



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

“Análisis de la Tensión de Adherencia del Hormigón con el Acero de refuerzo en diferentes estados de oxidación y diferentes tratamientos de pasivación y protección “

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Autor: Carlos Julio Barros Ochoa

C.I.: 010441343-0

Correo electrónico: carlos_juliobo@hotmail.com

Director: Daniel Estuardo Mogrovejo Carrasco M.Sc. Ph.D.

C.I: 030150047-6

Cuenca- Ecuador

8 de Noviembre del 2021



RESUMEN

El hormigón armado es uno de los materiales de construcción más ocupados en el mundo, su funcionamiento se basa en la adherencia entre el hormigón-acero, de esta manera permite que el acero tome los esfuerzos de tracción, manteniendo la unión entre los dos materiales, teniendo en cuenta la capacidad de adherencia que porta y la susceptibilidad de factores como los procesos de corrosión, los tipos de corrugado de las varillas de acero y los productos de pasivación, que pueden afectar de manera positiva o negativa en la capacidad de adherencia entre estos dos materiales.

El estudio se desarrolló mediante un modelo experimental basado en el ensayo de “pull out”, que permite medir las variaciones en los esfuerzos de tensión debido a potenciales cambios inducidos en la adherencia entre estos dos materiales. De esta manera se planteó los ensayos de “pull out” con diferentes configuraciones para la realización del estudio y así obtener conocimientos sobre el comportamiento de la adherencia en el campo de la construcción.

Se elaboraron probetas con distintas configuraciones de oxidación de la varilla, el tipo de corrugado del acero y el agente pasivador. Mediante la prensa hidráulica del laboratorio de suelos, se ejecutaron ensayos de “pull out” y se obtuvieron los resultados de carga-desplazamiento, con lo que se procedió a calcular la tensión de adherencia y así, poder analizar estadísticamente la influencia de los diferentes factores que se plantearon en el estudio.

PALABRAS CLAVE: Adherencia. Hormigón. Acero. Oxidación. Corrugado. Pasivador. Tracción. Deslizamiento. Tensión. Micro-rugosidad. Óxido. “Pull Out”.



ABSTRACT

Reinforced concrete is one of the busiest construction materials in the world, its operation is based on the adhesion between concrete-steel, in this way it allows the steel to take the tensile forces, maintain the union between the two materials, taking into account the adhesion capacity it carries and the susceptibility of factors such as corrosion processes, the types of rebar of the steel rods and the passivation products, which can positively or negatively affect the adhesion capacity between these two materials.

The study was developed using an experimental model based on the "pull out" test, which allows to measure the variations in tensile stress due to potential changes induced in the adherence between these two materials. In this way, the "pull out" tests were proposed with different configurations to carry out the study and thus obtain knowledge about the behavior of adherence in the construction field.

Specimens were made with different oxidation configurations of the rod, the type of rebar of the steel and the passivating agent. By means of the hydraulic press of the soil laboratory, "pull out" tests were carried out and the load-displacement results were obtained, with which the adhesion stress was calculated and thus, the influence of the different factors could be statistically analyzed that were raised in the study.

KEYWORDS: Adhesion. Concrete. Steel. Oxidation. Corrugated. Passivator. Traction. Slip. Tension. Micro-roughness. Rust, "Pull Out".



Índice del Trabajo

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE DE TABLAS	9
Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional	10
Cláusula de Propiedad Intelectual.....	11
DEDICATORIA	12
AGRADECIMIENTOS.....	13
1 Introducción.....	14
1.1 Introducción	14
1.2 Antecedentes.....	14
1.3 Descripción del problema.....	16
1.4 Justificación	17
1.5 Objetivos.....	17
1.5.1 Objetivo General:	17
1.6 Alcance	18
2 Marco Teórico	19
2.1 Propiedades del Hormigón.....	19
2.2 Propiedades del Acero	20



2.3	Adherencia del hormigón armado	21
2.4	Mecanismos de Adherencia Hormigón-Acero	24
2.5	Pruebas de The Pull Out Test típicos	27
2.6	Oxidación.....	29
2.7	Técnica de corrosión acelerada.....	31
2.8	Normas	32
2.8.1	Norma ASTM	32
3	Metodología	34
3.1	Método Aplicado.....	34
3.2	Proceso de Desarrollo.....	37
3.2.1	Encofrados	37
3.2.2	Proceso de selección del tipo de corrugado de las varillas de acero.....	38
3.2.3	Proceso de la Técnica de corrosión acelerada	39
3.2.4	Proceso de Pasivación	41
3.2.5	Proceso de elaboración de las probetas	42
3.2.6	Proceso de ejecución de las pruebas de Pull Out Test	43
4	Resultados	46
4.1	Resultados de los ensayos de la oxidación acelerada de las varillas de acero.	46
4.2	Resultados de los ensayos de compresión del Hormigón	50
4.3	Resultados de los Ensayos “Pull Out”	52



4.3.1	Resultados de los ensayos sin corrosión	53
4.3.2	Resultados de los ensayos con el 25% de corrosión	56
4.3.3	Resultado de los ensayos con el 50% de corrosión	59
4.3.4	Resultados de los ensayos con el 75% de corrosión	62
4.3.5	Resultado de los ensayos con Agente pasivador	66
4.3.6	Comparación de los resultados de las diferentes configuraciones del estudio. 70	
5	CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	74
5.1	Conclusiones	74
5.2	Recomendaciones.....	77
6	Bibliografía	79
6.1	ANEXOS.....	82



