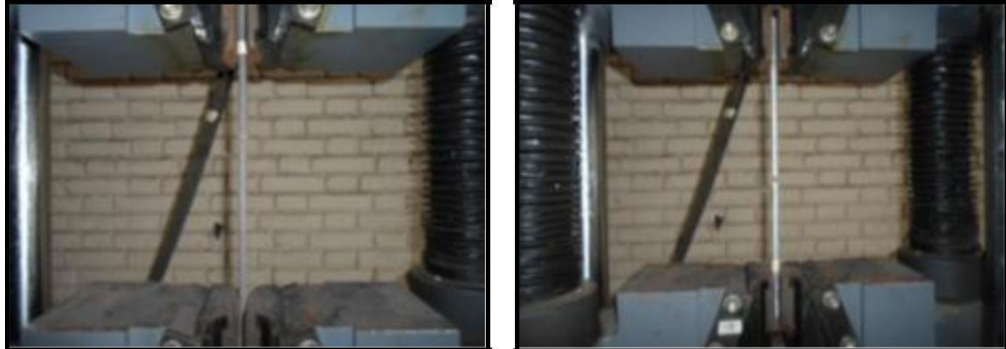
Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura n.º 39. Máquina para Prueba de Tracción y con asesor Ing. Colonio.



Fuente: Laboratorio 4 Mecánica UNI - Elaboración propia (2018).

Figura n.º 40. Ensayo de rotura en barras corrugas negra y galvanizada.



Fuente: Laboratorio 4 Mecánica UNI - Elaboración propia (2018).

Figura n.º 41. Rotura en barras corrugas negra y galvanizada.



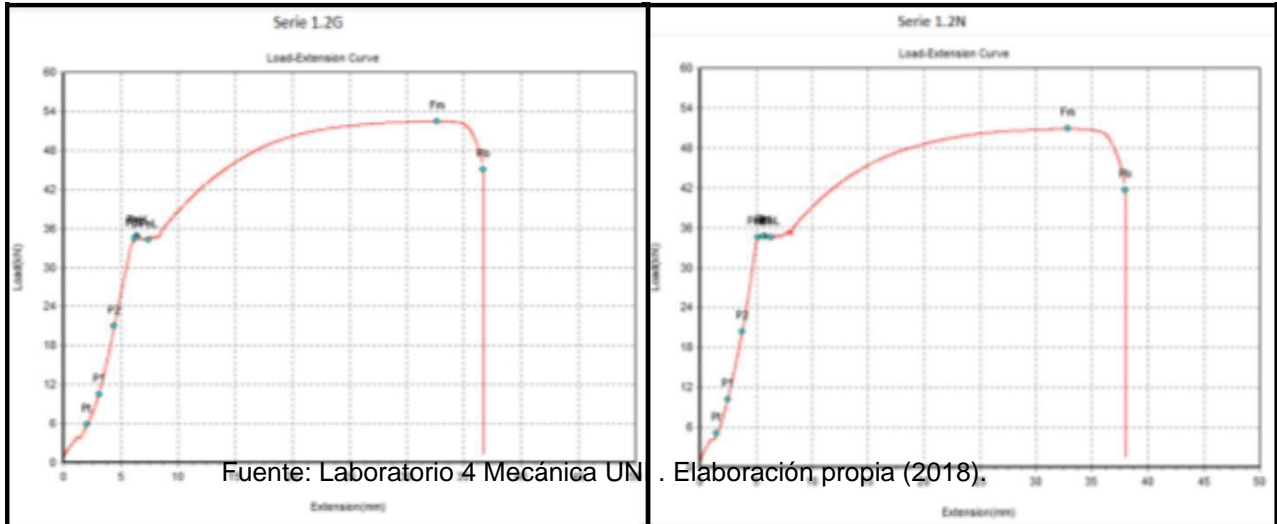
Fuente: Laboratorio 4 Mecánica UNI - Elaboración propia (2018).

Figura n.º 42. Gráficos del Diagrama tensión deformación de las pruebas realizadas.



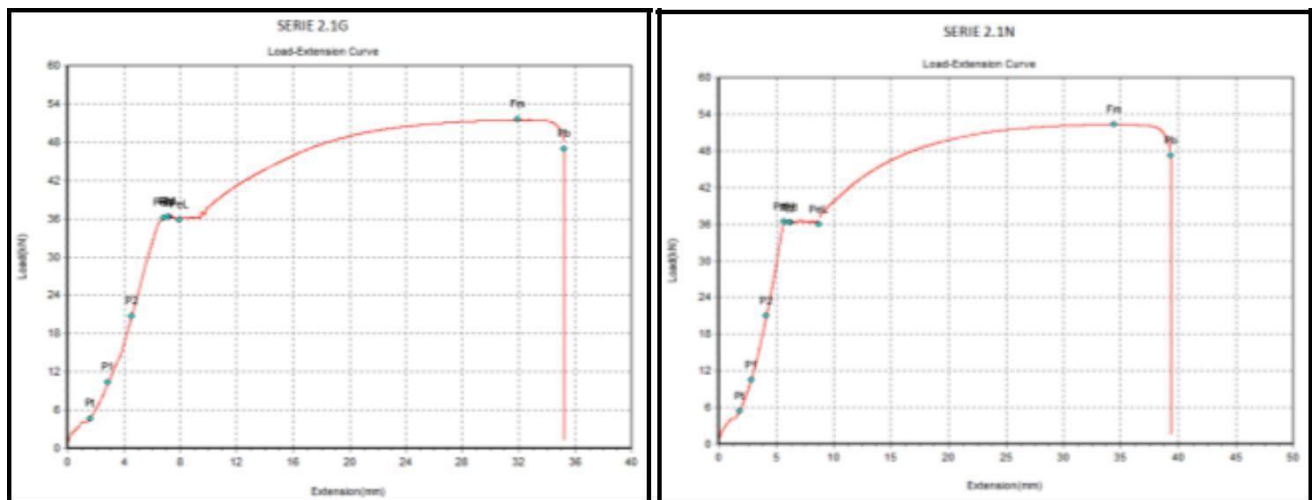
Fuente: Laboratorio 4 Mecánica UNI - Elaboración propia (2018).

Figura n.º 43. Gráficos del Diagrama tensión deformación de las pruebas, Serie 1.



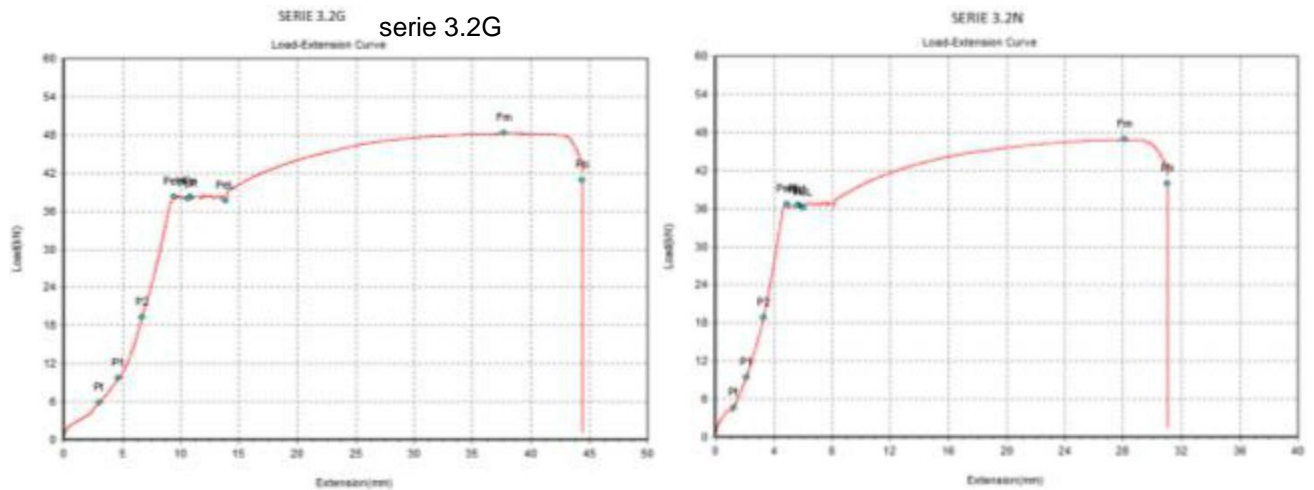
	Serie 1.2G		Serie 1.2N	
	kN	(kg-f)	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	35,38	(3 506)	35,60	(3 630)
Fuerza Máximo de Rotura	52,45	(5 348)	50,86	(5 104)

Figura n.º 44. Gráficos del Diagrama tensión deformación de las pruebas, serie 2.



	Serie 2.1G		Serie 2.1N	
	kN	(kg-f)	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	36,14	(3 685)	38,25	(3 900)
Fuerza Máximo de Rotura	51,44	(5 245)	48,22	(4 917)

Figura n.º 45. Gráficos del Diagrama tensión deformación de las pruebas, serie 3.



Fuente: Laboratorio 4 Mecánica UNI. Elaboración propia (2018).

	Serie 3.2G		Serie 3.2N	
	kN	(kg-f)	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	38,25	(3 900)	36,77	(3 749)
Fuerza Máximo de Rotura	48,22	(4 917)	46,82	(4 774)

3.8. Desarrollo Objetivo 3: Ensayo de doblado.

3.8.1. Requisitos del doblado.

La probeta para doblar, debe soportar a ser doblada por un punzón, sin presentar fisuraciones en la parte exterior del radio de la curvatura de la muestra doblada.

Para realizar el ensayo de doblado, la muestra debe tener el suficiente largo para asegurar un buen doblado libre y con un dispositivo que provea:

- Una aplicación continua y constante de carga a en el tiempo que dure el ensayo de doblado.
- La muestra para el ensayo de doblado, en los puntos de contacto con el dispositivo no deberá tener movimientos no restringidos y un pin donde pueda ser libre de girar.
- Durante la operación de doblado la muestra envolverá alrededor del punzón macho de doblado.

Figura n.º 46. 15 barras corrugada \varnothing 3/8" x 170 mm en calidad comercial negro y
15 barras corrugada \varnothing 3/8" x 170 mm galvanizados.

Series 1N 2N 3N series 1G 2G 3G



Fuente: Laboratorio 4 Mecánica UNI - Elaboración propia (2018).

Figura n.º 48: Dispositivo para Prueba de Doble. Fecha 2018-06.23.



Fuente: Elaboración propia (2018).

Figura n.º 47. Muestras barras corrugas $\varnothing 3/8$ " galvanizada y en calidad comercial negra, ambas dobladas 180° , serie 1G y 1N (Acero Arequipa).



Fuente: Elaboración propia (2018).

- Muestras de la serie 1G: de 5 muestras de barras corrugadas de acero $\varnothing 3/8$ " x 170 mm, galvanizadas, después de ser dobladas 180° , se obtuvo una calidad superficial, con 60 % de muestras con fisuraciones en la capa de galvanizado, de la zona del radio exterior (3 muestras no aceptadas de 5 muestras dobladas).
- Muestras de la serie 1N: de 5 muestras de barras corrugadas de acero $\varnothing 3/8$ " x 170 mm, negras, después de ser dobladas 180° , se obtuvo una calidad superficial libre de fisuraciones (0 %) en la zona del radio exterior. (5 muestras dobladas aceptadas).

Figura n.º 48. Muestras barras corrugas Ø 3/8" galvanizada y en calidad comercial negra dobladas, ambas dobladas 180°, series 2G y 2N (Siderperú).



Fuente: Elaboración propia (2018).

- Muestras de las series 2G y 2N: de 5 muestras de barras corrugadas de acero Ø 3/8" x 170 mm, galvanizadas, y negras después de ser dobladas 180°, se obtuvo una calidad superficial libre de fisuraciones (0 %) en la capa de galvanizado, en la zona de la curvatura del radio exterior (5 muestras dobladas galvanizadas y 5 muestras negras todas aceptadas).

Figura n.º 49. Muestras barras corrugas Ø 3/8" galvanizada y en calidad comercial negra dobladas, ambas dobladas 180°, serie 3G y 3N (Belgo 60).



Fuente: Elaboración propia (2018).

- Muestras de la serie 3G: de 5 muestras de barras corrugadas de acero Ø 3/8" x 170 mm, galvanizadas, después de ser dobladas 180°, se obtuvo una calidad superficial, de 60 % de muestras con fisuraciones en la capa de galvanizado, en la zona de la curvatura del radio exterior (3 muestras no aceptadas de 5 muestras dobladas).

- Muestras de la serie 3N: de 5 muestras de barras corrugadas de acero Ø 3/8" x 170 mm. negras, después de ser dobladas 180°, se obtuvo una calidad superficial libre de fisuraciones (0 %) en la zona del radio exterior. (5 muestras dobladas aceptadas).

3.9. Prueba de muestras de piezas a la intemperie.

Se colocó en la intemperie, 3 muestras de barras Ø 3/8" negras (serie 1N, 2N y 3N) y tres muestras barras corrugadas Ø 3/8" galvanizadas (serie 1G, 2G y 3G), una muestra de cada serie 1, 2 y 3, en ese orden de ubicación de izquierda a derecha, para ver y comprobar, como el medio ambiente y el clima. (días con lluvia, otros días con sol, el aire y la humedad), afecta a las superficies de las muestras.

3.9.1. Día 1, en la intemperie.

De las tres muestras serie 1N, 2N y 3N en negro, se evidencia en su superficie un color marrón claro que es indicativo de herrumbre (óxido férrico Fe_2O_3) muy ligera, siendo del tipo de corrosión húmeda. Óxido insipiente, no presenta daño estructural.

En las tres muestras serie 1G, 2G y 3G galvanizadas, no presentan cambios en su superficie.

Figura n.º 50. Fecha 2018.06.25 Día 01, Temperatura 20 °C/16 °C, H.R 90%.

Serie 1N,2N,3N -1G,2G,3G

2G 3G



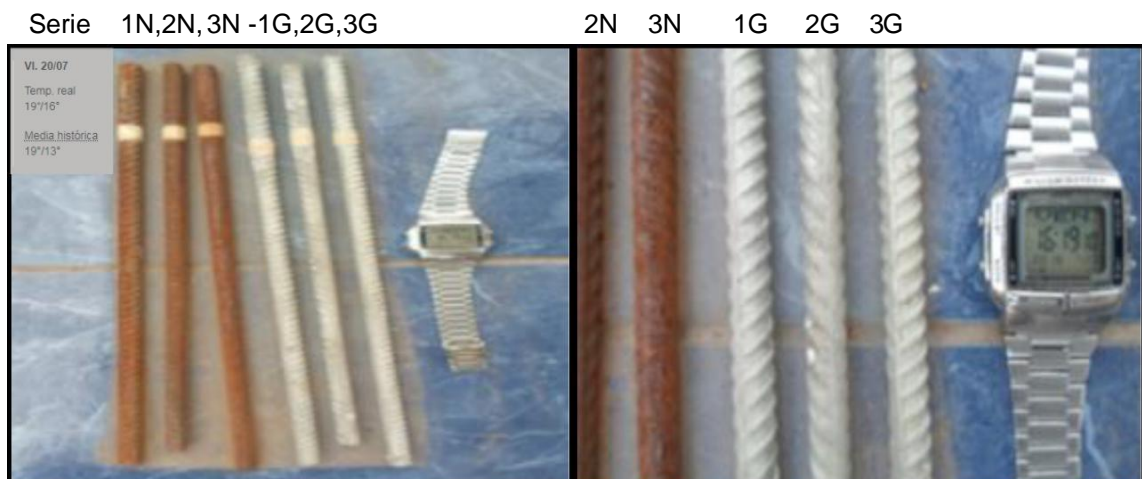
Fuente: Temperatura Accu Weather.

3.9.3. Día 25, en la intemperie.

Veinticinco días después, en las muestras 1N y 2N, en negro, se evidencia que avanza en toda su superficie una coloración marrón clara que indica una saturación moderada de herrumbre, siendo del tipo de corrosión húmeda. La muestra 3N, presenta en toda su superficie una coloración marrón más oscuro, que avanza con más notoriedad y que indica una saturación completa de herrumbre. Oxido menor no presenta daño estructural.

En las tres muestras serie 1G, 2G y 3G, galvanizadas, no se presentan cambios en su superficie.

Figura n.º 52. - Fecha 2018.07.20, día 25, Temperatura 19 °C, H.R 90%.



Fuente: Temperatura Accu Weather. Elaboración propia (2018).

3.9.4. Día 36, en la intemperie.

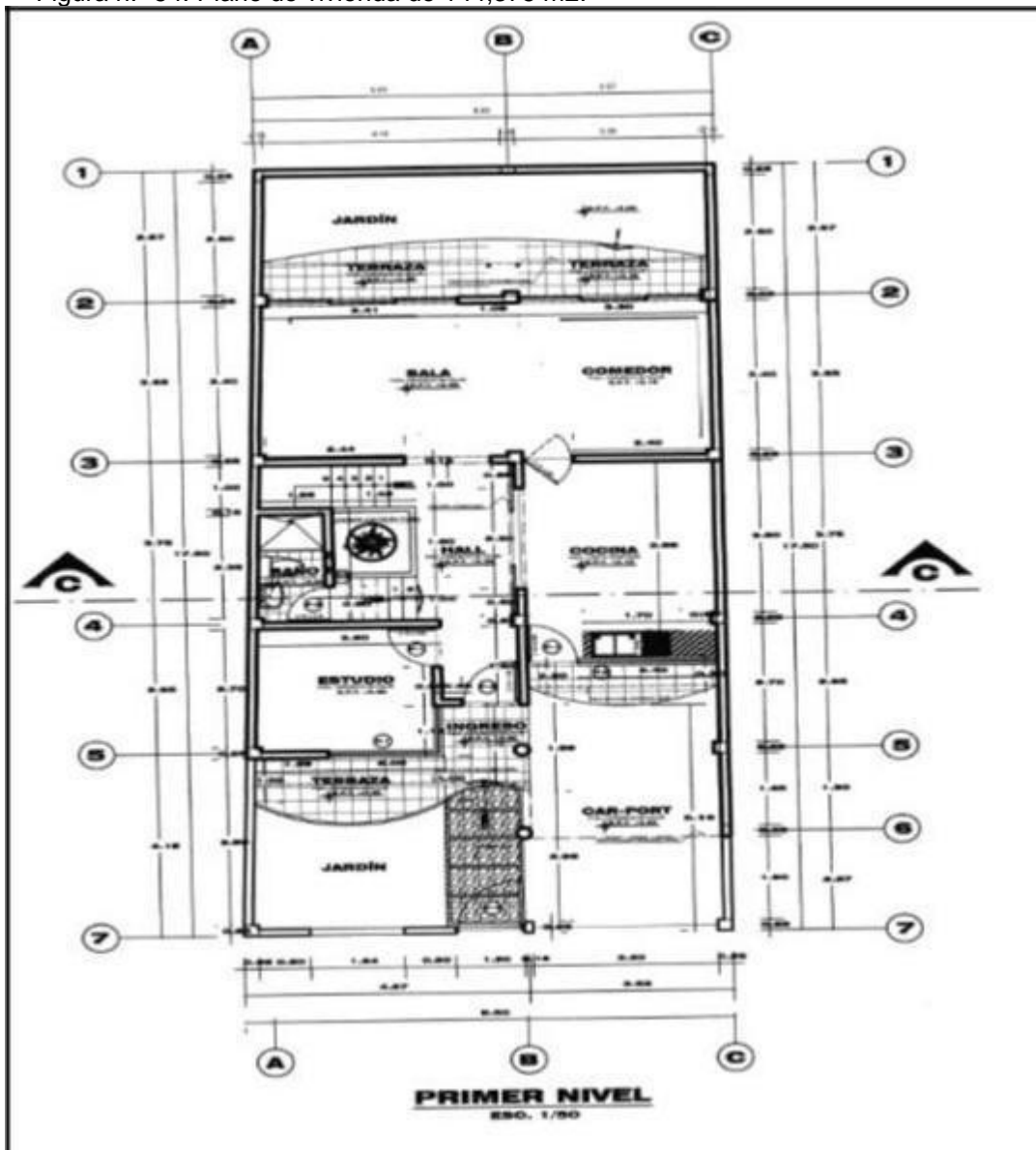
Treinta seis días después, en las muestras 1N 2N y 3N en negro, presenta en toda su superficie una coloración marrón más oscuro, que avanza con más notoriedad y que indica una saturación completa de herrumbre, siendo del tipo de corrosión humedad. Oxido menor no presenta daño estructural. Para evidenciar el proceso de oxidación, se ha colocado una barra corrugada negra serie 1, que no ha estado expuesta a la intemperie.

En las tres muestras serie 1G, 2G y 3G, galvanizadas, no se presentan cambios en su superficie.

3.10. Desarrollo Objetivo 4: Costo de Galvanizado en caliente.

Se va a comparar el costo de una vivienda unifamiliar de un área de 144.375 m^2 , con las siguientes medidas de: frente = 8,5 m fondo= 8,0 m Largo= 17,5 m. es un terreno irregular, de dos pisos construidos.

Figura n.º 54. Plano de vivienda de $144,375 \text{ m}^2$.



Fuente: Constructora y Consultora San Francisco de Asis. (2018)

Se ha realizado el metrado de acero, que se va a usar en este proyecto.
Dando por resultado: 5 274.16 kg de acero.

Ver:

Anexo n.º 26. Metrado de estructuras de acero en columnas y losa aligerada.

Anexo n.º 27. Metrado de estructuras de acero en escalera y en cisterna.

Tabla n.º 15. Resumen de metrado de estructuras: Acero en columnas, losa, escalera y cisterna.

Metrado de Estructura: Acero		
Item	Acero en :	Peso parcial (kg)
1	Columnas	3 396,68
2	Losa aligerada	1 277,09
3	Escalera	305,95
4	Cisterna	294,44
<u>Peso Total (kg)</u>		<u>5 274,16</u>

Fuente: Elaboración propia (2018).

Tabla n.º 16. Precio por kg de materiales

Ítem	Datos	Costo (\$ / kg)	
1	Acero negro	0,95	Precio de distribuidor
2	Galvanizado en caliente	0,5	Precio de Galvanizadora.
3	Precio dólar al día	3,3	

Fuente: Elaboración propia (2018).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Objetivo 1: Espesor de galvanizado en muestras.

- Según los resultados encontrados se determinó que los espesores de la capa del galvanizado en caliente, en 30 barras corrugadas de acero Ø 3/8" de las series 1, 2, 3, para prevenir la corrosión en estructuras de concreto armado:
 - El promedio medido en las 15 muestras de barras corrugadas de acero de Ø 3/8" x 390 mm, para la prueba de tracción, el revestimiento de zinc, es 137,03 µm, y
 - El promedio medido de las 15 muestras barras corrugadas de acero de Ø 3/8" x 170 mm, para ser dobladas, el revestimiento de zinc, es 127,85 µm.
 - Ambos promedios con su desviación estándar en su rango mínimo, superan el rango mínimo que es 86 µm de la norma ASTM A-767 para Barras de Refuerzo.
 - Por lo cual, el lote de 30 muestras barras corrugadas de acero Ø 3/8", galvanizadas en caliente, es aceptado. Valores se presentan en las tablas nros. 17 y 18.

Tabla n.º 17. Cuadro de espesores de galvanizado en 9 muestras para tracción.

Barras corrugadas Ø 3/8" x 390 mm		
Muestra	Capa de zinc (µm)	según la ASTM A-767 / A-767M espesor mínimo= 86 µm
1.1G	158,0	Aceptado
1.2G	97,2	Aceptado
1.3G	181,0	Aceptado
2.1G	162,0	Aceptado
2.2G	90,0	Aceptado
2.3G	99,1	Aceptado
3.1G	166,0	Aceptado
3.2G	107,0	Aceptado
3.3G	173,0	Aceptado
Total	1233,3	
Promedio	137,03	Aceptado
D.E.	37,5	

Fuente: Elaboración propia (2018). Excel 2010.

Tabla n.º 18. Cuadro de espesores de galvanizado en 15 muestras para doblado.

Barras corrugadas Ø 3/8" x 170 mm		
Muestra	Capa de zinc (µm)	según la ASTM A-767 / A-767M espesor mínimo= 86 µm
1	90,9	Aceptado
2	91,6	Aceptado
3	137,0	Aceptado
4	145,0	Aceptado
5	122,0	Aceptado
6	118,0	Aceptado
7	125,0	Aceptado
8	164,0	Aceptado
9	219,0	Aceptado
10	126,0	Aceptado
11	150,0	Aceptado
12	172,0	Aceptado
13	87,04	Aceptado
14	79,0	Aceptado
15	90,0.9	Aceptado
Total	1 917,8	
Promedio	127,85	Aceptado
D.E.	12,69	

Fuente: Elaboración propia (2018). Excel 2010.

4.1.2. Objetivo 2: Resultados de las Propiedades mecánicas.

4.1.2.1. Valores de los ensayos de Esfuerzo de Fluencia, Máximo de Rotura y Elongación, muestras series 1N y 1G.

Esfuerzo de Fluencia:

- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción, de las tres muestras barras corrugadas de acero Ø 3/8", calidad comercial negra, de las serie 1N, que el Esfuerzo de Fluencia promedio es 51,00 kg/mm², con una desviación estándar de 1,75 kg/mm².

Valor que es mayor al promedio de 48,95 kg/mm², de la norma ASTM A-615, para barras corrugadas Grado 60, la norma indica:

- Esfuerzo de Fluencia, mínimo: 420 MPa. (4 283 kg/cm²) o (42,83 kg/mm²).
- Esfuerzo de Fluencia, máximo: 540 MPa. (5 506 kg/cm²) o (55,06 kg/mm²).

- Se determinó con los ensayos de las tres muestras barras corrugadas de acero Ø 3/8", galvanizadas, serie 1G, que el Esfuerzo de Fluencia promedio es 48,60 kg/mm², con una desviación estándar de 0,53 kg/mm². Valor casi igual al promedio, 48,95 kg/mm², de la norma ASTM A-615, para barras corrugadas Grado 60.
- El lote de muestras galvanizado es aceptado.

Esfuerzo de Máximo de Rotura:

- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción, de las tres muestras, de las barras corrugadas de acero Ø 3/8" calidad comercial negra, de la serie 1N, que el Esfuerzo de Máximo de Rotura promedio es 74,26 kg/mm², con su desviación estándar 2,84 kg/mm², resultado que es mayor al valor mínimo de 63,20 kg/mm², indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.
 - Esfuerzo de Tracción, mínimo: 620 MPa. (6 320 kg/cm²) o (63,20 kg/mm²).
- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción de las tres muestras de las barras corrugadas de acero Ø 3/8", galvanizadas, de la serie 1G, que el Esfuerzo de Máximo de Rotura promedio es 71,90 kg/mm², con su desviación estándar 3,66 kg/mm², resultado que es mayor al valor mínimo de 63,20 kg/mm², indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.
 - Esfuerzo de Tracción, mínimo: 620 MPa. (6 320 kg/cm²) o (63,20 kg/mm²).
- El lote de muestras galvanizadas en caliente, es aceptado.

Relación fr/fy

- Es la relación entre Resistencia a la Rotura y el Límite de fluencia, en la que resultado debe ser mayor o igual a 1,25.

De las tres muestras de barras corrugadas de acero Ø 3/8", galvanizadas, serie 1G:
Esfuerzo de Máximo de Rotura promedio, es 71,90 kg/mm²
Esfuerzo de Fluencia promedio, es 51,00 kg/mm².
- Relación fr/fy, es 1,40 ≥ 1,25 es aceptado, cumple con la Norma ASTM A-615.

Elongación:

- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción, de las tres muestras de las barras corrugadas de acero Ø 3/8" calidad comercial negra, de la series 1N, la elongación promedio medido es 17,10 %, con su desviación estándar 1,21 %, esta es mayor al valor mínimo de 9%, que es lo indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.
- Se determinó con los ensayos de la prueba de tracción, de las tres muestras de las barras corrugadas de acero Ø 3/8" galvanizada, de la series 1G, la elongación promedio medido es 14,95 %, con su desviación estándar 1,20 %, esta es mayor al valor mínimo de 9%, que está indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo. (nota: solo se tomaron 2 de 3 datos, porque no se produjo rotura en dos muestras, por resbalamiento de la mordaza de sujeción de la máquina de tracción).
- El lote de muestras galvanizadas es aceptado. Valores se presenta en la tabla n.º19.

Tabla n.º 19. Cuadro de valores de ensayos de Esfuerzo Máximo, de Fluencia y Elongación, muestras series 1N y 1G.

Muestras N= Negro G= Galvanizado	Según ensayos de Esfuerzo de Fluencia (kg/mm ²)	Según norma ASTM A-615		Según ensayos de Esfuerzo Máximo (kg/mm ²)	Según norma ASTM A-615	Según ensayos de Elongación (%)	Según norma ASTM A-615 Elongación mínima (9 %)
		Esfuerzo de Fluencia mínimo (kg/mm ²)	Esfuerzo de Fluencia máximo (kg/mm ²)		Esfuerzo Máximo de Rotura mínimo 63,20 (kg/mm ²)		
1.1N	52,8	CUMPLE		76,1	CUMPLE	19,1	CUMPLE
1.2N	50,9	CUMPLE		75,7	CUMPLE	16,9	CUMPLE
1.3N	49,3	CUMPLE		71,0	CUMPLE	17,1	CUMPLE
Promedio (kg/mm ²)	51,0	Promedio (kg/mm ²)		74,26	(%)	17,1	
D.E. (kg/mm ²)	1,75	D.E. (kg/mm ²)		2,84	D.E. (%)	1,21	
1.1G	48,4	CUMPLE		67,9	CUMPLE	X	CUMPLE
1.2G	49,2	CUMPLE		75,1	CUMPLE	14,1	CUMPLE
1.3G	48,2	CUMPLE		72,7	CUMPLE	15,8	CUMPLE
Promedio (kg/mm ²)	48,6	Promedio (kg/mm ²)		71,9	(%)	14,95	
D.E. (kg/mm ²)	0,53	D.E. (kg/mm ²)		3,66	D.E. (%)	1,2	

Fuente: Laboratorio 4 Mecánica UNI - Elaboración propia (2018). Excel 2010.

4.1.2.2. Valores de ensayos Esfuerzo: de Fluencia, Máximo de Rotura y Elongación, muestras series 2N y 2G.

Esfuerzo de Fluencia:

- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción, de las tres muestras barras corrugadas de acero Ø 3/8”, calidad comercial negra, de las serie 2N, que el Esfuerzo de Fluencia promedio es 50,20 kg/mm², con una desviación estándar de 1,67 kg/mm². Valor que es mayor al promedio de 48,95 kg/mm², de la norma ASTM A-615, para las barras corrugadas Grado 60, según se indica:
 - Esfuerzo de Fluencia, mínimo: 420 MPa. (4 283 kg/cm²) o (42,83 kg/mm²).
 - Esfuerzo de Fluencia, máximo: 540 MPa. (5 506 kg/cm²) o (55,06 kg/mm²).
- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción de las tres muestras barras corrugadas de acero Ø 3/8”, galvanizadas, serie 2G, que el Esfuerzo de Fluencia promedio es de 53,10 kg/mm², con una desviación estándar de 1,40 kg/mm². Valor que es un mayor al promedio, 48,95 kg/mm², de la norma ASTM A-615, para barras corrugadas Grado 60.
- El lote de muestras galvanizadas es aceptado.

Esfuerzo de Máximo de Rotura:

- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción de las tres muestras, de las barras corrugadas de acero Ø 3/8” calidad comercial negra, de la serie 2N, que el Esfuerzo de Máximo de Rotura promedio medido es 73,40 kg/mm², con su desviación estándar 1,40 kg/mm², resultado que es mayor al valor mínimo de 63,20 kg/mm², indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.
 - Esfuerzo de Tracción, mínimo: 620 MPa. (6 320 kg/cm²) o (63,20 kg/mm²).
- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción, de las tres muestras , de las barras corrugadas de acero Ø 3/8”, galvanizadas, serie 2G, que el Esfuerzo de Máximo de Rotura promedio medido es 74,80 kg/mm², con su desviación estándar 1,08 kg/mm², resultado que es mayor al valor mínimo de 63,20 kg/mm², de lo indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.
 - Esfuerzo de Tracción, mínimo: 620 MPa. (6 320 kg/cm²) o (63,20 kg/mm²).
- El lote de muestras galvanizadas es aceptado.

Relación fr/fy:

- Es la relación entre Resistencia a la Rotura y el Límite de fluencia, en la que resultado debe ser mayor o igual a 1,25.
De las tres muestras de las barras corrugadas de acero Ø 3/8”, galvanizadas, serie 1G:
Esfuerzo de Máximo de Rotura promedio, es 74,80 kg/mm²
Esfuerzo de Fluencia promedio, es 50,20 kg/mm²,
- Relación fr/fy, es $1,49 \geq 1,25$ es aceptado, cumple con la Norma ASTM A-615.

Elongación:

- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción, de las tres muestras de las barras corrugadas de acero Ø 3/8” calidad comercial negra, de la series 2N, la elongación promedio medido es 15,06 %, con su desviación estándar 0,87 %, es mayor al valor mínimo de 9%, indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.
- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción, de las tres muestras de la series 2G de las barras corrugadas de acero Ø 3/8” galvanizada, serie 2G, la elongación promedio medido es 16,06 %, con su desviación estándar 1,95 %, mayor al valor mínimo de 9%, indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo. (nota: solo se tomaron 2 de 3 datos, porque no se produjo rotura en dos muestras, por resbalamiento de la mordaza de sujeción de la máquina de tracción).
- El lote de muestras galvanizadas es aceptado. Valores se presenta en la tabla n.º20.

Tabla n.º 20. Cuadro de valores de ensayos de Esfuerzo Máximo, de Fluencia y Elongación, muestras series 2N y 2G

Muestras N= Negro G= Galvanizado	Según ensayos de Esfuerzo de Fluencia (kg/mm ²)	Según norma ASTM A-615		Según ensayos de Esfuerzo Máximo (kg/mm ²)	Según norma ASTM A-615		
		Esfuerzo de Fluencia mínimo (kg/mm ²) 42,83	Esfuerzo de Fluencia máximo (kg/mm ²) 55,06		Esfuerzo Máximo de Rotura mínimo (kg/mm ²) 63,20	Según ensayos de Elongación (%)	Según norma ASTM A-615 Elongación mínimo (9 %)
2.1N	52,0	CUMPLE		74,8	CUMPLE	15,8	CUMPLE
2.2N	48,7	CUMPLE		72,0	CUMPLE	14,1	CUMPLE
2.3N	49,9	CUMPLE		73,5	CUMPLE	15,3	CUMPLE
Promedio (kg/mm ²)	50,2	Promedio (kg/mm ²)		73,4	(%)	15,06	
D.E. (kg/mm ²)	1,67	D.E. (kg/mm ²)		1,4	D.E. (%)	0,87	
2.1G	51,7	CUMPLE		73,6	CUMPLE	14,2	CUMPLE
2.2G	53,2	CUMPLE		75,1	CUMPLE	15,9	CUMPLE
2.3G	54,5	CUMPLE		75,7	CUMPLE	18,1	CUMPLE
Promedio (kg/mm ²)	53,1	Promedio (kg/mm ²)		74,8	(%)	16,06	
D.E. (kg/mm ²)	1,4	D.E. (kg/mm ²)		1,08	D.E. (%)	1,95	

Fuente: Laboratorio 4 Mecánica UNI - Elaboración propia (2018). Excel 2010.

4.1.2.3. Valores de ensayos de Esfuerzo de Fluencia, Máximo de Rotura y Elongación, muestras series 3N y 3G.

Esfuerzo de Fluencia:

- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción, de las tres muestras barras corrugadas de acero Ø 3/8", calidad comercial negra, de las serie 3N, que el Esfuerzo de Fluencia promedio es 53,03 kg/mm², con una desviación estándar de 1,02 kg/mm². Valor mayor al promedio que es 48,95 kg/mm², de la norma ASTM A-615, para las barras corrugadas grado 60, según se indica:

- Esfuerzo de Fluencia, mínimo: 420 MPa. (4 283 kg/cm²) o (42,83 kg/mm²).
- Esfuerzo de Fluencia, máximo: 540 MPa. (5 506 kg/cm²) o (55,06 kg/mm²).