Índice de figuras

FIGURA 1: FUERZAS DE ADHERENCIA EQUILIBRADAS POR ANILLO DE TRACCIÓN, TEPFERS (1973).....	22
Figura 2: a) Fisuras primarias y secundarias alrededor de una barra de acero, b) Mecanismo de fisuración alrededor de la barra luego de formadas las fisuras internas	23
Figura 3: Adhesión vista molecular (fuente Lutz y Gergeley)	24
Figura 4: Rozamiento	25
Figura 5: Interacción Mecánica	25
Figura 6: Tipos de pruebas de “pull out”	28
Figura 7 Corrosión	30
Figura 8: Procedimiento Corrosión acelerada.....	32
Figura 9: Ensayo “pull out” en rocas, ASTM D4435-84 (1998)	33
Figura 10: Disposición ensayo RILEM	36
<i>Figura 11: Diseño de la probeta</i>	36
Figura 12: Encofrados	38
Figura 13: Tipo de corrugado T1	39
Figura 14: Tipo de corrugado T2	39
Figura 15: Proceso de Corrosión.....	41
Figura 16: Producto pasivador en las varillas	42
Figura 17: Vertido de Hormigón	43
Figura 18: Ensayo Pull Out.....	45
Figura 19: Medición de los diámetros	47



Figura 20: Gráfica de los resultados de los ensayos T1OX0 Carga-Desplazamiento.....53

Figura 21: Gráfica de los resultados de los ensayos T2OX0 Carga-Desplazamiento.....54

Figura 22: Gráfica de los resultados de Carga-Desplazamiento de T1 yT2 sin corrosión
.....55

Figura 23: Gráfica de los resultados de la Tensión de Adherencia de T1 y T2 sin corrosión
.....55

Figura 24: Gráfica de los resultados de los ensayos T1OX25 Carga-Desplazamiento...56

Figura 25: Gráfica de los resultados de los ensayos T2OX25 Carga-Desplazamiento...57



Índice de tablas

TABLA 1 PORCENTAJE DE OXIDACIÓN DE LAS VARILLAS TIPO 1	48
Tabla 2 Porcentaje de Oxidación de las Varillas tipo 2.	49
Tabla 3 Resistencia del Hormigón.	51
Tabla 4 Resultados de los ensayos T1OX0 Pull Out sin corrosión.	53
Tabla 5 Resultados de los ensayos T2OX0 Pull Out sin corrosión.	54
Tabla 6 Resultados de los ensayos sin corrosión de T1 y T2.	54
Tabla 7 Resultados de los ensayos T1OX25 Pull Out con corrosión 25%. ..	56
Tabla 8 Resultados de los ensayos T2OX25 Pull Out con corrosión 25%. ..	57
Tabla 9 Resultados de los ensayos T1OX50 Pull Out con corrosión 50%. ..	59
Tabla 10 Resultados de los ensayos T2OX50 Pull Out con corrosión 50%. ..	60
Tabla 11 Resultados de los ensayos con corrosión 50% de T1 y T2.	61
Tabla 12 Resultados de los ensayos T1OX75 Pull Out con corrosión 75%. ..	62
Tabla 13 Resultados de los ensayos T2OX75 Pull Out con corrosión 75%. ..	63
Tabla 14 Resultados de los ensayos T1PAS Pull Out con pasivador.	66
Tabla 15 Resultados de los ensayos T2PAS Pull Out con pasivador.	67
Tabla 16 Resultados de los ensayos con pasivador de T1 y T2.	68



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Carlos Julio Barros Ochoa en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis de la Tensión de Adherencia del Hormigón con el Acero de refuerzo en diferentes estados de oxidación y diferentes tratamientos de pasivación y protección”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 8 de noviembre del 2021

Carlos Julio Barros Ochoa

C.I: 0104413430



Cláusula de Propiedad Intelectual

Cláusula de Propiedad Intelectual

Carlos Julio Barros Ochoa, autor del trabajo de titulación "Análisis de la Tensión de Adherencia del Hormigón con el Acero de refuerzo en diferentes estados de oxidación y diferentes tratamientos de pasivación y protección", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 8 de noviembre de 2021

Carlos Julio Barros Ochoa

C.I: 0104413430



DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mis padres y a mi familia por todo el apoyo que me han brindado incondicionalmente.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme a tan buenos padres que me han apoyado a estudiar y poder culminar mis estudios son los mejores del mundo, agradezco a mis hermanos, amigos que siempre me han apoyado, agradezco a mi tutor por el apoyo que me ha brindado, agradezco a todos de corazón por siempre estar motivándome a ser mejor cada día, ahora que voy a dar un paso más en la vida como un profesional no los defraudare, gracias totales.



1 Introducción

1.1 Introducción

El funcionamiento del hormigón armado como material estructural es posible gracias al fenómeno básico de la adherencia hormigón-acero. Sin adherencia las varillas no podrían realizar su esfuerzo de tracción, ya que el acero se desplazaría sin hallar resistencia en toda su longitud y no acompañaría al hormigón en sus deformaciones, con lo que, al fisurarse éste, ocurrirá la rotura del elemento estructural.

La adherencia permite que el acero adquiera los esfuerzos de tracción, manteniendo la unión entre los dos materiales en las zonas entre fisuras, cumpliendo fundamentalmente dos objetivos: asegurar el anclaje de las varillas y transmitir las tensiones tangenciales periféricas que se producen en la armadura principal como consecuencias de las variaciones de su tensión longitudinal. (Ruiz López, Lorefice, Etse, & Santillán, 2012, p. 1750)

El mecanismo de adherencia es muy complejo ya que produce adhesión, rozamiento (tensiones tangenciales en el hormigón) y el efecto de acuñamiento o trabazón originado por las corrugaciones del acero. Siendo este último efecto de mucha importancia, dado que la evidencia experimental indica que existe una fuerte influencia de la geometría de las corrugaciones, de la micro rugosidad superficial de las varillas de acero y de la presión radial de confinamiento que se produce como consecuencia del efecto químico del fraguado del hormigón. (Ruiz López, Lorefice, Etse, & Santillán, 2012)

El acero de refuerzo al estar en contacto con la lluvia, la humedad, en general con el medio ambiente que lo rodea, permite que adquiera diferentes estados de oxidación. De esta manera el efecto de oxidación es de suma importancia, ya que al intervenir en el fenómeno de adherencia puede favorecer o desfavorecer al momento de transmitir los esfuerzos.

1.2 Antecedentes

En la edad contemporánea, el hormigón se introdujo en el siglo XIX en Europa, y fue considerado uno de los mayores aportes tecnológicos para la construcción conjuntamente con el acero.

Los primeros investigadores que experimentaron el fenómeno pensaron que la adherencia entre el acero y el hormigón era una interacción perfecta sin deslizamientos



relativos entre estos dos materiales. Uno de los primeros, Morsch (1908) distinguió dos tipos de fallas de adherencia, el “pull out” (deslizamiento de la varilla), y el “splitting” (fisuración del recubrimiento). Rehm, a su vez, desarrolló una nueva investigación acerca del fenómeno de adherencia, en la cual se realizó por primera vez un ensayo de extracción de una varilla de acero de una probeta cúbica de hormigón, llamado el ensayo de “Pull Out Test” (Molina, Gutiérrez, & García, 2004).

Las investigaciones acerca del fenómeno que se presenta entre el hormigón y el acero se han realizado para explicar su influencia en las estructuras. Varios estudios se han desarrollado siguiendo los ensayos de “pull out”. En el año 2004, en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, en Madrid, se analizó la influencia del diámetro de la varilla y del recubrimiento en las características adherentes del hormigón armado, a partir de los diferentes diámetros de varillas y niveles de recubrimientos del hormigón. Otro estudio en 2002 es el *de Evaluación de las propiedades de adherencia entre hormigón y el acero en función del grado de corrosión de las armaduras*, en la Universidad de Tokio; en este estudio una probeta en condiciones normales es sometida a técnicas de corrosión acelerada, seguida de las pruebas de “pull out”. También en Argentina, en el año 2012 se ha hecho análisis meso mecánico del fenómeno de adherencia en estructuras de hormigón armado mediante un sistema computacional. (Ruiz López, Lorefice, Etse, & Santillán, 2012)

En Ecuador se realizó una investigación en el año 2018, por parte de la Universidad Escuela Politécnica Nacional denominada “Influencia de la oxidación en la capacidad de adherencia de las varillas corrugadas utilizadas en el hormigón armado”, donde se analizaron, con diferentes diámetros de varillas, el fenómeno de la adherencia y la influencia de la oxidación demostrando que sí influye la oxidación en la adherencia del hormigón.

Luego de revisar los diferentes estudios experimentales que se han realizado sobre este fenómeno de adherencia entre el hormigón y el acero, el presente estudio prueba diferentes variables como: tipos de corrugados en las varillas de acero, tratamientos de agentes pasivadores aplicados en las varillas de acero. El tratamiento de oxidación a las varillas se elaborará mediante el ensayo de corrosión acelerada y el hormigón que se empleará tendrá una resistencia de 250 kg/cm^2 , el cual está elaborado con áridos de la región austral del Ecuador.



1.3 Descripción del problema

Durante el proceso constructivo el acero se encuentra expuesto a condiciones ambientales severas: lluvia, sequedad, calor, frío, contaminación, entre otros, que deterioran el material, oxidando sus capas superficiales, pudiendo causar pérdida de adherencia por la reducción del agarre y/o reacciones químicas con el hormigón que lo cubrirá. Esta alteración se produce por las condiciones del entorno de almacenamiento, gestión de almacenamiento, tiempo determinado de la estructura total y medidas de preservación en la construcción como tal. El acero, por su exposición, presenta un estado superficial de oxidación que puede ir de ligeramente oxidado a fuertemente oxidado, esta valoración puede ser cuantificable en función del espesor del material afectado, representado en el número de micras que ha perdido el diámetro nominal de la varilla, afectando directamente la adherencia entre el acero y el hormigón, y sobre todo a la resistencia del acero de diseño al perder su diámetro.

En este sentido, el estudio de los problemas de adherencia entre el acero y el hormigón es fundamental, para el mejoramiento de la construcción en función del ahorro de costos y de la seguridad, principalmente. Las implicaciones de la adherencia de estos elementos en la resistencia del hormigón no siempre son tomadas en cuenta en el proceso constructivo, sin embargo, deficiencias en la previsión o preservación del acero traen consecuencias como el agrietamiento de la estructura y posterior debilitamiento o destrucción de ésta.

Una de las principales hipótesis del diseño de las estructuras de hormigón armado se basa en la adherencia perfecta entre los materiales hormigón y acero, es evidente que el estudio del problema de adherencia es fundamental en el ámbito de la ingeniería civil, sobre todo considerando los diversos factores que pueden afectar el mecanismo de transferencia de carga entre ambos materiales. (Ruiz López, Lorefice, Etse, & Santillán, 2012)

El problema radica en que el estado de oxidación de las varillas de acero puede afectar significativamente al fenómeno de adherencia entre el hormigón y el acero y su incidencia en la resistencia.