- Se determinó con los ensayos de tracción, de las tres muestras barras corrugadas de acero Ø 3/8”, galvanizadas, serie 3G, que el Esfuerzo de Fluencia promedio es de 53,63 kg/mm², con una desviación estándar de 0,92 kg/mm². Valor que es mayor al promedio, 48,95 kg/mm², de la norma ASTM A-615, para barras corrugadas Grado 60.
- El lote de muestras galvanizadas es aceptado.

Esfuerzo de Máximo de Rotura:

- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción de las tres muestras, de las barras corrugadas de acero Ø 3/8” calidad comercial negra, serie 3N, que el Esfuerzo de Máximo de Rotura promedio medido es 68,63 kg/mm², con su desviación estándar 1,60 kg/mm², resultado que es mayor al valor mínimo de 63,20 kg/mm², de lo indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.
 - Esfuerzo de Tracción, mínimo: 620 MPa. (6 320 kg/cm²) o (63,20 kg/mm²).
- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción de las tres muestras, de las barras corrugadas de acero Ø 3/8”, galvanizadas, serie 3G, que el Esfuerzo de Máximo de Rotura promedio medido es 68,16 kg/mm², con su desviación estándar 1,19 kg/mm², resultado mayor al valor mínimo de 63,20 kg/mm², de lo indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.
 - Esfuerzo de Tracción, mínimo: 620 MPa. (6 320 kg/cm²) o (63,20 kg/mm²).
- El lote de muestras galvanizadas es aceptado.

Relación fr/fy:

- Es la relación entre Resistencia a la Rotura y el Límite de fluencia, en la que resultado debe ser mayor o igual a 1,25.

De las tres muestras de las barras corrugadas de acero Ø3/8”, galvanizadas, serie 1G:

Esfuerzo de Máximo de Rotura promedio, es 68,63 kg/mm²

Esfuerzo de Fluencia promedio, es 53,63 kg/mm²,
- Relación fr/fy, es $1,28 \geq 1,25$ es aceptado, cumple con la Norma ASTM A-615.

Elongación:

- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción, de las tres muestras de las barras corrugadas de acero Ø 3/8” calidad comercial negra, serie 3N, la elongación promedio



es 17,30 %, con su desviación estándar 1,93 %, es mayor al valor mínimo de 9%, indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.

- El lote de muestras galvanizados es aceptado.
- Se determinó con los ensayos de prueba de tracción, de las tres muestras de las barras corrugadas de acero Ø 3/8” galvanizada en caliente, serie 3G, la elongación promedio es 15,40 %, con su desviación estándar 0,28 %, es mayor al valor mínimo de 9%, indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.
- (nota: solo se tomaron 2 de 3 datos, porque no se produjo rotura en dos muestras, por resbalamiento de la mordaza de sujeción de la máquina de tracción).
- El lote de muestras galvanizados es aceptado. Valores se presenta en la tabla n.º21.

Tabla n.º 21. Cuadro de valores de ensayos de Esfuerzo Máximo, de Fluencia y Elongación, muestras series 3N y 3G.

Muestras N= Negro G= Galvanizado	Según ensayos de Esfuerzo de Fluencia (kg/mm ²)	Según norma ASTM A-615		Según ensayo s de Esfuerz o Máxim o (kg/mm ²)	Según norma ASTM A-615		
		Esfuerzo de Fluencia mínimo 42,83 (kg/mm ²)	Esfuerzo de Fluencia máximo 55,06 (kg/mm ²)		Esfuerzo Máximo de Rotura mínimo 63,20 (kg/mm ²)	Según ensayos de Elongaci ón (%)	Según norma ASTM A-615 Elongació n mínimo (9 %)
3.1N	54,2	CUMPLE		70,2	CUMPLE	18,7	CUMPLE
3.2N	52,6	CUMPLE		67,0	CUMPLE	15,1	CUMPLE
3.3N	52,3	CUMPLE		67,6	CUMPLE	18,1	CUMPLE
Promedio (kg/mm ²)	53,03	Promedio (kg/mm ²)		68,63	(%)	17,3	
D.E. (kg/mm ²)	1,02	D.E. (kg/mm ²)		1,60	D.E. (%)	1,93	
3.1G	53,1	CUMPLE		68,7	CUMPLE	15,2	CUMPLE
3.2G	54,7	CUMPLE		69,0	CUMPLE	15,6	CUMPLE
3.3G	53,1	CUMPLE		66,8	CUMPLE	X	CUMPLE
Promedio (kg/mm ²)	53,63	Promedio (kg/mm ²)		68,16	(%)	15,4	
D.E. (kg/mm ²)	0,92	D.E. (kg/mm ²)		1,19	D.E. (%)	0,28	

Fuente: Laboratorio 4 Mecánica UNI - Elaboración propia (2018). Excel 2010.

4.1.2.4. Valores de ensayos de Esfuerzos: de Fluencia, Máximo de Rotura y Elongación, muestras series 1N, 2N y 3N.

Esfuerzo de Fluencia:

- Se determinó en los ensayos de prueba de tracción de las nueve muestras barras corrugadas de acero Ø 3/8", calidad comercial negra, de las series 1N, 2N y 3N, que el Esfuerzo de Fluencia promedio es 51,41 kg/mm², con una desviación estándar de 1,82 kg/mm². Valor mayor al promedio, 48,95 kg/mm², de la norma ASTM A-615, para las barras corrugadas Grado 60, según se indica:
 - Esfuerzo de Fluencia, mínimo: 420 MPa. (4 283 kg/cm²) o (42,83 kg/mm²).
 - Esfuerzo de Fluencia, máximo: 540 MPa. (5 506 kg/cm²) o (55,06 kg/mm²).

Esfuerzo de Máximo de Rotura:

- Se determinó en los ensayos de prueba de tracción de las nueve muestras, de las barras corrugadas de acero Ø 3/8" calidad comercial negra, series 1N, 2N y 3N, que el Esfuerzo de Máximo de Rotura promedio medido es 71,98 kg/mm², con su desviación estándar 3,33 kg/mm², resultado que es mayor al valor mínimo de 63,20 kg/mm², indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.
 - Esfuerzo de Tracción, mínimo: 620 MPa. (6 320 kg/cm²) o (63,20 kg/mm²).
- El lote de muestras es aceptado.

Relación fr/fy:

- Es la relación entre Resistencia a la Rotura y el Límite de fluencia, en la que resultado debe ser mayor o igual a 1,25.
De las tres muestras de las barras corrugadas de acero Ø3/8", calidad comercial negra, series 1N, 2N y 3N:
 - Esfuerzo de Máximo de Rotura promedio, es 71,98 kg/mm²
 - Esfuerzo de Fluencia promedio, es 51,41 kg/mm²,
- Relación fr/fy, es 1,40 ≥ 1,25 es aceptado, cumple con la Norma ASTM A-615.

Elongación:

- Se determinó en la prueba de tracción que las nueve muestras de las barras corrugadas de acero Ø 3/8" calidad comercial negra, series 1N, 2N, 3N, la elongación promedio es 16,69 %, con su desviación estándar 1,73 %, es mayor al valor mínimo de 9%, indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.
- El lote de muestras galvanizados es aceptado. Valores se presenta en la tabla n.º22.

Tabla n.º 22. Cuadro de valores de ensayos de Esfuerzo: Máximo, de Fluencia y Elongación, muestras series 1N, 2N y 3N.

Muestras N= Negro G= Galvanizado	Según ensayos de Esfuerzo de Fluencia (kg/mm ²)	Según norma ASTM A-615		Según ensayo s de Esfuerz o Máxim o (kg/mm ²)	Según norma ASTM A-615		
		Esfuerzo de Fluencia mínimo 42,83 (kg/mm ²)	Esfuerzo de Fluencia máximo 55,06 (kg/mm ²)		Esfuerzo Máximo de Rotura mínimo 63,20 (kg/mm ²)	Según ensayos de Elongaci ón (%)	Según norma ASTM A-615 Elongació n mínimo (9 %)
1.1N	52,8	CUMPLE		76,1	CUMPLE	19,1	CUMPLE
1.2N	50,9	CUMPLE		75,7	CUMPLE	16,9	CUMPLE
1.3N	49,3	CUMPLE		71,0	CUMPLE	17,1	CUMPLE
2.1N	52,0	CUMPLE		74,8	CUMPLE	15,8	CUMPLE
2.2N	48,7	CUMPLE		72,0	CUMPLE	14,1	CUMPLE
2.3N	49,9	CUMPLE		73,5	CUMPLE	15,3	CUMPLE
3.1N	54,2	CUMPLE		70,2	CUMPLE	18,7	CUMPLE
3.2N	52,6	CUMPLE		67,0	CUMPLE	15,1	CUMPLE
3.3N	52,3	CUMPLE		67,6	CUMPLE	18,1	CUMPLE
Promedio (kg/mm ²)	51,41	Promedio (kg/mm ²)		71,98	(%)	16.69	
D.E. (kg/mm ²)	1,82	D.E. (kg/mm ²)		3,33	D.E. (%)	1.73	

Fuente: Laboratorio 4 Mecánica UNI - Elaboración propia (2018). Excel 2010.

4.1.2.5. Valores de ensayos de Esfuerzos: de Fluencia, Máximo de Rotura y Elongación, muestras series 1G, 2G y 3G.

Esfuerzo de Fluencia:

➤ Se determinó en los ensayos de prueba de tracción de las nueve muestras barras corrugadas de acero Ø 3/8", galvanizadas, serie 1G, 2G y 3G, que el Esfuerzo de Fluencia promedio es 51,78 kg/mm², con una desviación estándar de 2,55 kg/mm². Valor mayor al promedio, 48,95 kg/mm², de la norma ASTM A-615, para las barras corrugadas Gado 60, según se indica:

- Esfuerzo de Fluencia, mínimo: 420 MPa. (4 283 kg/cm²) o (42,83 kg/mm²).
- Esfuerzo de Fluencia, máximo: 540 MPa. (5 506 kg/cm²) o (55,06 kg/mm²).

Esfuerzo de Máximo de Rotura:

- Se determinó en los ensayos de prueba de tracción de las nueve muestras, de las barras corrugadas de acero Ø 3/8” galvanizadas, series 1G, 2G y 3G, que el Esfuerzo de Máximo de Rotura promedio medido es $71,62 \text{ kg/mm}^2$, con su desviación estándar $3,50 \text{ kg/mm}^2$, resultado mayor al valor mínimo de $63,20 \text{ kg/mm}^2$, de lo indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.
- - Esfuerzo de Tracción, mínimo: 620 MPa. ($6\,320 \text{ kg/cm}^2$) o ($63,20 \text{ kg/mm}^2$).
El lote de muestras es aceptado.

Relación f_r/f_y :

- Es la relación entre Resistencia a la Rotura y el Límite de fluencia, en la que resultado debe ser mayor o igual a 1,25.
De las tres muestras de las barras corrugadas de acero Ø 3/8”, calidad comercial negra, series 1G, Gy 3G:
Esfuerzo de Máximo de Rotura promedio, es $71,62 \text{ kg/mm}^2$
Esfuerzo de Fluencia promedio, es $51,78 \text{ kg/mm}^2$,
- Relación f_r/f_y , es $1,38 \geq 1,25$ es aceptado, cumple con la Norma ASTM A-615.

Elongación:

- Se determinó en la prueba de tracción que las nueve muestras de las barras corrugadas de acero Ø 3/8” galvanizadas, series 1G, 2G, 3G, la elongación promedio es 15,55 %, con su desviación estándar 1,33 %, es mayor al valor mínimo de 9%, indicado en la norma ASTM A-615 para Barras de Refuerzo.
- El lote de muestras galvanizados es aceptado. Valores se presenta en la tabla n.º23.

Tabla n.º 23. Cuadro de ensayos de Esfuerzos: Máximo, de Fluencia y Elongación, muestras series 1G, 2G y 3G.

Muestras de Negro G= Galvanizado	Según ensayos de Esfuerzo de Fluencia (kg/mm ²)	Según norma ASTM A-615		Según ensayo de Esfuerzo de Rotura (kg/mm ²)	Según norma ASTM A-615	Según ensayos de Elongación (%)	Según norma ASTM A- 615 Elongación mínimo (%)
		Esfuerzo de Fluencia mínimo 42,83 (kg/mm ²)	Esfuerzo de Fluencia máximo 55,06 (kg/mm ²)		Esfuerzo Máximo de Rotura mínimo 63,20 (kg/mm ²)		
1.1G	48,4	CUMPLE		67,9	CUMPLE	X	CUMPLE
1.2G	49,2	CUMPLE		75,1	CUMPLE	14,1	CUMPLE
1.3G	48,2	CUMPLE		72,7	CUMPLE	15,8	CUMPLE
2.1G	51,7	CUMPLE		73,6	CUMPLE	14,2	CUMPLE
2.2G	53,2	CUMPLE		75,1	CUMPLE	15,9	CUMPLE
2.3G	54,5	CUMPLE		75,7	CUMPLE	18,1	CUMPLE
3.1G	53,1	CUMPLE		68,7	CUMPLE	15,2	CUMPLE
3.2G	54,7	CUMPLE		69,0	CUMPLE	15,6	CUMPLE
3.3G	53,1	CUMPLE		66,8	CUMPLE	X	CUMPLE
Promedio (kg/mm ²)	51,78	Promedio (kg/mm ²)		71,62	(%)	15,55	
D.E. (kg/mm ²)	2,55	D.E. (kg/mm ²)		3,50	D.E. (%)	1,33	

Fuente: Laboratorio 4 Mecánica UNI - Elaboración propia (2018). Excel 2010.

4.1.3. Objetivo 3: Valoración de la Inspección visual de muestras dobladas.

4.1.3.1. Valoración de la Inspección visual de muestras dobladas, series 1N, 2N, 3N.

- Muestras de la serie 1N: Cinco (5) muestras de barras corrugadas de acero Ø 3/8" x 170 mm. calidad comercial negra, después de ser dobladas 180°, se obtuvo una calidad superficial libre de fisuraciones (0 %) en la zona de la curvatura del radio exterior (5 muestras dobladas aceptadas).
- Muestras de la serie 2N: Cinco (5) muestras de barras corrugadas de acero Ø 3/8" x 170 mm. calidad comercial negra, después de ser dobladas 180°, se obtuvo una calidad superficial libre de fisuraciones (0 %) en la zona de la curvatura del radio exterior. (5 muestras dobladas aceptadas).

- Muestras de la serie 3N: Cinco (5) muestras de barras corrugadas de acero $\varnothing 3/8$ " x 170 mm, calidad comercial negra, después de ser dobladas 180°, se obtuvo una calidad superficial libre de fisuraciones (0 %) en la zona de la curvatura del radio exterior (5 muestras dobladas aceptadas).
- De las 15 muestras, series 1N, 2N y 3N, de barras corrugadas de acero $\varnothing 3/8$ " x 170 mm en calidad comercial negro, después de ser dobladas 180°, ninguna presenta fisuras en la zona de la curvatura del radio exterior y todas cumplen con los requisitos de la ASTM A-615. Valores se presenta en la tabla n.º24.

Tabla n.º 24. Cuadro de Inspección visual muestras dobladas, series 1N, 2N, 3N.

Material : Barra corrugada doblada $\varnothing 3/8$ " x 170 mm		%
Acabado superficial : Calidad comercial		
Muestra	Observación	Falla
1.1 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
1.2 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
1.3 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
1.4 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
1.5 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
2.1 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
2.2 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
2.3 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
2.4 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
2.5 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
3.1 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
3.2 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
3.3 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
3.4 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0
3.5 N	no presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	0

Fuente: Elaboración propia (2018).

4.1.3.2. Valoración de la Inspección visual de muestras dobladas, serie 1G, 2G, 3G.

- Muestras de la serie 1G: Cinco (5) muestras de barras corrugadas de acero $\varnothing 3/8"$ x 170 mm, galvanizadas, después de ser dobladas 180° , se obtuvo una calidad superficial, con 60 % de muestras con fisuraciones en la capa de galvanizado, ubicadas en la zona de la curvatura del radio exterior (3 muestras no aceptadas de 5 muestras dobladas).
- Muestras de la serie 2G: Cinco (5) muestras de barras corrugadas de acero $\varnothing 3/8"$ x 170 mm, galvanizadas, después de ser dobladas 180° , se obtuvo una calidad superficial libre de fisuraciones (0 %) en la capa de galvanizado, en la zona de la curvatura del radio exterior (5 muestras dobladas aceptadas).
- Muestras de la serie 3G: Cinco (5) muestras de barras corrugadas de acero $\varnothing 3/8"$ x 170 mm, galvanizadas, después de ser dobladas 180° , se obtuvo una calidad superficial, de 60 % de muestras con fisuraciones en la capa de galvanizado, ubicadas en la zona de la curvatura del radio exterior (3 muestras no aceptadas de 5 muestras dobladas).
- Muestras de las series 1G, 2G, 3G: Quince (15) muestras de barras corrugadas de acero $\varnothing 3/8"$ x 170 mm, galvanizadas, después de ser dobladas 180° se obtuvo una calidad superficial, con 40 % de muestras con fisuraciones en la capa de galvanizado, ubicadas en la zona de la curvatura del radio exterior (6 muestras no aceptadas de 15 muestras dobladas). Valores se presentan en la tabla n.º25.

Tabla n.º 25. Cuadro de Inspección visual, muestras dobladas, series 1G, 2G, 3G.