Además, en la ciudad de Cuenca no existen estudios relativos a la presente investigación. Y siempre es importante conocer el comportamiento mecánico de los materiales de la localidad.



1.4 Justificación

Al conocer los entornos de exposición a los que se enfrentan los materiales en la construcción, es muy importante que estas medidas adicionales de protección contra la corrosión se encuentren disponibles para el ingeniero y el constructor, entre ellos están: el uso de recubrimientos de tipo membrana aplicados a la superficie del concreto, la impregnación del concreto con materiales diseñados para reducir su permeabilidad, la adición de inhibidores de corrosión al concreto y el acero de refuerzo convencional que cuente con protección catódica, la aplicación de recubrimientos galvánicos al refuerzo y la colocación de agentes pasivadores en sí. Siendo el agente pasivador un anticorrosivo que brinda permeabilidad al acero de refuerzo y permite mayor adherencia al hormigón.

De acuerdo a los estudios que se han realizado en este campo de la ciencia, se puede determinar la tensión de adherencia entre el hormigón y el acero con las pruebas de “pull out”, que permite determinar si el fenómeno de la corrosión en las varillas de acero ocupadas en el hormigón favorece o afecta a la resistencia de la tensión de adherencia. Por ende, se puede desarrollar un estudio efectivo sobre este fenómeno, ya que, al tener los conocimientos necesarios y el equipo de laboratorio adecuado, se elabora un ensayo experimental donde las varillas de acero se someten a técnicas de corrosión acelerada en diferentes porcentajes, lo que brinda una gran apreciación del porcentaje de oxidación, que puede ser útil o no en la resistencia de la tensión de adherencia entre el hormigón y acero, dando una solución a nuestro problema.

Lo que determina la necesidad imperativa del tema de investigación y fortifica el aporte que la misma genera para el desarrollo del conocimiento en el medio de la ingeniería civil aplicada en la construcción en la provincia del Azuay y en el Ecuador.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General:

Determinar la influencia de diferentes estados de oxidación, los agentes pasivadores y el tipo de corrugado del acero de refuerzo, en las propiedades de adherencia con el hormigón, mediante un modelo experimental basado en el ensayo de “pull out” que permite medir las variaciones en los esfuerzos de tensión debido a potenciales cambios inducidos en la adherencia entre estos dos materiales.

Objetivos Específicos:



1. Definir las características físico-mecánicas del hormigón y el acero utilizados en los ensayos “pull out” bajo la norma NTE INEN 1855-1.
2. Validar las características de los materiales que se utilizan en la fabricación de las probetas como son la resistencia del hormigón, los estados de oxidación de las varillas de acero y el agente pasivador.
3. Determinar el diseño de las probetas siguiendo las normas Rilem/CEB/FIP.
4. Ejecutar las pruebas de resistencia de la tensión de adherencia entre los materiales del hormigón y acero de refuerzo mediante el ensayo de “pull out” como lo estipula la norma Rilem/CEB/FIP.
5. Determinar los resultados de los ensayos de “pull out” de cada una de las configuraciones para analizar de una manera estadística las siguientes relaciones:
 - La carga máxima con el desplazamiento de cada uno de los ensayos
 - El tipo de corrugado de la varilla con la tensión de adherencia
 - Los estados de oxidación con la tensión de adherencia
 - El agente pasivador con la tensión de adherencia.
6. Determinar la eficiencia de la adherencia en los diferentes tipos de configuración como: el estado de oxidación, el tipo de corrugado y el tipo de tratamiento de pasivación y protección de las varillas.

1.6 Alcance

La presente investigación, de carácter experimental, pretende estudiar la tensión máxima de adherencia de las distintas configuraciones de estados de corrosión y distinto tipo de corrugado por medio de los ensayos desarrollados. Los resultados nos proporcionarán una información útil respecto al porcentaje de la corrosión que el acero de refuerzo posee y el tipo de corrugado. Al analizar los resultados, se concluirán si cada una de las configuraciones de los ensayos beneficia al momento de la construcción y ayudará a los constructores y diseñadores estructurales a tomar en cuenta este fenómeno.



2 Marco Teórico

2.1 Propiedades del Hormigón

El hormigón tradicional, normalmente utilizado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m³. La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento (Gómez Domínguez, 2015). Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta, se aumenta la densidad.

Dependiendo de las proporciones de cada uno de sus constituyentes existen varios tipos de hormigones. El hormigón normal, utilizado en estructuras, que posee una densidad que varía entre los 2200 y 2400 kg/m³ y el hormigón ligero, con densidades de 1800 kg/m³ (Gómez Domínguez, 2015).

La principal característica estructural del hormigón es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante) y por este motivo es habitual usarlo asociado a ciertas armaduras de acero, recibiendo en este caso la denominación de concreto u hormigón armado. Cuando se diseña una estructura de hormigón armado se establecen las dimensiones de los elementos, el tipo de hormigón, los aditivos y el acero que hay que colocar en función de los esfuerzos que deberá soportar y de las condiciones ambientales a que estará expuesto. (Gómez Domínguez, 2015)

El diseño del hormigón que se ocupa para las muestras de los ensayos es de $f'c=250$ Kg/cm².



2.2 Propiedades del Acero

Tanto en la ingeniería como en la construcción, el acero es un material muy importante, pues posee propiedades como la durabilidad, la resistencia a la tracción, una buena resistencia a la fluencia, buena conductividad térmica y la resistencia a la corrosión, en el caso de aceros inoxidable. (Total Materia, s.f.)

Un beneficio del acero estructural es su capacidad de ductilidad, que se define como “la capacidad de los materiales para soportar grandes deformaciones sin fallar, estando sometidos a grandes esfuerzos de tensión” (Termiser, 2017, pág. 1).

A su vez, la tenacidad es una característica que hace referencia a la resistencia del acero, “siendo un material capaz de absorber energía en grandes cantidades. En condiciones de impacto, este material es capaz de soportar su forma sin llegar a sufrir roturas” (Termiser, 2017, pág. 1).

Las varillas de acero que se utilizan en la construcción, al estar expuestas a la corrosión, afectan a dos importantes características que son: su diámetro nominal y su estado superficial produciendo alteraciones positivas o negativas en la tensión de adherencia entre el hormigón y el acero. (Gómez Domínguez, 2015)

La adherencia entre el hormigón y el acero está asociado a la forma geométrica del corrugado de la varilla, en la relación a/c . La altura de la corruga representa "a", en tanto que la separación entre los resaltos es "c".

Cuando la relación a/c es cercana al valor 0,065, es decir a medida que el valor de "c" es bajo, se tiene un mejor rendimiento de la varilla dentro del hormigón, que induce a una falla de rotura del hormigón localizado entre las corrugas; al contrario, cuando esta relación tiene valores fuera del rango 0,057 – 0,072 la falla es en forma de cuña, del hormigón situado alrededor del resalte. (Guanoliqúin, 2018, pág. 17)



2.3 Adherencia del hormigón armado

La unión efectiva entre el acero de refuerzo y el hormigón es vital para el desarrollo completo de la acción compuesta. En este sentido, la unión de las varillas de acero desempeña un papel importante en el comportamiento estructural del hormigón armado.

Existen tres elementos principales que determinan la resistencia de la unión entre el hormigón y la varilla de acero: a) tensiones de corte debido a la adhesión a lo largo de la superficie de la varilla, b) tensiones de los cojinetes contra las caras de las varillas de acero (enclavamiento mecánico) y c) la fricción entre las varillas de refuerzo y el hormigón circundante. La principal contribución a la resistencia de la unión proviene del enclavamiento mecánico, sin embargo, el mecanismo de adhesión química se produce en primer lugar, y después de la carga evita el deslizamiento que solo ocurrirá luego de que se destruya la adhesión. (Ruiz López, Lorefice, Etse, & Santillán, 2012)

Los primeros investigadores que estudiaron el fenómeno consideraron que la adherencia entre el acero y el hormigón era una interacción perfecta sin deslizamientos relativos entre estos dos materiales. Morsch (1908) distinguió dos tipos de fallas de adherencia, el “*pull out*”, y el “*splitting*”. Abramsin (1913) señala que la tensión de adherencia es función del desplazamiento relativo de la barra respecto al hormigón en el cual se encuentra embebida. (Ruiz López, Lorefice, Etse, & Santillán, 2012, p. 1751)

En 1973 Tepfers señaló que la transferencia de tensiones desde la varilla embebida al hormigón se produce mediante fuerzas inclinadas de compresión según un ángulo α . La componente radial de esta fuerza se equilibra mediante un anillo de fuerzas de tracción que provocan fisuras internas (ver Figura 1).

Según las condiciones de confinamiento de la barra, el fallo se puede producir por *splitting*, fisuración del recubrimiento, o por “*pull out*”, deslizamiento de la barra. De acuerdo con Cairns (1995), la falla por fisuración del recubrimiento se origina cuando el mismo es menor que tres veces el diámetro de la barra, ya que al aumentar la carga las fisuras se propagan radialmente y un mayor recubrimiento retrasan la aparición de fisuras en la superficie. (Ruiz López, Lorefice, Etse, & Santillán, 2012, pág. 1751)