Material: Barra corrugada doblada $\varnothing 3/8"$ x 170 mm		%
Acabado superficial : Galvanizada		
Muestra	Observación	Falla
1.1G	Presenta 22 fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	60
1.2G	Presenta 01 fisura evidente, en zona de la curvatura exterior	60
1.3G	Presenta 01 fisura evidente, en zona de la curvatura exterior	60
1.4G	No presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	60
1.5G	No presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	60
2.1G	No presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	100
2.2G	No presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	100
2.3G	No presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	100
2.4G	No presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	100

2.5G	No presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	100
3.1 G	No presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	60
3.2 G	No presenta fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	60
3.3 G	Presenta 15 fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	60
3.4 G	Presenta 04 fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	60
3.5 G	Presenta 12 fisuras evidentes, en zona de la curvatura exterior	60

Fuente: Elaboración propia (2018). Excel 2010

4.1.4. Objetivo 4: Resultados del costo del galvanizado.

- Los costos unitarios para galvanizar una barra corrugada de acero, valores se presenta en la tabla n.º26:

Tabla n.º 26. Costo unitario de barra corrugada – Acero Arequipa (Serie 1)

Item	diámetro (mm)	diámetro (pulg)	largo (m)	perímetro (mm)	peso (kg/m)	Costo en tienda (S/.)	costo galvanizado (\$/kg)	Dólar día (S/.)	Costo barra galvanizado (S/.)	Costo total barra galvanizado (S/.)	% de aumento
1	6		9	18,8	0,222	6,17	0,5	3,3	3,30	9,47	53,43
2	8		9	25,1	0,395	10,99	0,5	3,3	5,87	16,86	53,37
3		3/8	9	29,9	0,56	15,22	0,5	3,3	8,32	23,54	54,64
4	12		9	37,7	0,888	24,36	0,5	3,3	13,19	37,55	54,13
5		1/2	9	39,9	0,994	27,26	0,5	3,3	14,76	42,02	54,15
6		5/8	9	49,9	1,552	42,04	0,5	3,3	23,05	65,09	54,82
7		3/4	9	59,8	2,235	61,72	0,5	3,3	33,19	94,91	53,77
8		1	9	79,8	3,973		0,5	3,3	59,00	59,00	
9		1 3/8	9	112,5	7,907		0,5	3,3	117,42	117,42	

Fuente: SODIMAC Dirección: San Miguel. / Elaboración:-: Propia (2018) Excel 2010.

<http://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/211249/Barras-de-Acero-5-8-/211249>

- Los costos de galvanizar todo el acero de una vivienda de 144.375 m², valores se presenta en la tabla n.º27:

Tabla n.º 27. Costo de partida del acero galvanizado

Item	Datos	Peso Total (kg)	Costo (\$ / kg)	Precio dólar al día	Costo (S/.)	%
1	Acero	5 274,16	0,95	3,30	16 534,49	65,52
2	Galvanizado en caliente	5 274,16	0,50	3,30	8 702,36	34,48
Total del acero galvanizado (S/.)					25 236,85	100,00

Fuente: Elaboración propia (2018). Excel 2010.

- El presupuesto de una vivienda de 144.375 m², valores se presenta en las tablas n.º28 y 29:

Tabla n.º 28. Presupuesto de vivienda con acero calidad comercial

Fuente: Elaboración propia (2018).

Presupuesto de Vivienda con acero calidad comercial

Item	Especialidad	Presupuesto Parcial (S/.)	Incidencia (%)
1	Arquitectura	106 332,35	48,95
2	Estructura en Acero negro	85 012,60	39,13
3	Sanitario	13 040,20	6,00
4	Eléctrico	12 858,73	5,92
Presupuesto Total (S/.)		217 243,88	100,00

Tabla n.º 29. Presupuesto de vivienda con acero galvanizado

Presupuesto de Vivienda con acero galvanizado			
Item	Especialidad	Presupuesto Parcial (S/.)	Incidencia (%)
1	Arquitectura	106 332,35	47,06
2	Estructura en acero Galvanizado	93 714,96	41,48
3	Sanitario	13 040,20	5,77
4	Eléctrico	12 858,73	5,69
Presupuesto Total (S/.)		225 946,24	100,00

Fuente: Elaboración propia (2018).

4.2. DISCUSIÓN.

En el manual de *Máquinas de cálculo de taller*, se indica que existen diferentes tipos de acero al carbono por su composición química de carbono: el acero dulce con un porcentaje de carbono de 0,25% con una resistencia mecánica 48 a 55 kg/mm²; el acero semidulce con un porcentaje de carbono de 0,35% con una resistencia mecánica 55 a 62 kg/mm²; el acero semiduro con un porcentaje de carbono de 0,45% con una resistencia mecánica 62 a 70 kg/mm²; el acero duro con un porcentaje de carbono de 0,55% con una resistencia mecánica 70 a 75 kg/mm². (Casillas, 1975) p.438. El aumento de carbono en el acero aumenta la resistencia a la tracción, pero aumenta la fragilidad al frío y hace que disminuya la tenacidad y ductibilidad.

El acero corrugado Grado 60, ASTM A-615 en su norma, no indica el contenido de porcentaje de carbono, por otro lado, en el estudio publicado en la *Revista del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG -UNMSM* el análisis químico de la muestra de acero grado 60 que se ha efectuado con un espectrógrafo de emisión atómica, obteniéndose el resultado del Carbono, de 0,386 %, realizada por (Vega, 1999) p.17. Además, el acero corrugado Grado 60, ASTM A-615, tiene un Esfuerzo de Tracción, mínimo: 620 MPa. (6 320 kg/cm²) o (63,20 kg/mm²). Se puede afirmar que el acero de la barra corrugada, es un acero semi-dulce por el porcentaje de carbono en su composición química.

También en el presente estudio se indica que la fragilidad en algunos aceros durante su galvanización, pero es poco frecuente y es casos de aceros envejecidos por deformación, estos tienden a aumentar su dureza y disminuir su ductibilidad con el tiempo. Esto está relacionado con el método de fabricación del acero (extrucción, laminado). Se debe a la segregación de ciertos elementos como el nitrógeno, que se acelera cuando el material sufre una deformación plástica en frío y después se somete a un calentamiento moderado, otras operaciones que también lo ocasionan son: el punzonado en frío, el doblado severo, el corte en cizalla, Para evitar este riesgo se toma las siguientes precauciones, y se debe seleccionar aceros al carbono inferior al 0,25 %. El acero ASTM A-615 grado 60, tiene 0,386 % como se indica anteriormente, por lo tanto va a sufrir de fragilización. La norma ASTM –A767, indica que las barras de refuerzo después de la inmersión del baño de galvanizado, se le debe dar un baño con cromato, y que durante el curado la superficie de la barra corrugada galvanizada reacciona con la pasta del cemento alcalino formando sales de zinc estables e insolubles con hidrogeno. Se indica que en estudios de laboratorio el hidrogeno no permea el revestimiento del zinc al acero, que se encuentra bajo su protección y la reacción cesa al momento que el concreto se endurece. (American Galvanizers Association, 2011), p.3.

Entonces, siempre se debe solicitar una prueba de fragilización, según con la norma ASTM 143/143M. (Práctica para la protección contra la fragilidad de productos de acero galvanizado en caliente y procedimientos para detectar la fragilidad).

Por otro lado, se hace una comparación entre trabajo en frío y en caliente, para el doblado de la barra corrugada, según se indica en *Mecanismo de Endurecimiento de Metales*: (Neira, 2015) p.12.

Trabajo en frío

Se crea endurecimiento por deformación

Aparecen dislocaciones (defectos en la red cristalina) y estas quedan en el material.

El material se endurece.

Trabajo en caliente

No se crea endurecimiento por deformación.

Aparecen dislocaciones (defectos en la red cristalina) y estas desaparecen por difusión.

El material no endurece. Según indica (Neira, 2015). p.12.

Por lo que, es mejor efectuar trabajos de doblado en caliente.

4.3. CONCLUSIONES

Tras la realización del galvanizado en caliente de barras corrugadas de acero de diámetro 3/8” y de sus pruebas de ensayo de tracción en laboratorio y de su doblado, es posible concluir:

- Por lo estudiado, se puede afirmar que la influencia del galvanizado en caliente, no modifica las propiedades mecánicas de la barra corrugada Ø 3/8” galvanizada, y cumple con los requerimientos de la Norma ASTM A-615, por lo que se recomienda su uso para prevenir la corrosión en estructuras de concreto armado.
- Con respecto al espesor de la capa del galvanizado en caliente, en barra corrugada de acero Ø 3/8” galvanizado, cumple con la norma de espesor mínimo de revestimiento ASTM A-767 para Barras corrugadas, que es 86 µm. (100 µm.= 0,1 mm).
- Con respecto a la resistencia a la tracción, en las muestras de barra corrugada de acero Ø 3/8”, galvanizado, comparando con las muestras de barras corrugadas de acero Ø 3/8”, en calidad comercial negro, se determina, que, con el proceso de galvanizado en caliente de las barras corrugadas de acero, se pierde el 0,71 % de Esfuerzo de Fluencia y el valor promedio obtenido de 51,78 kg/mm², que está por encima del valor promedio, que es 48,95 kg/mm², del Esfuerzo de Fluencia según la norma ASTM A-615.
- Con respecto a la resistencia a la tracción, en las muestras de barra corrugada de acero galvanizado, comparando con las muestras de barras corrugadas de acero Ø 3/8”, en calidad comercial negro, se determina, que, con el proceso de galvanizado en caliente de las barras corrugadas de acero Ø 3/8”, se pierde el 0,50 % del Esfuerzo de Máximo de Rotura y el valor promedio obtenido de 71,62 kg/mm², que está por encima del valor mínimo que es 63,20 kg/mm², de Máximo de Rotura, según la norma ASTM A-615.
- Con respecto de la Elongación, en las muestras de las barras corrugadas de acero Ø 3/8” galvanizado comparado con las barras corrugadas de acero Ø 3/8” en calidad comercial negro, se determina, que, con el proceso de galvanizado en caliente de las barras corrugadas de acero Ø 3/8”, se pierde el 3,65 % en el promedio de Elongación con relación a las barras corrugadas de acero de diámetro 3/8”, en calidad comercial negro, según la norma ASTM A-615. Además se evidencia por la forma de la fractura en las muestras ensayadas, que esta es, una fractura dúctil, ya que presenta deformación plástica y reducción de sección antes de la rotura.

Figura n.º 55. Muestras galvanizadas con fractura dúctil.



Fuente: Elaboración propia (2018).

- Relación f_r/f_y , de las muestras de las barras corrugadas de acero $\varnothing 3/8$ " galvanizado $1,38 \geq 1,25$ es aceptado, cumple con la Norma ASTM A-615.
- Con respecto al ensayo de doblado, de la barra corrugada de acero galvanizado, se evidencia que: De las 15 muestras de las barras corrugadas de acero $\varnothing 3/8$ "x 170 mm galvanizadas, serie 1G, 2G y 3G, se obtuvo un 40% de muestras con fisuras después de ser dobladas 180° . Es aceptado y se puede colocar zinc en spray, o pintura rica en zinc.

Con respecto al costo de la barra corrugada de acero galvanizado.

- El costo del galvanizado de un acero por unidad, se eleva en promedio 54.04% con respecto al valor de una barra corrugada de acero comprado en un distribuidor por unidad.
- El costo de la partida de acero para la construcción de una vivienda de $144,375 \text{ m}^2$, se eleva de 85 012,30 soles (acero sin galvanizado) a 93 714,96 soles (acero galvanizado) lo que representa un aumento de 10,24%.

- El costo del presupuesto total para la construcción de una vivienda de 144,38 m², se eleva de 217 243,88 soles (partida de acero sin galvanizado) a 225 946,24 soles (partida de acero con galvanizado), representa un aumento de 4%.

4.4. RECOMENDACIONES

- Si bien se indica que el zinc es un buen revestimiento protector, se recomienda a investigadores nacionales hacer un estudio de prueba de envejecimiento acelerado con niebla salina para comprobar su durabilidad a más tiempo de exposición y comprobar si efectivamente cumple lo indicado.
- La barra corrugada de acero galvanizado, recomendada a los proyectistas y constructores para el doblado es de SIDERPERÚ, 0 % fisuras.
- Con respecto al ensayo de doblado, de la barra corrugada de acero galvanizado, donde se obtuvo un 40% de muestras con fisuras después de ser dobladas 180°, se recomienda a los constructores de viviendas en sectores costeros, realizar el doblado antes del galvanizado, para cuando se desee hacer estribos, y mantener el radio de 4d, en columnas de sección 0,15 x 0,25 cm.
- Si bien se indica en el estudio de la AGA, que la adherencia es fuerte entre la barra corrugada del acero galvanizado y el concreto, se recomienda a investigadores nacionales, hacer estudios y ensayos, para determinar si efectivamente se cumple lo indicado.
- Se recomienda crear un comité de normas para proponer el uso de barras corrugadas galvanizadas, como un componente del acero estructural en las armaduras de concreto armado.
- Se recomienda a otros investigadores nacionales, de la especialidad de ingeniería industrial y/o negocios, hacer un estudio de inversión para ver la factibilidad de hacer una línea de negocios de aceros galvanizados longitudinales y estribos galvanizados en empresas del sector retail y mejoramiento del hogar, para ser más cercano la distribución.

REFERENCIAS

- 222, A. C. (2001). *Protection of Metals in Concrete Against Corrosion*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- A.G.A. (2016). *Inspección de productos de acero galvanizados en caliente*. U.S.A.: AGA.
- ADELCA C.A. (2015, Diciembre 08). Retrieved from <https://www.manualdeobra.com/blog/dobladodevarillas>
- AGA. (2015). <https://galvanizeit.org>. Retrieved from https://galvanizeit.org/uploads/publications/Performance_PubSpanish.pdf
- Aguilar, J. ((s.f.)). <http://recursosbiblio.url.edu.gt>. Retrieved from <http://recursosbiblio.url.edu.gt/Libros/2013/cml/6-Oxidacion.pdf>
- Amador, A. (2015, 01 23). <https://masqueingenieria.com>. Retrieved from <https://masqueingenieria.com/blog/corrosion-acero-hormigon-armado/#more-877>
- American Galvanizers Association, A. (2011). *Hip Dip Galvanized Reinforcing Steel- A Especificer's Guide*. Retrieved from https://galvanizeit.org/uploads/publications/Acero_Refuerzo_Galvanizado_Caliente.pdf
- Arequipa Aceros. (2016, Abril 02). *Fierro Corrugado ASTM A-615 Grado 60*. Retrieved from <http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/docs/HOJA-TECNICA-FIERRO-CORRUGADO-A615.pd>
- ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DEL ZINC, L. (2015). *Guía para el Galvanizado en Caliente*. Perú: LATIZA.
- Association American Galvanizers, A. (2015). *Guía del Especificador*. U.S.A.: AGA.
- Camacho, F. (2001). *Estudio Electroquímico de aceros aleados al manganeso embebidos en morteros para la determinación de su resistencia a la corrosión*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Casillas, A. (1975). *Máquinas de cálculo de taller*. España: Autor- Editor.
- Castro, Y. (2010, setiembre). *Optimización de aceros corrugados*. Retrieved from <https://es.slideshare.net/yoberc/optimizacin-aceros>
- CEMESA. ((s.f.)). *Notas Informáticas V5/15*. San Jose de Costa Rica: CEMESA Galvanizadora.
- CEMESA. (s.f.). *Galvanizado en Caliente*. San José de Costa Rica: CEMESA.
- Cerdán, W. (2012). *Estudio del Concreto de Mediana a Alta Resistencia con Aditivo Anticorrosivo y Cemento Portland tipo I*. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- CFGS Construcción Metálica. (s.f.). *Diseño de Construcciones Metálicas*. Retrieved from UT2: resistencia de Materiales.Tracción: <http://roble.pntic.mec.es/jlec0009/pdfs/UT02%20Traccion.pdf>

- Concepción, E. (2013-2014.). *Informe Nacional de Calidad del Aire, 2013-2014*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Correa, C. R. (2015). *Oxidación cíclica en tres aceros utilizados en calderas a una temperatura de 600° y 700°C a condiciones variables*. Pereira- Colombia: UTDP.
- Correo. (2015, junio 06). Un Peruano promedio emite 4,7 toneladas de CO₂ al año. *Diario Correo*, p. 20.
- CRC. (s.f.). <http://peru.top-free-ad.com/>. Retrieved from <http://peru.top-free-ad.com/negocios-y-oficinas-crc-galva-brillo-galvanizado-en-frio-al-98-zinc-spray-400ml.5521.html>
- Dominguez, J. (2009, Noviembre 9). *Corrosión y Desgaste*. Retrieved from UNEFA-SANTA TERESA: <http://josefinadcorrosion.blogspot.com/2009/11/corrosion-atmosferica.html>
- Duery, L. (1988, Setiembre 01). *Creces Educación*. Retrieved agosto 18, 2018, from www.creces.cl
- El Peruano, N. L. (2006, junio 10). Retrieved from http://www.urbanistasperu.org/rne/pdf/RNE_parte%2009.pdf
- Escoda, S. (s.f.). *Manual Practico de Ventilacion*. Barcelona: S&P.
- Espinoza, E. (2017, setiembre 26). CAPECO: El 70% de viviendas en Lima son informales y vulnerables a un terremoto. (W. Ángulo, Interviewer) Lima, Lima, Perú.
- Francia, S. .. (2003). La Corrosión, su tradición y alcances, . *Revista del Instituto de Investigación Materiales , del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, Perú*, 1-8.
- Gamonal, W. (s.f). *Uso de las Normas ASTM en Corporación Aceros Arequipa S.A*. Lima: Aceros Arequipa.
- GYMSA. (2008). www.gymsa.cl. Retrieved from http://www.avgal.net/pdfs/Acero_galvanizado_como_refuerzo_concreto.pdf
- Hernández. ((s.f.)). <http://catarina.udlap.mx>. Retrieved from http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/hernandez_m_js/capitulo1.pdf
- Infante, O. (2003, octubre / noviembre). *Sales y Compuesto Ltda. Galvanotécnica*. Retrieved from <http://www.salesycompuestos.cl/articulos1.htm>
- López, D. (2013, JUNIO 15). *Blog de la Investigación Metalurgica IK4-AZTERLAN*. Retrieved from Efecto de la fragilización por hidrógeno de metales sometidos a tensión: <http://azterlan.blogspot.com/2013/07/efecto-de-la-fragilizacion-por.html>
- Martínez, I. G. (2014). “Estudios Preliminares para establecer nuevos indicadores de pasividad basados en técnicas no destructivas en el seguimiento de tratamientos de extracción electroquímicas de cloruros”. *Congreso Latinoamericano REHABEND* (p. 354). Santander : GTED-UC.