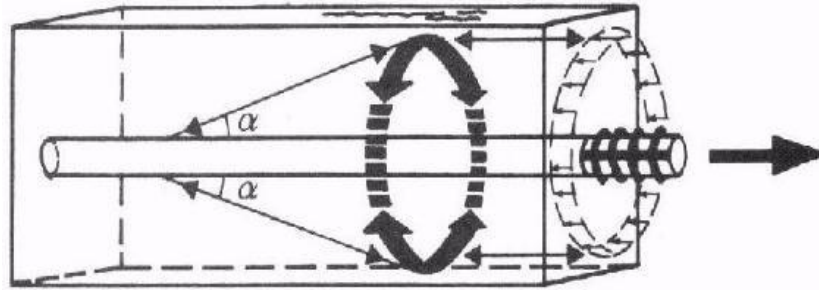
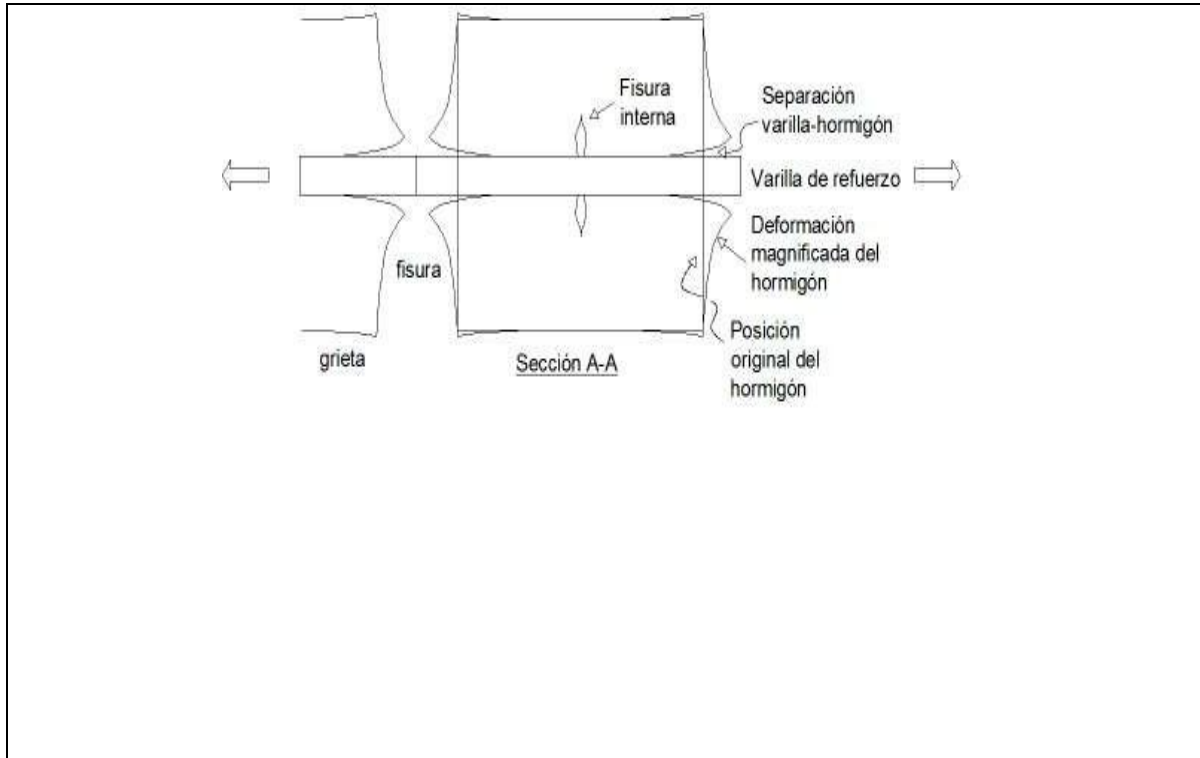


Figura 1: Fuerzas de adherencia equilibradas por anillo de tracción, Tefers (1973)

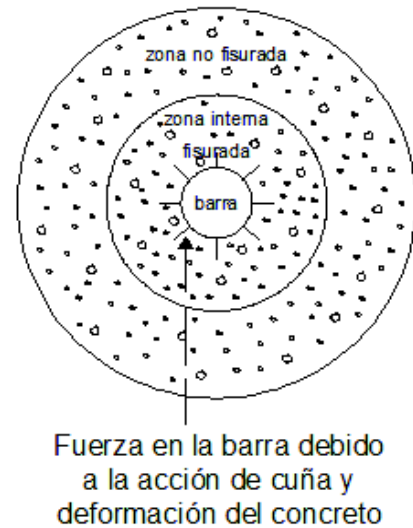
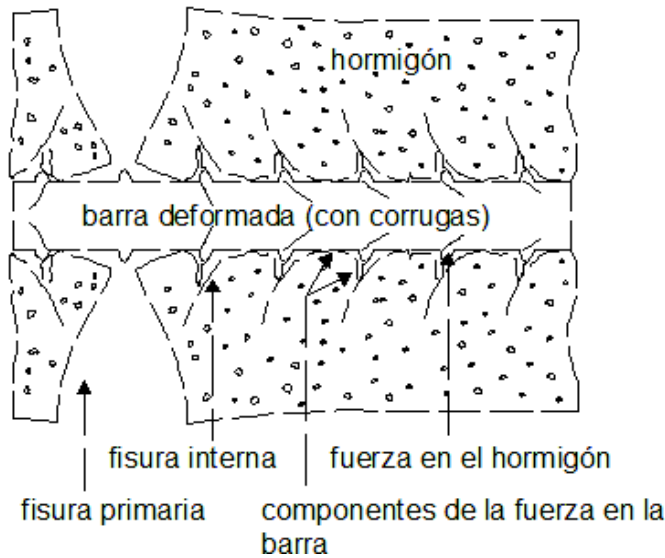
Lutz en 1970 y Goto en 1971 caracterizan los mecanismos de adherencia tanto en varillas lisas como en varillas corrugadas. En varillas con superficie lisa se origina un craqueo transversal en el hormigón, acompañado de un deslizamiento y separación del acero y el hormigón, siendo este fenómeno mucho más abundante en la zona de anclaje (Figura 2a) (Lutz, 1970). En varillas de superficie corrugada se observa que las grietas internas formadas tienen un ángulo comprendido entre 45° y 80° , que indican la dirección en la cual la fuerza de compresión sale de las corrugas y se extiende en el hormigón, estas inclinaciones dependen de la posición de las corrugas, es decir si se encuentran laterales, diagonales u onduladas al eje de la varilla (Figura 2b). (Ruiz López, Lorefice, Etse, & Santillán, 2012).



a) Fisuras primarias y secundarias alrededor de una barra de acero

Sección longitudinal de la probeta cargada axialmente

Sección transversal



b) Mecanismo de fisuración alrededor de la barra luego de formadas las fisuras internas

Figura 2: a) Fisuras primarias y secundarias alrededor de una barra de acero, b) Mecanismo de fisuración alrededor de la barra luego de formadas las fisuras internas

2.4 Mecanismos de Adherencia Hormigón-Acero

En la actualidad, el término adherencia se refiere al fenómeno de interacción física que se produce entre la masa de concreto y las barras cilíndricas de acero que se ahogan dentro de ésta, y que se localiza en la interfaz de estos dos materiales, permitiendo la transferencia y continuidad de esfuerzos y fuerzas entre los dos cuerpos en contacto, asegurando con ello un trabajo en conjunto (Domínguez, 2013, pág. 62).