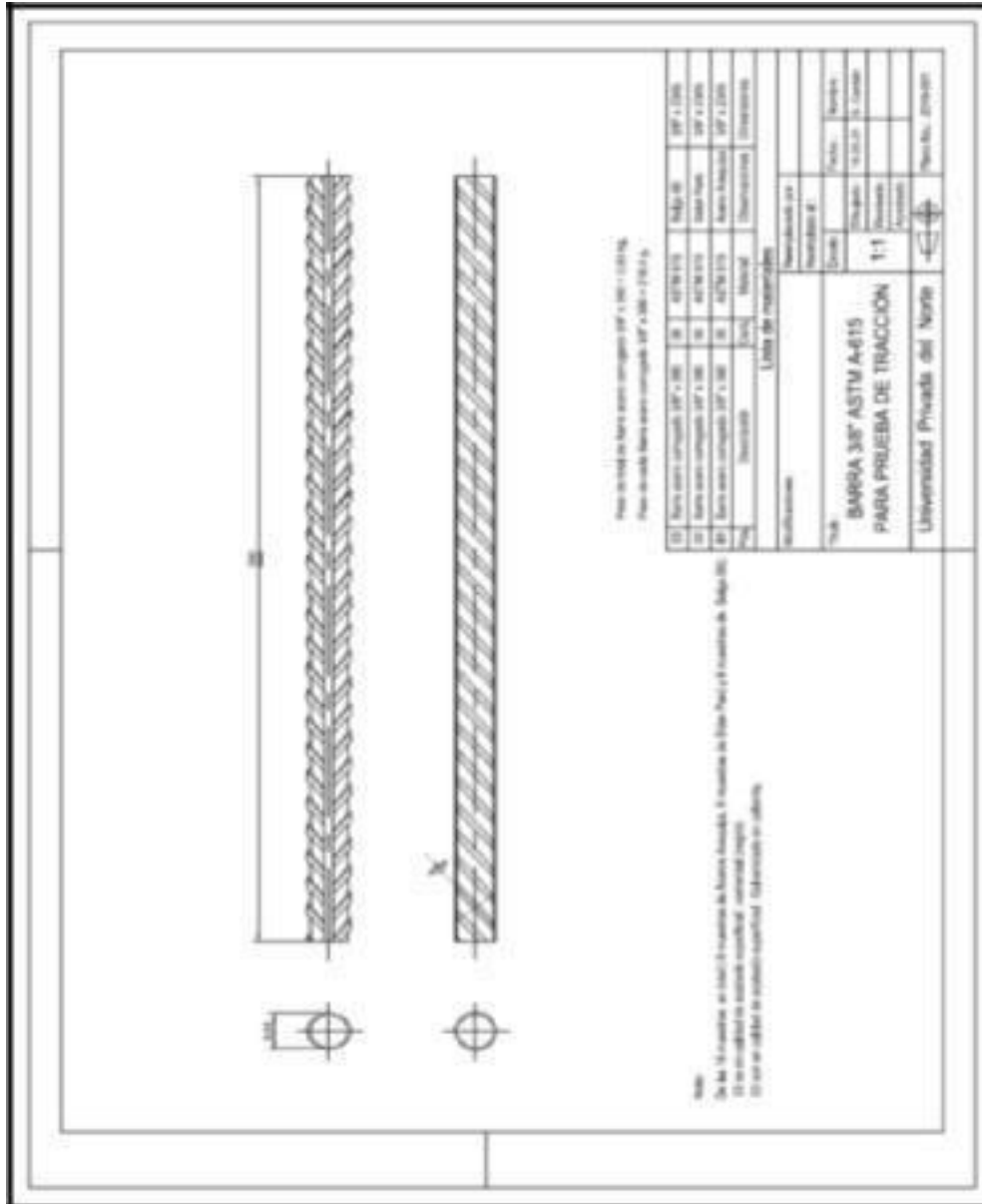
- Moreno, E. (2008). *Corrosión en Armadura en Estructuras de Hormigón*. Madrid-España: Universidad San Carlos III de Madrid.
- Moreno, E., Serrano, D., & Cob, E. (2005). Barras de acero galvanizado: Una opción contra la corrosión inducida por la carbonatación, d. *Ingeniería Revista Académica*, mayo-agosto, año/vol.9, número002, 17-24.
- MTC. (2008). *Manual de especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (EG-CBT 2008)*. Lima: MTC.
- Neira, D. N. (2015, mayo 28). *Metalografía Universidad Tecnológica de Pereira*. Retrieved from Mecanismo de Endurecimiento de Metales: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/8-otros-mecanismos-de-endurecimiento-de-metales/>
- Perez, A. (2014, junio 24). *Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica*. Retrieved from http://www.mecapedia.uji.es/limite_de_fluencia.htm
- Perez, J. (s.f). Patología de Estructura de Concreto Armado. *ETASAC-Universidade da Coruña*, 1-35.
- Prontuario. (s.f). Retrieved from http://www.apta.com.es/prontuario/Capitulo_6.htm
- Rauchle, F., & Diaz, M. (1987). *Aspectos Físicos Químicos de la Corrosión Ambiental*. Lima: PUCP.
- Rodriguez, J. M. (2015). *Caracterización en la Cámara de Humedad del Comportamiento Anticorrosivo en Tubería Galvanizada*. Risaralda- Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Román, O. e. (2013). *Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2011*. Lima: Ministerio del Ambiente (SENAMHI).
- Salazar, J. (2015). *Introducción la fenómeno de la corrosión: tipos ,factores que influyen para la protección de materiales*. Costa Rica: Tecnología en Marcha Vol 2 N° 3 .
- Swisscontact. (2000). *Estudio de Saturación en Lima y Callao*. Lima: Comité para la iniciativa de aire limpio para Lima y Callao.
- Vega, e. a. (1999). *REALIZACIÓN DE LA TABLA TECNOLÓGICA DE UN ACERO GRADO 60*. Lima: Departamento Académico de Ingeniería Metalúrgica - UNMSM.
- Vela, D. (2012, 05 31). *www.latiza.com*. Retrieved from <http://www.latiza.com/wp-content/uploads/sites/10/2017/02/GalvanizadoMayo2012.pdf>
- Viloria R, L. (s.f.). *www.avgal.net*. Retrieved from http://www.avgal.net/pdfs/Acero_galvanizado_como_refuerzo_concreto.pdf
- Woolley, T. (2008). *La Galvanización y la Construcción Sostenible-Guía para Proyectistas*. Madrid - España: AGA;ATEC.

- XYLAZEL. (2008). *http://www.xylazel.com*. Retrieved from
http://www.xylazel.com/sites/default/files/product/2015/03/85_ft_galvanizado frio.pdf
- Yeomans, S. (2004). *Galvanized Steel Reinforcement in Concrete*. Sydney: Elsevier Science.
- Zapata, J. M. (2015, Diciembre 12). *Metalografía - Universidad Tecnológica de Pereira*. Retrieved from *corrosión y procesos de corrosión*: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/12-corrosion-y-procesos-de-corrosion/>

ANEXOS

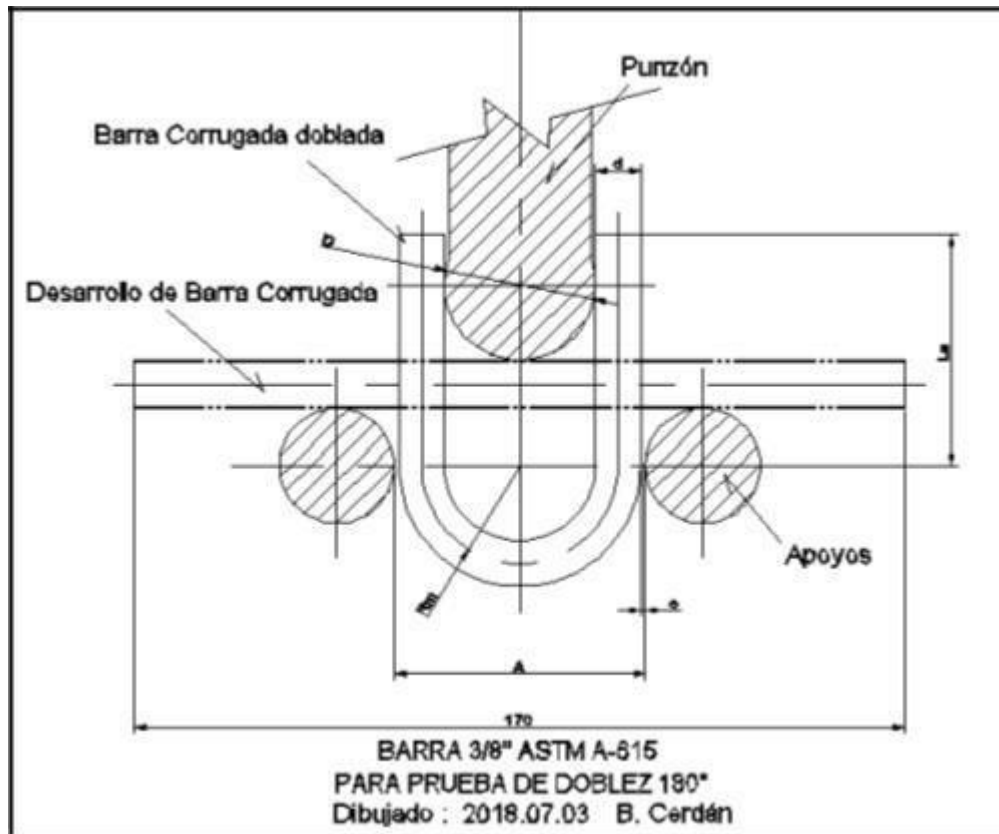
Anexo n.º 1. Plano con la longitud de muestra para prueba de Tracción.	119
Anexo n.º 2. Plano para determinar longitud de muestra para prueba de doblado.	120
Anexo n.º 3. Plano con la longitud de muestra para prueba de Doblado.	121
Anexo n.º 4. Carta solicitando servicio de galvanizado en caliente enviado a la empresa TUPEMESA	122
Anexo n.º 5. Carta de la UPN enviada al Laboratorio n°4 de Mecánica de la UNI	123
Anexo n.º 6. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 1.1 N	124
Anexo n.º 7. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 1.2 N.	125
Anexo n.º 8. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 1.3 N.	126
Anexo n.º 9. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 1.1G.	127
Anexo n.º 10. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 1.2 G.	128
Anexo n.º 11. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 1.3 G. ...	129
Anexo n.º 12. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 2.1 N	130
Anexo n.º 13. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 2.2 N.	131
Anexo n.º 14. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 2.3 N.	132
Anexo n.º 15. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 2.1 G.	133
Anexo n.º 16. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 2.2 G. ...	134
Anexo n.º 17. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 2.3 G. ...	135
Anexo n.º 18. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 3.1N.	136
Anexo n.º 19. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 3.2 N.	137
Anexo n.º 20. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 3.3 N.	138
Anexo n.º 21. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 3.1G	139
Anexo n.º 22. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 3.2 G. ...	140
Anexo n.º 23. Gráfico del Diagrama tensión deformación de las prueba, serie 3.3 G. ...	141
Anexo n.º 24. Informe Técnico Lb4-0771-2018, Hoja 1.	142
Anexo n.º 25. Informe Técnico Lb4-0771-2018, Hoja 2.	143
Anexo n.º 26. Máquina de prueba de tracción marca HTL con su sticker de calibración.	144
Anexo n.º 27. Medidor de espesores de revestimientos, marca Elcometer 456, con su .	145
Anexo n.º 28. Metrado de estructuras de acero en columnas y losa aligerada.	146
Anexo n.º 29. Metrado de estructuras de acero en escalera y en cisterna.	147

Anexo n.º 1. Plano con la longitud de muestra para prueba de Tracción.



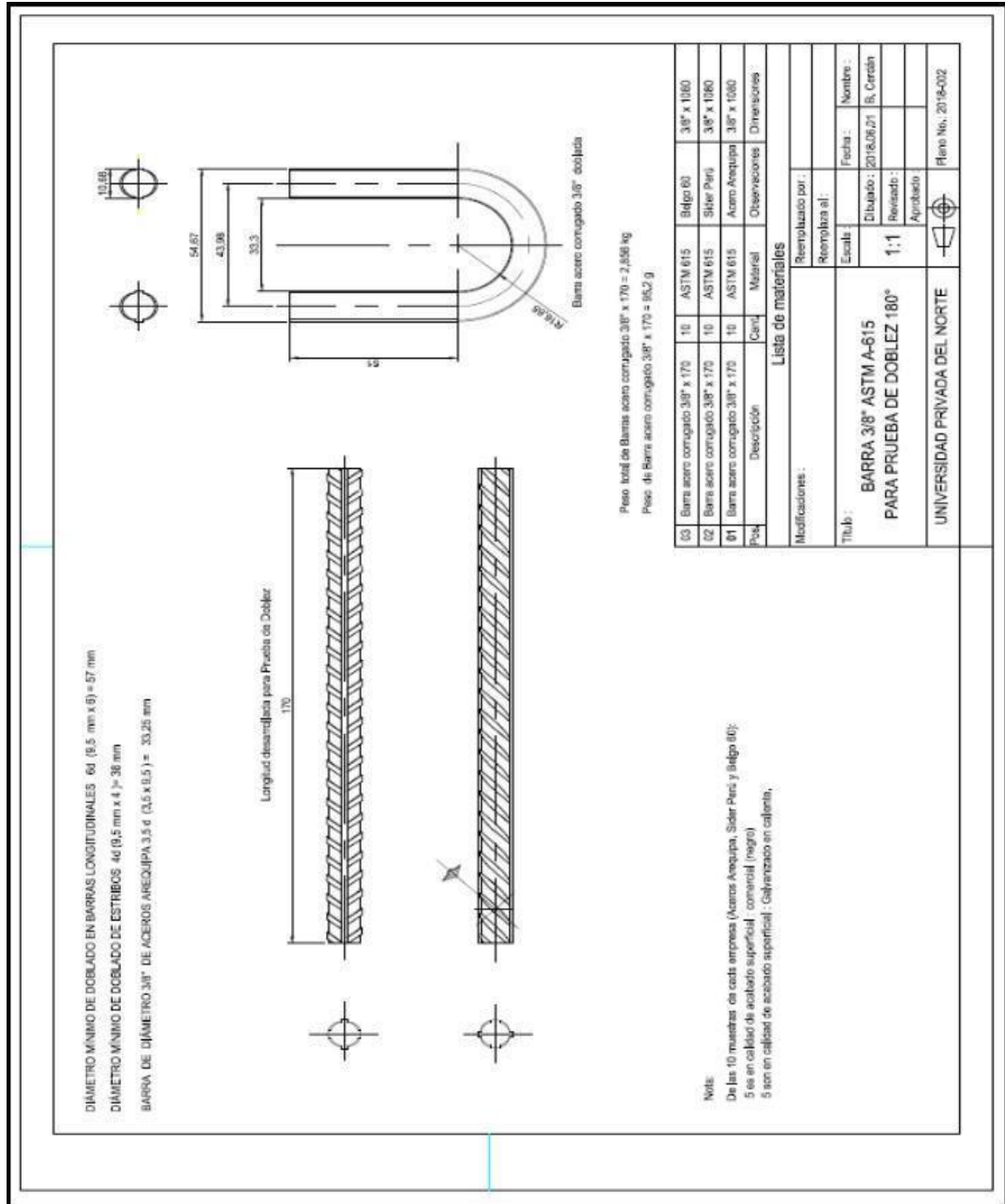
Fuente: Elaboración propia (2018). AutoCad 2014.

Anexo n.º 2. Plano para determinar longitud de muestra para prueba de doblado.



Fuente: Elaboración propia (2018). Programa AutoCad 2014.

Anexo n.º 3. Plano con la longitud de muestra para prueba de Doblado.



Fuente: Elaboración propia (2018).

Anexo n.º 4. Carta solicitando servicio de galvanizado en caliente enviado a la empresa
TUPEMESA.

Lima, 07 de Junio del 2018

Sr. Jefe Gestor Comercial Galvanizado
TUPEMESA.
Ing°. Bruno Rubio.

Presente

Mi estimado señor:

Me presento, soy el Bachiller de la carrera de Ingeniería Civil, Baldomero Germán Cerdán Chávez identificado con DNI N° 25519380 en calidad de egresado y tesista, con nuevo número de código N00064448, en la UNIVERSIDAD PERUANA DEL NORTE, y quién está preparando su tesis en el tema intitulado, "INFLUENCIA DEL GALVANIZADO, EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO, SEGÚN NORMA ASTM A-615 GRADO 60, EN BARRAS CORRUGADAS DE Ø 3/8", para lo cual solicita el servicio de galvanizado en caliente, del siguiente material:

- 1.- 15 barras corrugadas de acero diámetro 3/8" x 390 mm, de los cuales, son:
05 barras de Aceros Arequipa, 05 barras de Siderperú, 05 barras de Belgo 60.
Peso = 3,25 kg.
- 2.- 15 barras corrugadas de acero diámetro 3/8" x 170 mm, de los cuales, son:
05 barras de Aceros Arequipa, 05 barras de Siderperú, 05 barras de Belgo 60.
Peso = 1,42 kg.

Peso total ítem 1+ 2 =, 4,67 kg.
Favor emitir un certificado del material galvanizado.

De tal manera pido a usted, gentilmente, acceder y apruebe mi solicitud, agradeciendo de antemano su desinteresado apoyo y mantener una cordial relación en el futuro.