La adhesión, el rozamiento y la interacción mecánica son los principales mecanismos de adherencia entre el hormigón y el acero.

Adhesión: “la tensión de adherencia se debe a la interconexión fisicoquímica de partículas de la pasta de cemento con la rugosidad de la superficie de contacto de armadura” (Ruiz López, Loreface, Etse, & Santillán, 2012, pág. 1752).

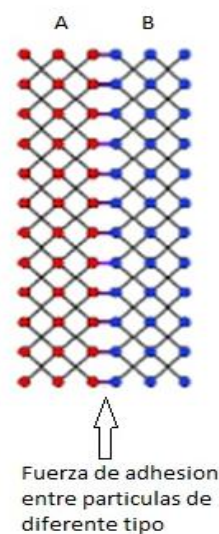


Figura 3: Adhesión vista molecular (fuente Lutz y Gergeley)

Rozamiento: “la adhesión se anula conforme aumenta la carga aplicada, y la adherencia por rozamiento toma parte del fenómeno, donde la característica que lo controla es la superficie de la varilla, con su forma geométrica” (Ruiz López, Lorefice, Etse, & Santillán, 2012, pág. 1752).

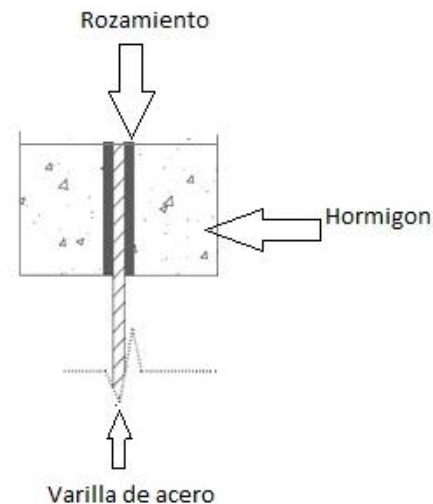


Figura 4: Rozamiento

Interacción Mecánica: conforme se incrementa la carga aplicada, el comportamiento del elemento se modifica, aumentando considerablemente el deslizamiento de la barra debido a la fisuración interna, por lo que en esta fase el nivel de confinamiento influye considerablemente, al igual que el recubrimiento, la cuantía de armadura transversal, nivel de tensión, entre otros. (Ruiz López, Lorefice, Etse, & Santillán, 2012, p. 1752)



Figura 5: Interacción Mecánica





2.5 Pruebas de *The Pull Out Test* típicos

Para estudiar el fenómeno de la adherencia se han diseñado diversas configuraciones de ensayos de extracción directa o Pull Out Test con el objetivo de recrear una distribución uniforme de la tensión de adherencia a lo largo de una varilla de acero impregnada de hormigón. La longitud adherida de la varilla se ha establecido en 5 veces el diámetro de esta como máximo, denominándose a este tipo de pruebas *ensayos sobre longitudes cortas*. En 1961, Rehm, propuso una configuración de ensayo que consta de una probeta cúbica de hormigón con una única varilla de acero impregnada y centrada, (véase en la figura 6a). “En este ensayo la zona adherida se encuentra en la zona central de la varilla, pero presenta como inconvenientes la excesiva fricción entre la placa de apoyo y la probeta, y el desarrollo de un efecto arco que interfiere con la zona adherida de la varilla” (Ruiz López, Lorefice, Etse, & Santillán, 2012, pág. 1753).

Con el objeto de corregir las falencias del ensayo de Rehm, en 1970 el comité RILEM/CEB/FIP propuso una modificación que consistió en cambiar la ubicación de la zona adherida, alejándola de la zona central y colocando un elemento flexible para evitar la fricción entre la probeta y la placa, (véase en la figura 6c).

Otro ensayo, es el propuesto por Losberg (1979), en el que el efecto arco se reduce disminuyendo la excentricidad de la fuerza de reacción distribuida con respecto al eje de la barra a través de un anillo que se inserta entre la probeta y la placa, (véase en la figura 6b). Rehm y Eligehausen (1979), modifican el ensayo original de Rehm adoptando probetas cilíndricas en donde el efecto arco se reduce significativamente, (ver Figura 6d). Todos estos ensayos presentan en común una longitud de adherencia pequeña, y en la zona donde no se desea que se desarrollen tensiones adherentes, se aísla la barra mediante tubos plásticos o capas finas de parafina. (Ruiz López, Lorefice, Etse, & Santillán, 2012, p. 1753)

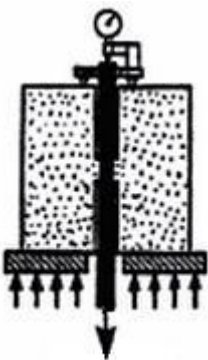
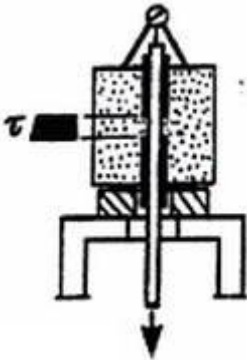
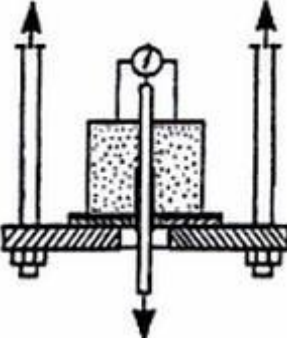

	
<p>a) Rehm</p>	<p>b) Losber</p>
	
<p>c) RILEM/CEB/FIP</p>	<p>d) Rehm y Eligehausen</p>

Figura 6: Tipos de pruebas de "pull out"



2.6 Oxidación

La corrosión del acero de refuerzo y otros metales incrustados es la principal causa de deterioro en concreto. Cuando el acero se corroe, el óxido resultante ocupa un volumen mayor que el del acero. Esta expansión crea tensiones de tracción en el hormigón, que eventualmente pueden causar agrietamiento, de laminación y desconchado.