Atentamente,



Baldomero Germán Cerdán Chávez
Bachiller en Ing. Civil
Jr. M. Aranguri 624- Lima 07
940405893
988124547

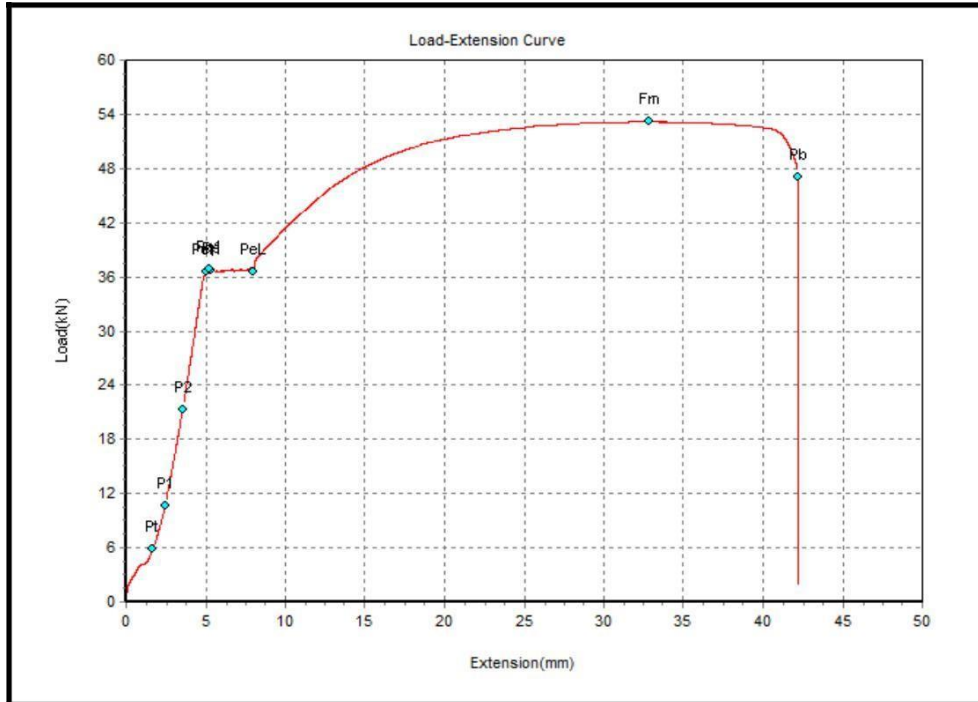
Fuente: Elaboración propia (2018).

Anexo n.º 5. Carta de la UPN enviada al Laboratorio nº4 de Mecánica de la UNI .



Fuente: Universidad Privada del Norte (2018).

Anexo n.º 6. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 1.1 N

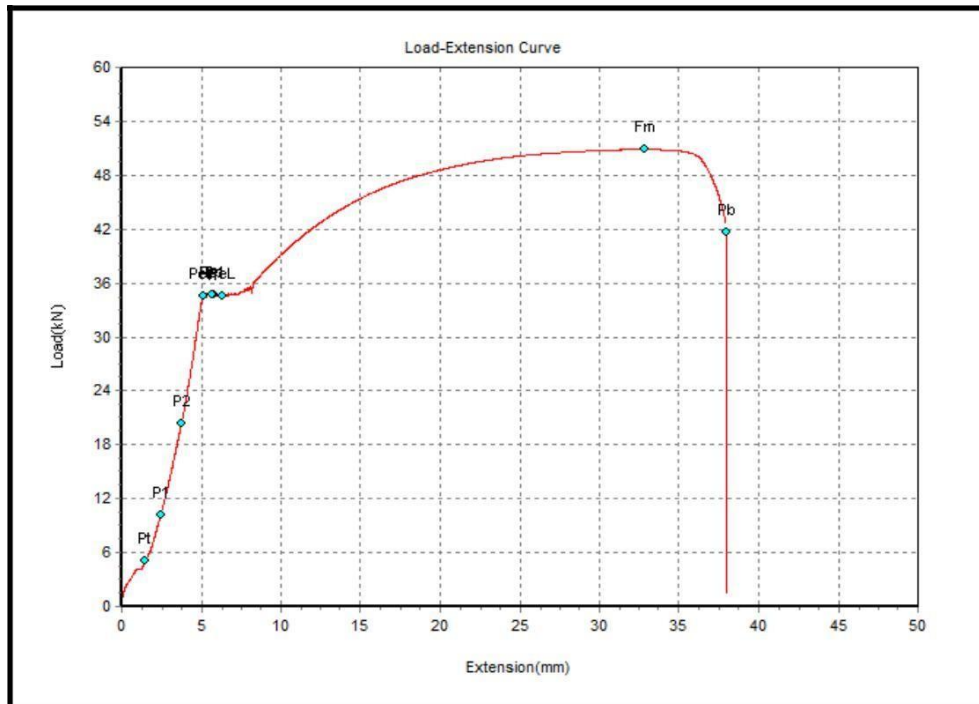


Fuente: Laboratorio n.º 4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 1.1N

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	36,91	(3 764)
Fuerza Máximo de Rotura	53,16	(5 421)

Anexo n.º 7. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 1.2 N.

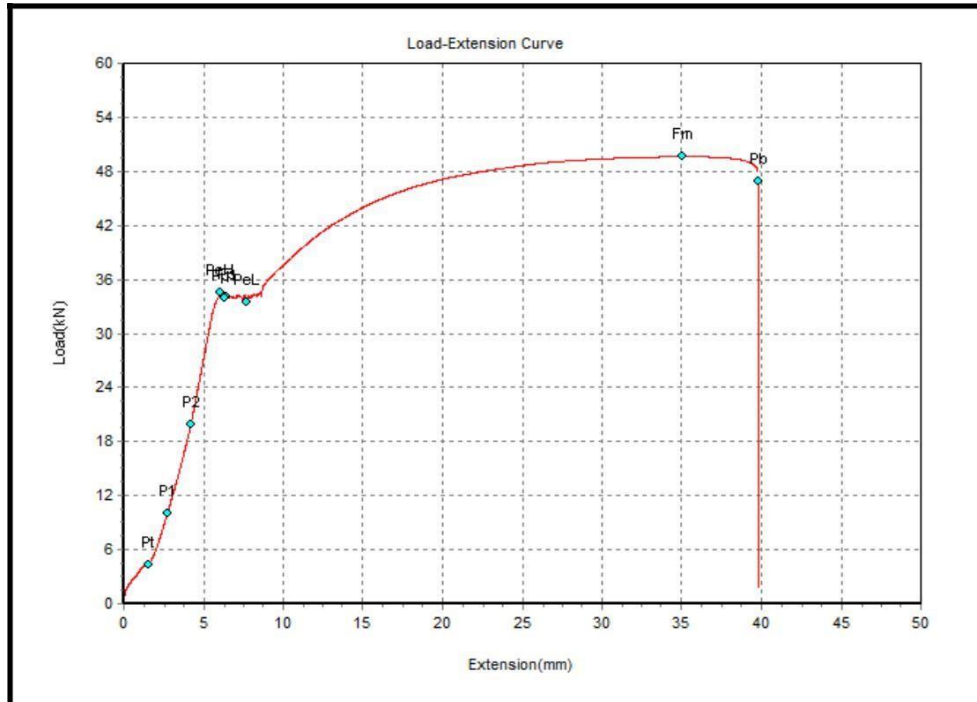


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 1.2N

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	35,60	(3 630)
Fuerza Máximo de Rotura	50,86	(5 186)

Anexo n.º 8. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 1.3 N.

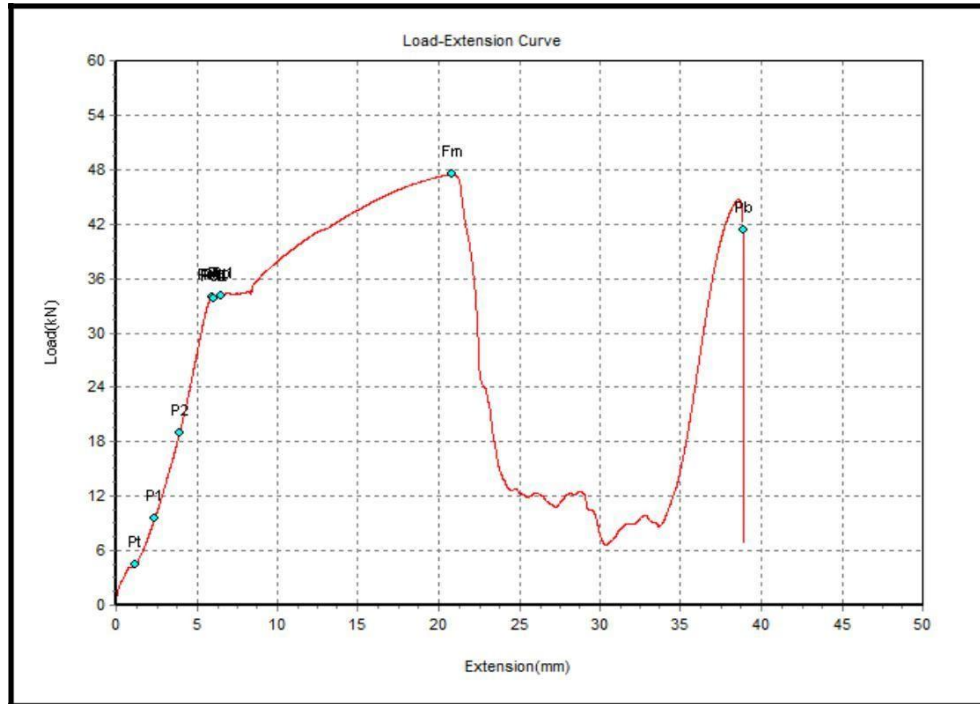


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 1.3N

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	34,84	(3 553)
Fuerza Máximo de Rotura	49,64	(5 062)

Anexo n.º 9. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 1.1G.

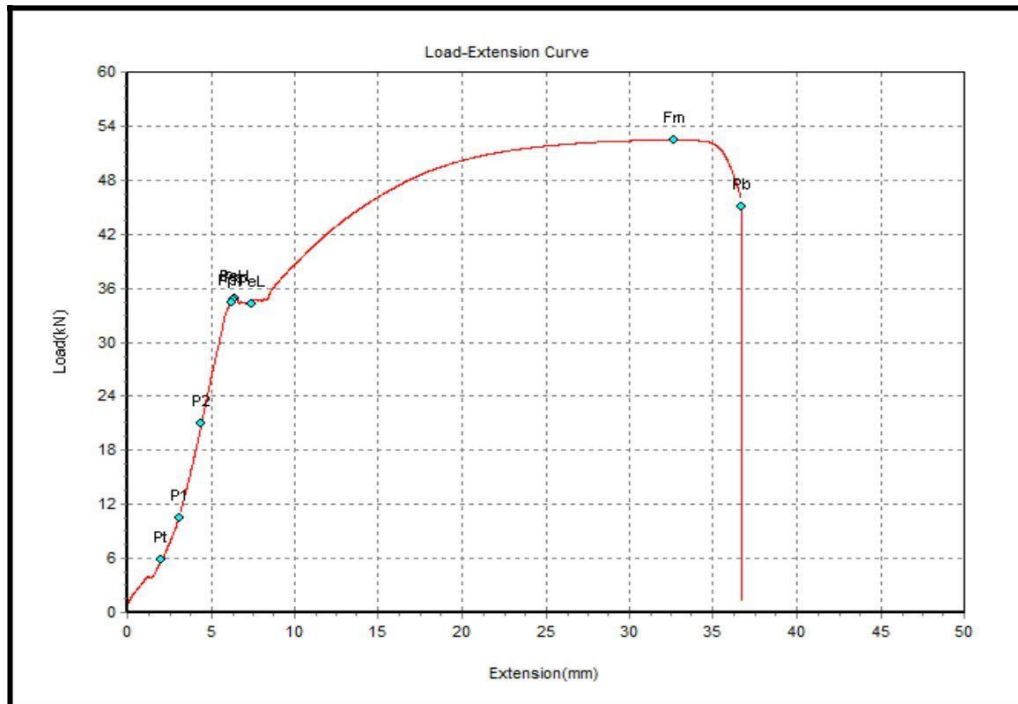


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 1.1G

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	33,81	(3 448)
Fuerza Máximo de Rotura	47,43	(4 837)

Anexo n.º 10. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 1.2 G.

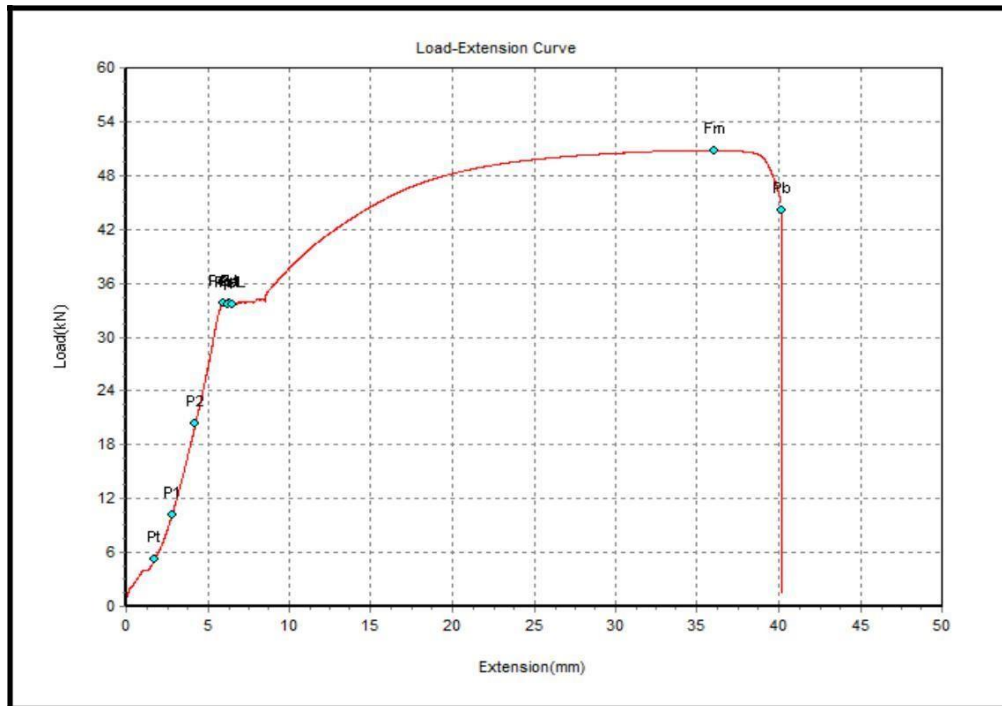


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 1.2G

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	34,38	(3 506)
Fuerza Máximo de Rotura	52,45	(5 348)

Anexo n.º 11. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 1.3 G.

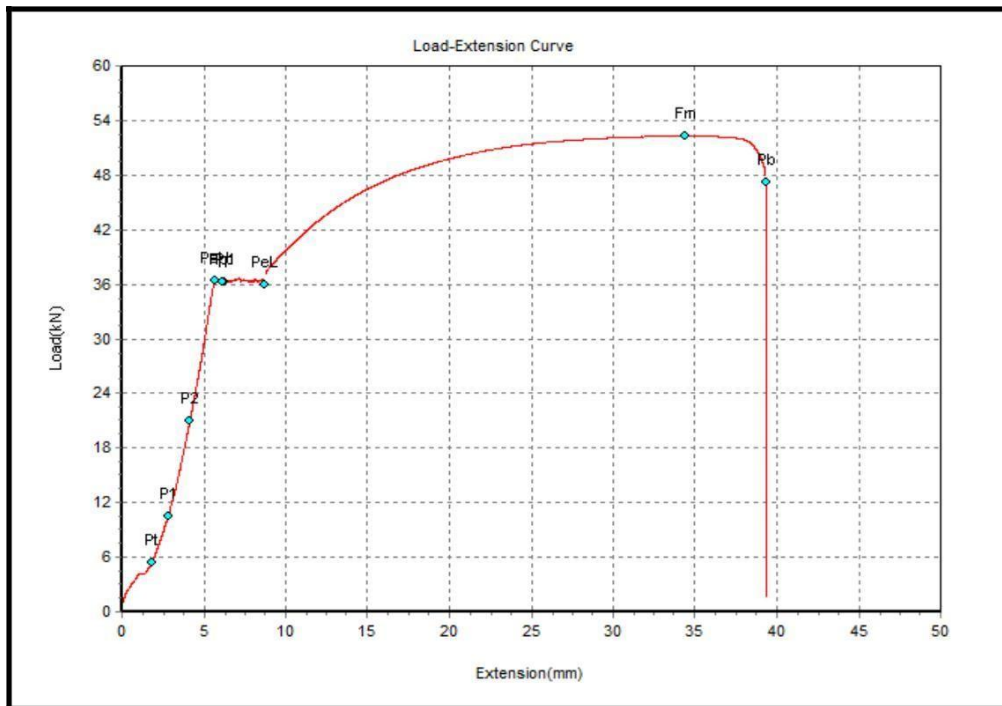


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 1.3G

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	33,71	(3 437)
Fuerza Máximo de Rotura	50,79	(5 179)

Anexo n.º 12. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 2.1 N

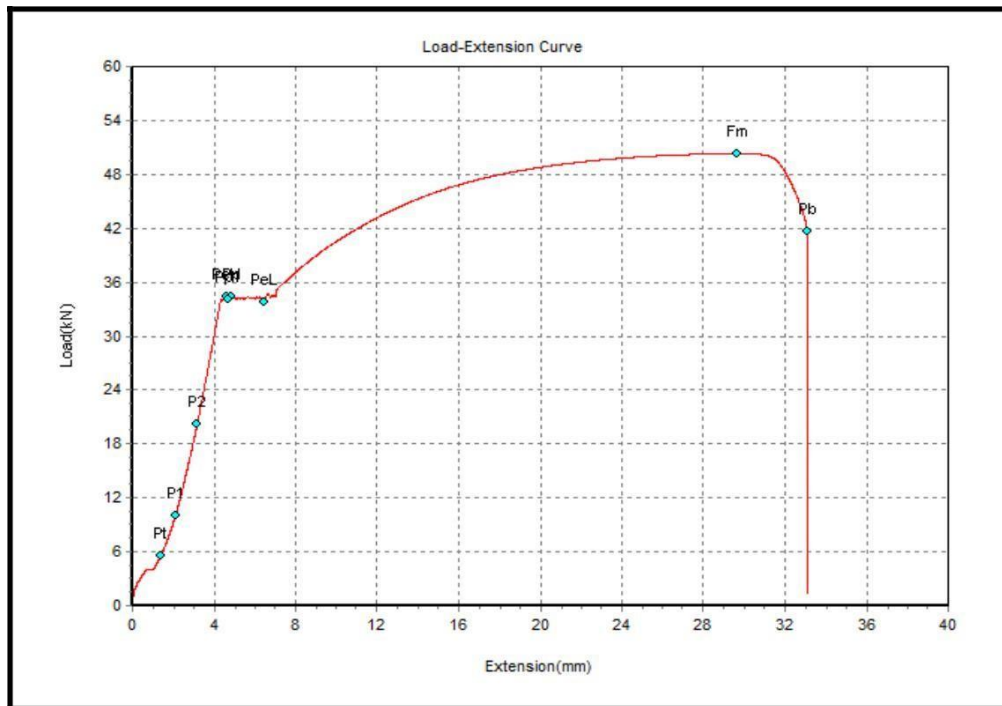


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 2.1N

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	38,25	(3 900)
Fuerza Máximo de Rotura	48,22	(4 917)

Anexo n.º 13. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 2.2 N.

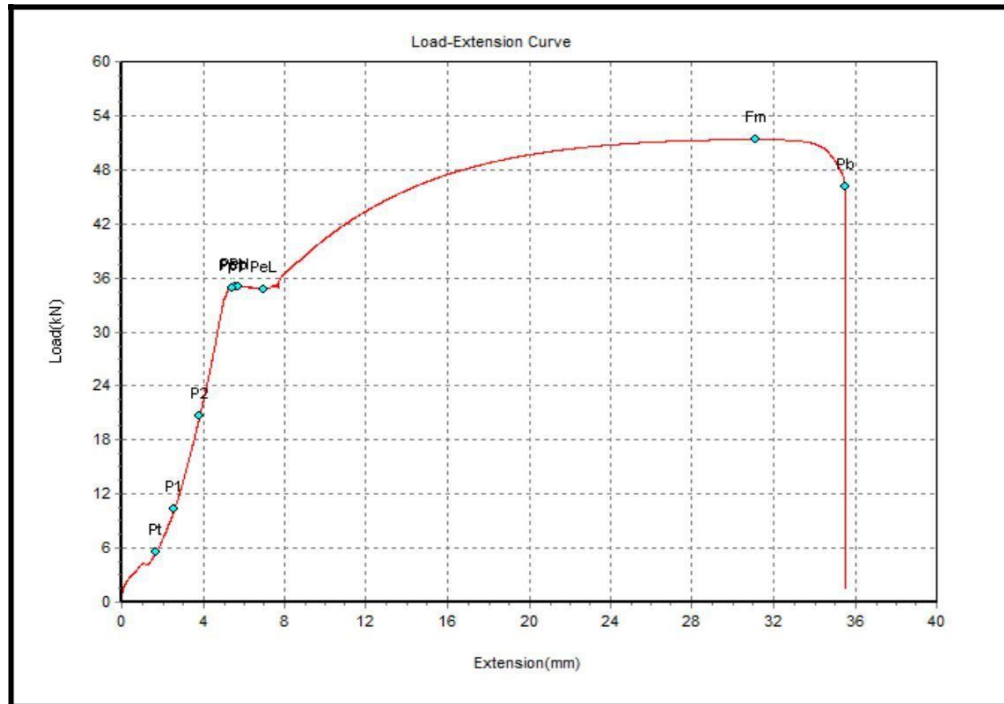


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 2.2N

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	34,04	(3 471)
Fuerza Máximo de Rotura	50,30	(5 129)

Anexo n.º 14. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 2.3 N.

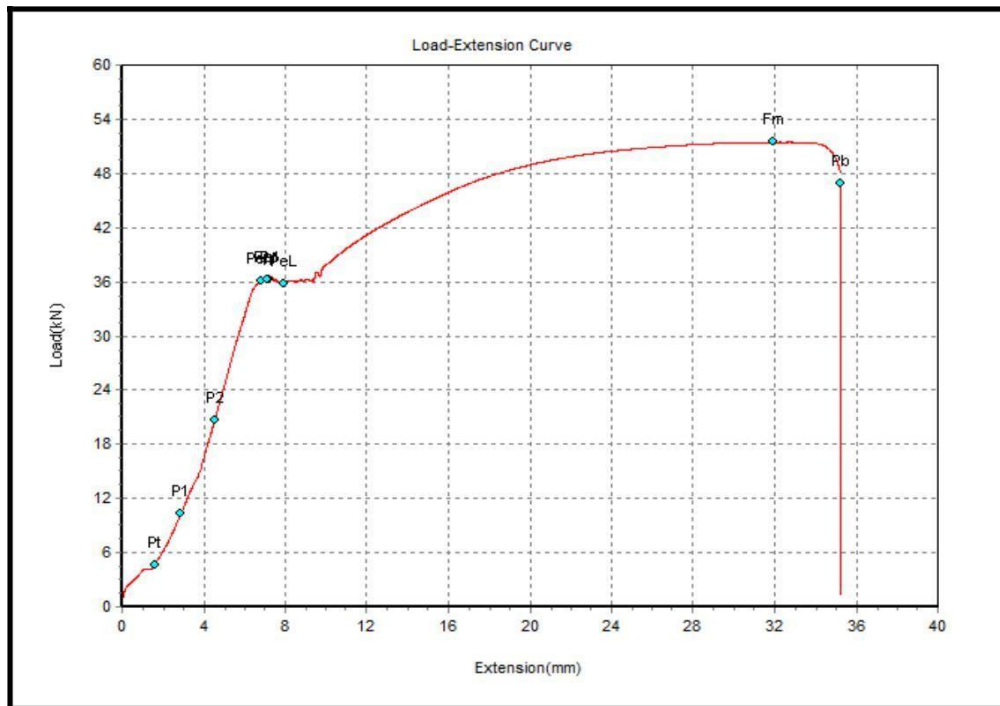


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 2.3N

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	34,87	(3 556)
Fuerza Máximo de Rotura	51,35	(5 236)

Anexo n.º 15. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 2.1 G.

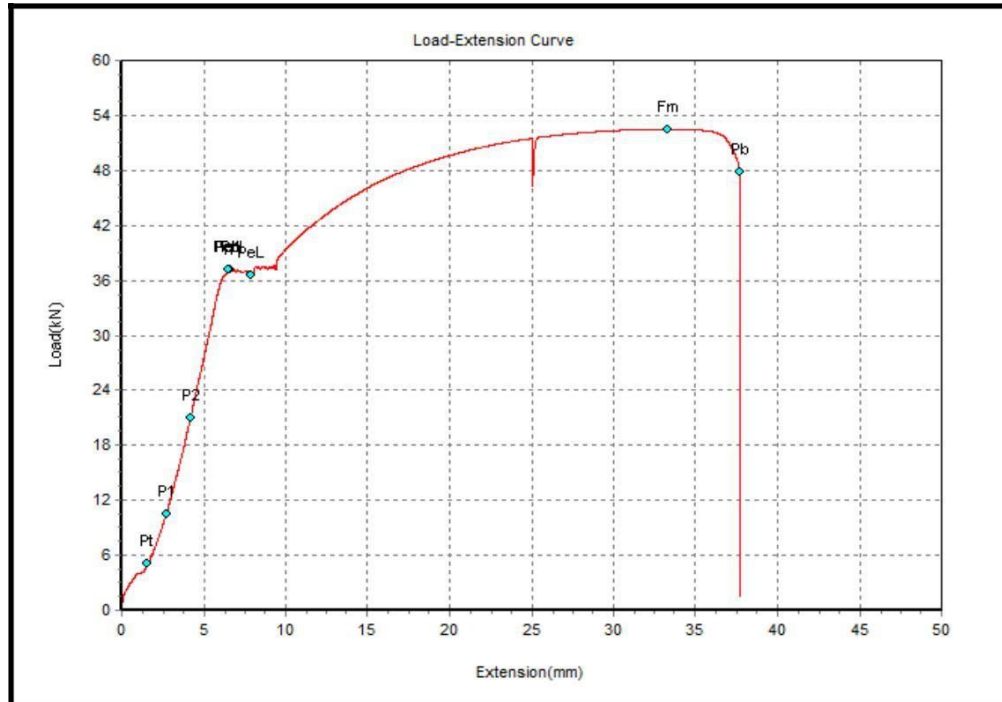


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 2.1G

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	36,14	(3 685)
Fuerza Máximo de Rotura	51,44	(5 245)

Anexo n.º 16. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 2.2 G.

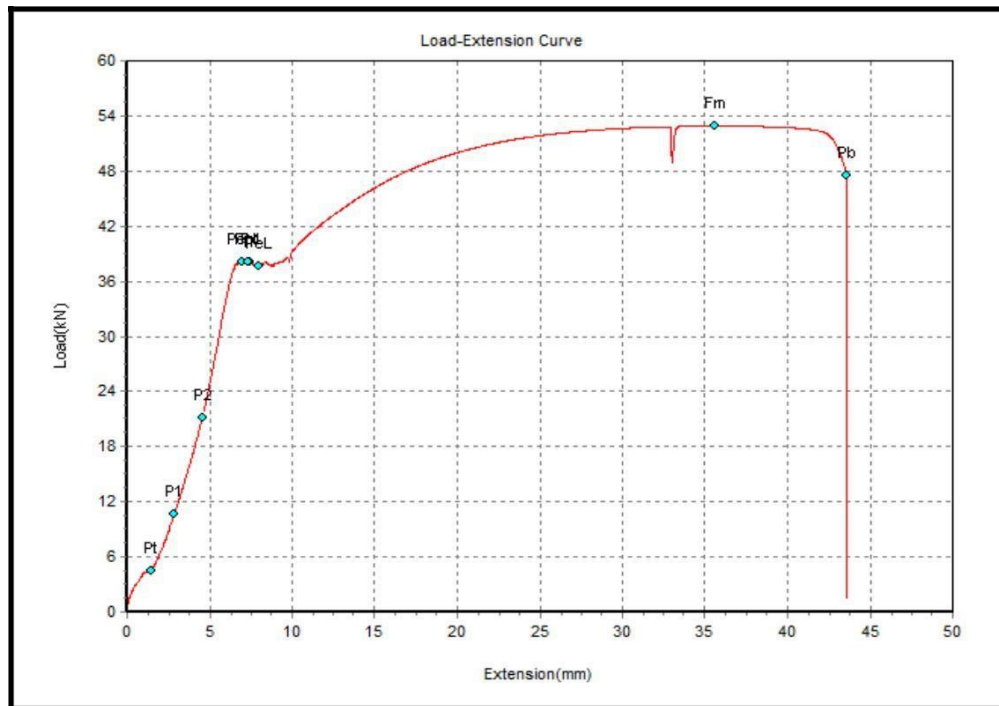


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 2.2G

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	37,19	(3 792)
Fuerza Máximo de Rotura	52,47	(5 350)

Anexo n.º 17. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 2.3 G.

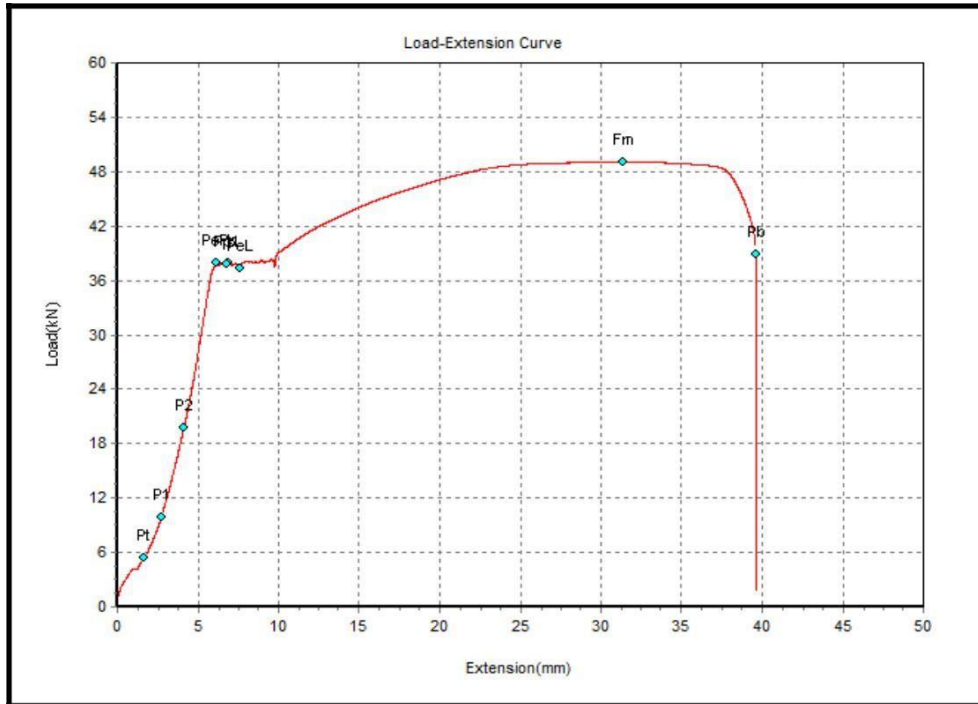


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 2.3G

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	38,09	(3 884)
Fuerza Máximo de Rotura	52,88	(5 392)

Anexo n.º 18. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 3.1N.

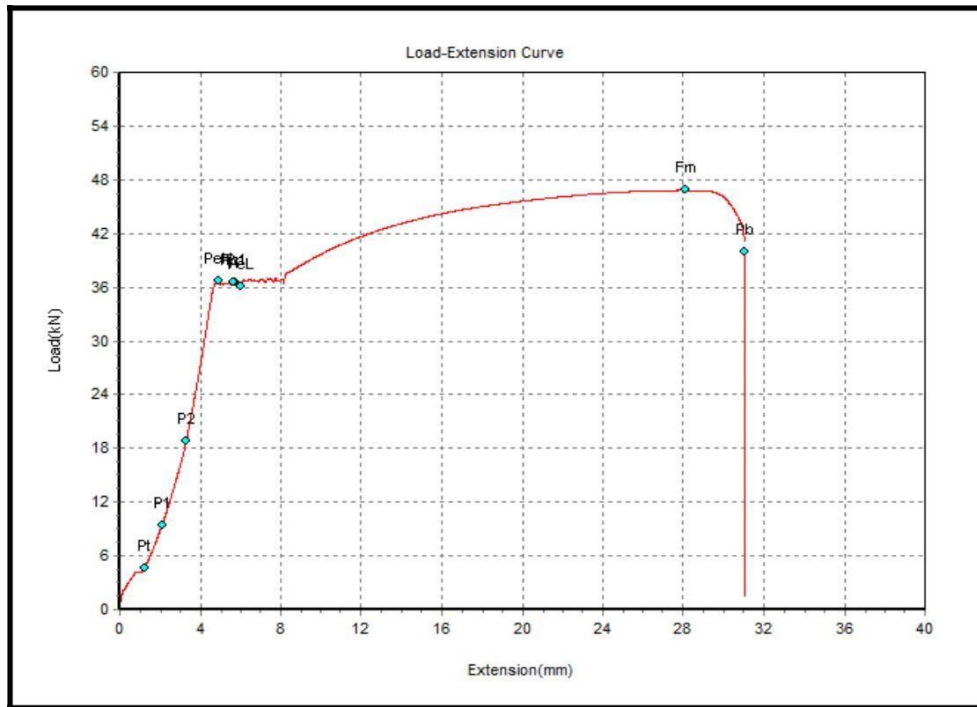


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 3.1N

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	37,90	(3 865)
Fuerza Máximo de Rotura	49,07	(5 004)

Anexo n.º 19. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 3.2 N.

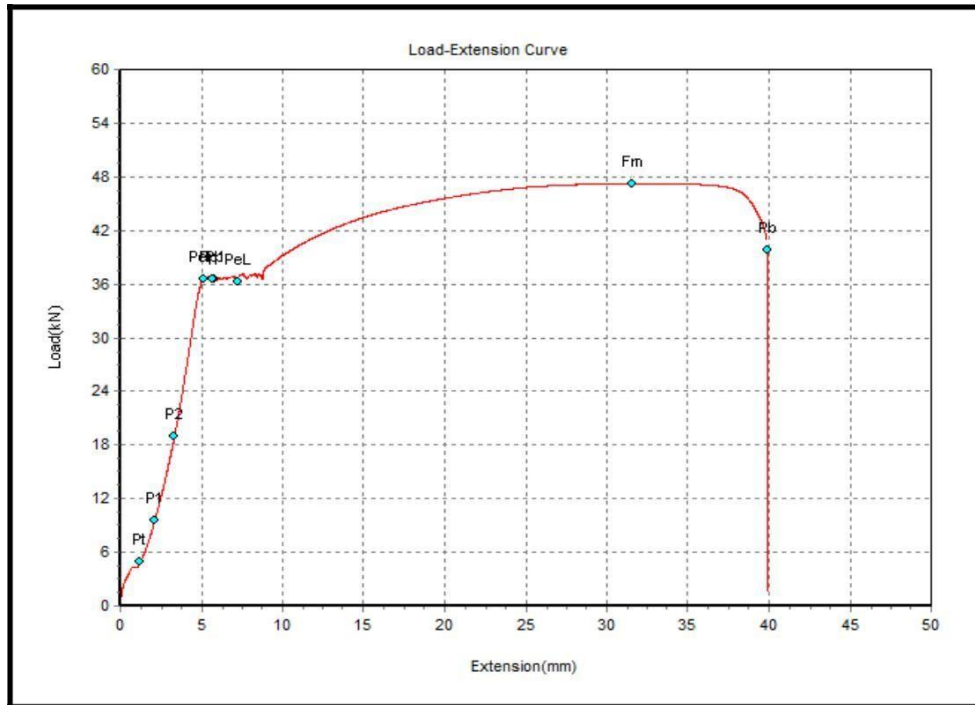


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 3.2N

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	36,77	(3 749)
Fuerza Máximo de Rotura	46,82	(4 774)

Anexo n.º 20. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 3.3 N.

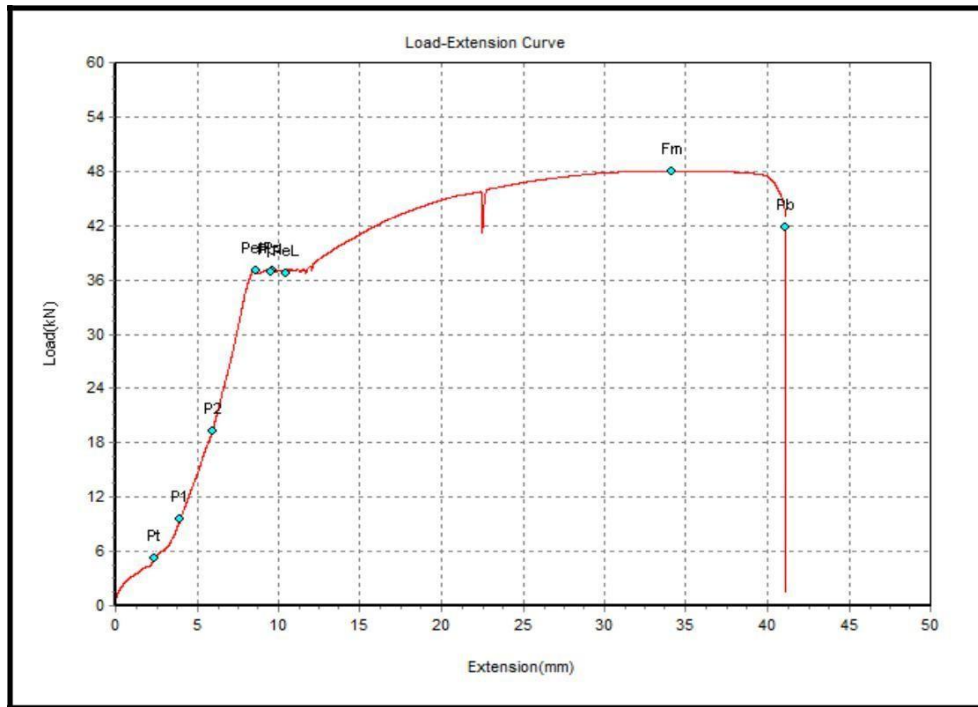


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 3.3N

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	36,55	(3 727)
Fuerza Máximo de Rotura	47,26	(4 819)

Anexo n.º 21. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 3.1G

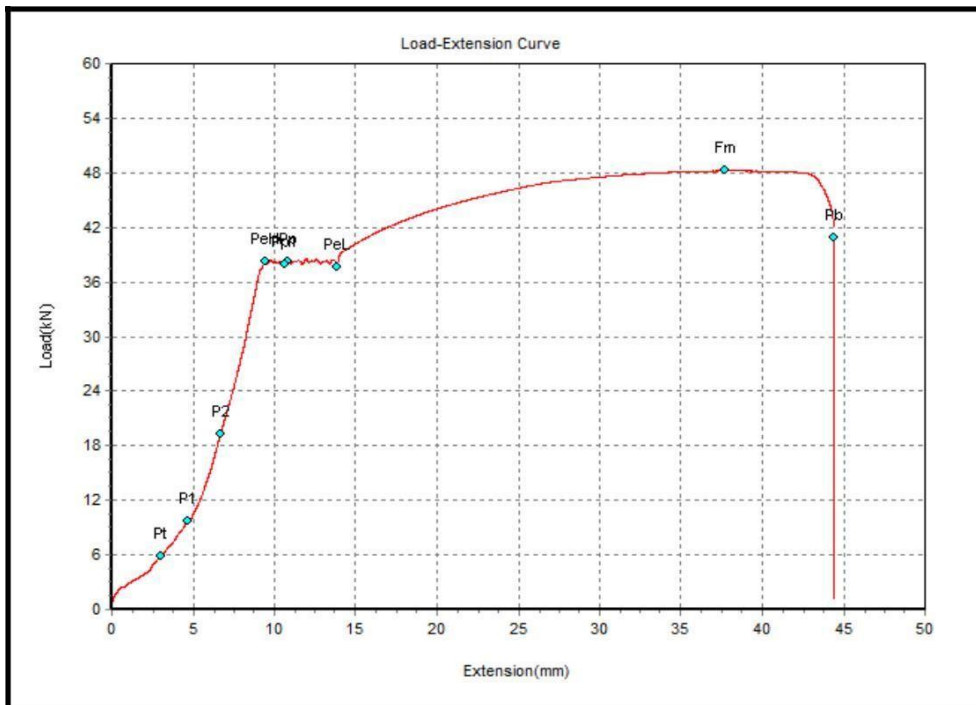


Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 3.1G

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	37,08	(3 781)
Fuerza Máximo de Rotura	48,03	(4 898)

Anexo n.º 22. Gráfico del Diagrama tensión deformación de la prueba, serie 3.2 G.

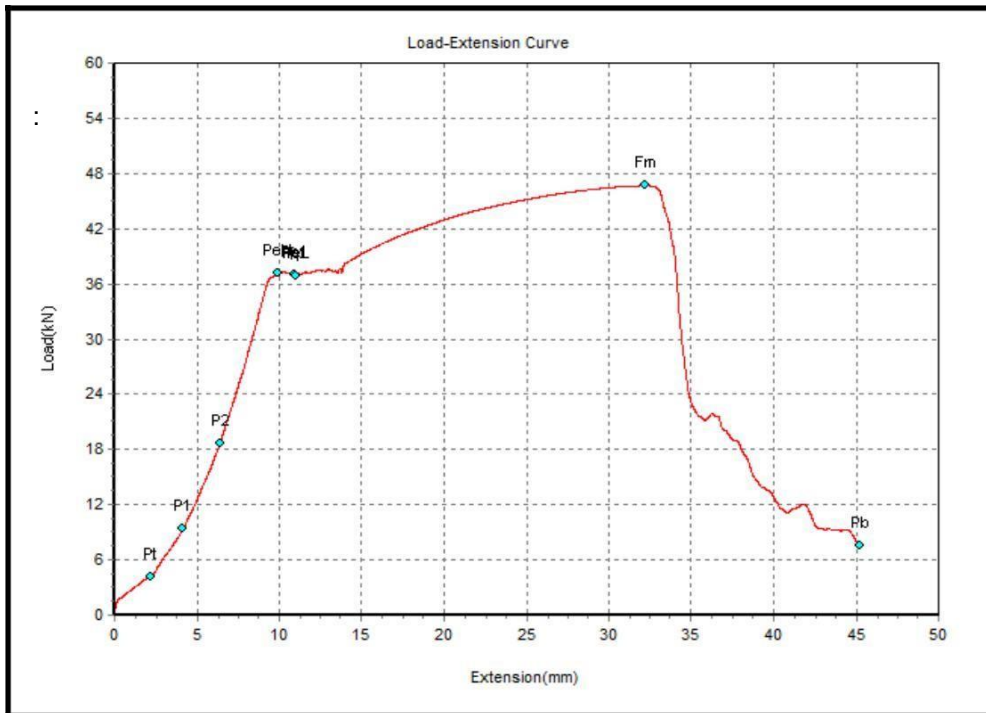


Fuente: Laboratorio n.º 4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 3.2G

	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	38,25	(3 900)
Fuerza Máximo de Rotura	48,22	(4 917)

Anexo n.º 23. Gráfico del Diagrama tensión deformación de las prueba, serie 3.3 G.





Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Serie 3.3G


	kN	(kg-f)
Fuerza de Fluencia	37,10	(3 774)
Fuerza Máximo de Rotura	46,69	(4 761)

Anexo n.º 24. Informe Técnico Lb4-0771-2018, Hoja 1.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Facultad de Ingeniería Mecánica Laboratorio de Mecánica – Lab. N° 4		
INFORME TÉCNICO Lb4-0771-2018 ENSAYOS DE TRACCIÓN A MUESTRAS DE ACERO CORRUGADO		
SOLICITANTE : BALDOMERO GERMAN CERDAN CHAVEZ FECHA : Lima, 27 de Junio de 2018		
1.	ANTECEDENTES	Se recibió dieciocho (18) muestras de acero corrugado, con la finalidad de realizarles ensayos de tracción directa.
2.	DE LAS MUESTRAS	Se identificó según el cliente, como: Dieciocho (18) muestras de acero corrugado ASTM A 615, Gr. 60 de 3/8" de Ø Grupo 1: Tres (03) muestras de acero corrugado, en calidad comercial negro (N), marca ACEROS AREQUIPA, serie 1. Grupo 2: Tres (03) muestras de acero corrugado, galvanizado (G), marca ACEROS AREQUIPA, serie 1. Grupo 3: Tres (03) muestras de acero corrugado, en calidad comercial negro (N), marca SIDER PERÚ, serie 2. Grupo 4: Tres (03) muestras de acero corrugado, galvanizado (G), marca SIDER PERÚ, serie 2. Grupo 5: Tres (03) muestras de acero corrugado, en calidad comercial negro (N), marca BELGO 60, serie 3. Grupo 6: Tres (03) muestras de acero corrugado, galvanizado (G), marca BELGO 60, serie 3. TESIS : "INFLUENCIA DEL GALVANIZADO, EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO, SEGÚN NORMA ASTM A-615 GRADO 60, EN BARRAS CORRUGADAS DE Ø 3/8"
3.	EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina Universal de Ensayos mecánicos, marca LG, capacidad 30 Ton. • Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.
4.	CONDICIONES DE ENSAYO	T. : 17 °C H.R. : 79 %
		
Av. Túpac Amaru 210 – Lima 25, Perú Teléfono: 381-3833 / 481-1070 Anexo 4413 / Email: laboratorio_4@outlook.com		

Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Anexo n.º 25. Informe Técnico Lb4-0771-2018, Hoja 2.




UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Mecánica – Lab. N° 4

Lb4-0771-2018

5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	Norma ASTM A 615							
6.	RESULTADOS								
	MUESTRA	DIÁMETRO (mm)	LONGITUD INICIAL (mm)	LONGITUD FINAL (mm)	FUERZA DE FLUENCIA (Kg f)	FUERZA MÁXIMA (Kg f)	ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/mm ² (Mpa)	ESFUERZO MÁXIMO DE ROTURA Kg/mm ² (Mpa)	ELONGACIÓN (%)
	1,1 – N	9,53	200,00	238,20	3 764	5 421	52,8 (518)	76,1 (746)	19,1
	1,2 – N	9,53	200,00	233,70	3 630	6 104	50,9 (499)	85,7 (840)	16,9
	1,3 – N	9,53	200,00	234,10	3 516	5 062	49,3 (484)	71,0 (697)	17,1
	1,1 – G	9,53	200,00	-	3 448	4 837	48,4 (474)	67,9 (666)	-100,0
	1,2 – G	9,53	200,00	228,10	3 508	5 348	49,2 (482)	75,1 (736)	14,1
	1,3 – G	9,53	200,00	231,50	3 437	5 179	48,2 (473)	72,7 (713)	15,8
	2,1 – N	9,53	200,00	231,50	3 705	5 332	52,0 (510)	74,8 (734)	15,8
	2,2 – N	9,53	200,00	228,10	3 471	5 129	48,7 (477)	72,0 (706)	14,1
	2,3 – N	9,53	200,00	230,50	3 556	5 236	49,9 (489)	73,5 (721)	15,3
	2,1 – G	9,53	200,00	228,40	3 685	5 245	51,7 (507)	73,6 (722)	14,2
	2,2 – G	9,53	200,00	231,80	3 792	5 350	53,2 (522)	75,1 (737)	15,9
	2,3 – G	9,53	200,00	236,10	3 884	5 392	54,5 (534)	75,7 (742)	18,1
	3,1 – N	9,53	200,00	237,40	3 865	5 004	54,2 (532)	70,2 (689)	18,7
	3,2 – N	9,53	200,00	230,10	3 749	4 774	52,6 (516)	67,0 (657)	15,1
	3,3 – N	9,53	200,00	236,10	3 727	4 819	52,3 (513)	67,6 (663)	18,1
	3,1 – G	9,53	200,00	230,30	3 781	4 898	53,1 (520)	68,7 (674)	15,2
	3,2 – G	9,53	200,00	231,20	3 900	4 917	54,7 (536)	69,0 (677)	15,6
	3,3 – G	9,53	200,00	-	3 783	4 761	53,1 (520)	66,8 (655)	-100,0

* Código de autenticación : VA DCCLXXI EUSE TTIT



JEFATURA
ING. BERNABÉ TARAZONA BERMÚDEZ
CIP. 61907
Laboratorio de Mecánica – Lab. N°4

Av. Túpac Amaru 210 – Lima 25, Perú
Teléfono: 381-3833 / 481-1070 Anexo 4413 / Email: laboratorio_4@outlook.com

Pág. 3 de 7

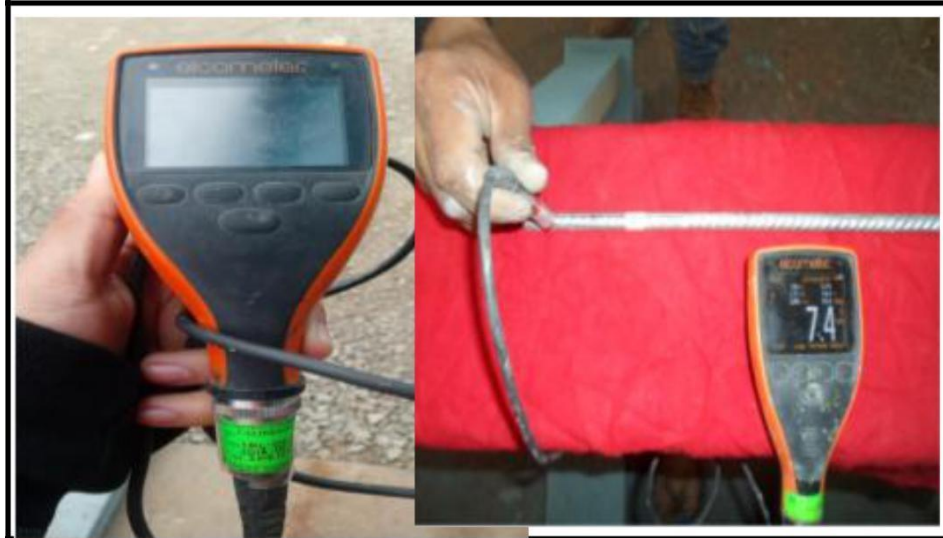
Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Anexo n.º 26. Máquina de prueba de tracción marca HTL con su sticker de calibración.



Fuente: Laboratorio n°4 de Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería (2018).

Anexo n.º 27. Medidor de espesores de revestimientos, marca Elcometer 456, con su sticker de calibración.



Fuente: Fotos, Elaboración propia. (2018).

Anexo n.º 28. Metrado de estructuras de acero en columnas y losa aligerada.

Tabla de Metrado de Estructuras : Acero en Columnas

Item	Partida 05.07.03 Acero En Columnas	Refuerzos Acero	Diámetros De Barra Corrugada De Acero			
			1/4"	3/8"	1/2"	5/8"
1	Zapatas Z-1 ,Z-2	Longitudinal y Transversal			151,49	
2	Vigas Vc101	Longitudinal			147,61	
		Estribos		101,97		
3	Columnas C1-C2-C3--C1"	Longitudinal			265,6	656,5
4	Refuerzo de Columnas C2"-C3	Longitudinal				23,28
		Estribos		277,59		
5	Refuerzo de Columnas C2"-C3	Estribos	17,11	9,24		
6	Refuerzo de Viga Vp	Longitudinal		885,63	634.15	
7	Refuerzo Transersal en Viga Vp 101	Estribos	19,75	206,76		
		Peso parcial (kg)	36,86	1481,19	1198,85	679,78
		Peso Total (Kg)			3396,68	

Tabla de Metrado de Estructuras : Acero en Losa Aligerada

Item	Partida 05.02.03 Acero En Losa Aligerada	Refuerzos Acero	Diámetros De Barra Corrugada De Acero			
			1/4"	3/8"	1/2"	5/8"
1	Viguetas entre Eje A-B Primer piso	Longitudinal				
	Viguetas entre Eje B-C Primer piso	Longitudinal			465,89	
	Viguetas entre Eje A-B Segundo piso	Longitudinal				
2	Viguetas entre Eje A-B Segundo Piso	Longitudinal				
	Viguetas entre Eje B-C Segundo piso	Longitudinal			811,2	
	Viguetas entre Eje A-B Azotea	Longitudinal				
	Viguetas entre Eje B-C Azotea	Longitudinal				
		Peso Parcial (Kg)	0	0	1277,09	0

Fuente: Elaboración propia. (2018).

Anexo n.º 29. Metrado de estructuras de acero en escalera y en cisterna.

Tabla de Metrado de Estructuras : Acero en Escalera

Item	Partida 05.10.03 Acero En Escalera	Refuerzos Acero	Diámetros De Barra Corrugada De Acero			
			1/4"	3/8"	1/2"	5/8"
1	Refuerzo del 1er. Tramo del 1er. Piso A La Azotea	Longitudinal			95,62	
2	Refuerzo del 2do. Tramo del 1er. Piso A La Azotea	Longitudinal			210,33	
	Refuerzo del 3er. Tramo del 1er. Piso A La Azotea					
		Peso Parcial (Kg)	0	0	305,95	0

Tabla de Metrado de Estructuras : Acero en Cisterna

Item	Partida 05.11.03 Acero en Cisterna	Refuerzos Acero	Diámetros De Barra Corrugada De Acero			
			1/4"	3/8"	1/2"	5/8"
1	Refuerzo Longitudinal y Transversal en Cisterna	Longitudinal Y Transversal		101,95	192,49	
		Peso Parcial (Kg)	0	101,95	192,49	0
		Peso Total (Kg)			294,44	

Fuente: Elaboración propia. (2018).