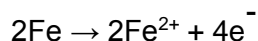
El acero, como la mayoría de los metales, excepto el oro y el platino, es termodinámicamente inestable en condiciones atmosféricas normales y liberará energía y volverá a su estado natural: óxido de hierro u óxido. Este proceso se llama corrosión. (Portland Cement Association, 2019, párrs. 1-3)

La corrosión es un proceso electroquímico que involucra el flujo de cargas (electrones e iones) y se produce con la existencia de los siguientes elementos:

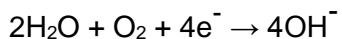
- Al menos dos metales (o dos ubicaciones en un solo metal) a diferentes niveles de energía
- Un electrolito
- Una conexión metálica

En el hormigón armado, la barra de refuerzo puede tener muchas áreas separadas con diferentes niveles de energía. El hormigón actúa como electrolito y la conexión metálica se realiza mediante ataduras de cables, soportes para sillas o la propia barra de refuerzo. (Portland Cement Association, 2019, párr. 5)

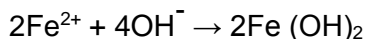
En los ánodos (sitios activos de la barra), los átomos de hierro pierden electrones y se mueven hacia el hormigón circundante como iones ferrosos. Este proceso, denominado reacción de oxidación de media celda o reacción anódica, se representa como:



Los electrones permanecen en la barra y fluyen a sitios llamados cátodos, donde se combinan con agua y oxígeno en el hormigón. La reacción en el cátodo se llama reacción de reducción y está representada de la siguiente manera:



Con el fin de conservar la neutralidad eléctrica, los iones ferrosos migran a través del agua de los poros del concreto a los sitios catódicos donde se combinan para formar hidróxidos de hierro u óxido:



Este hidróxido precipitado inicial tiende a reaccionar más con oxígeno para formar óxidos superiores. El incremento de volumen a medida que los productos de reacción reaccionan aún más con el oxígeno disuelto provocan una tensión interna dentro del hormigón que puede ser suficiente para provocar el agrietamiento y el desconchado del revestimiento de hormigón. (Portland Cement Association, 2019, párr. 9)

La corrosión puede generar un aumento en la adherencia entre las varillas de refuerzo y el hormigón debido al aumento de la rugosidad de la superficie. La unión entre el concreto y el refuerzo es esencial para la capacidad total del refuerzo para ser desarrollado y el funcionamiento exitoso de un sistema de hormigón armado. (Del Valle Moreno, Pérez López, & Maerínez Madrid, 2012)

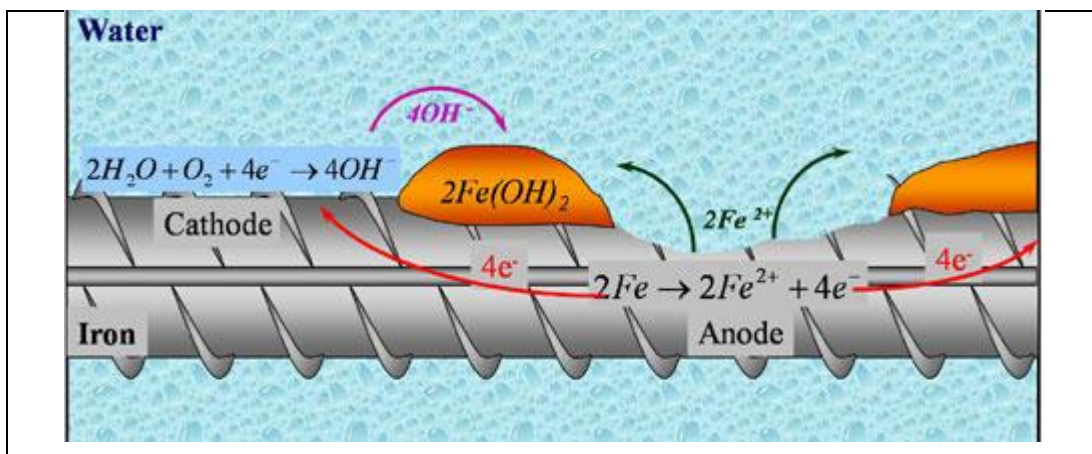


Figura 7 Corrosión



2.7 Técnica de corrosión acelerada

La aparición de fenómenos de corrosión en los elementos de hormigón armado en el entorno natural, tiene lugar lentamente durante la vida útil de la estructura. Para estudiar el efecto de diferentes intensidades de los fenómenos de corrosión en la resistencia de la unión, se realizan pruebas experimentales de corrosión acelerada en especímenes de hormigón armado mediante diferentes métodos, entre estos el más utilizado es el de corrosión anódica. En este método se usa una fuente de alimentación para inducir la corrosión aplicando corriente eléctrica directa a la barra de acero de refuerzo semi-empotrada, que actúa como ánodo. Las muestras se sumergen completamente en células de electro corrosión llenas con una solución de cloruro de sodio al 5% (NaCl) en relación al peso del agua en presencia de una barra de acero inoxidable (cátodo del circuito), que se coloca en la misma dirección que el acero semi-empotrado. Se selecciona la solución de NaCl al 5% porque simula un ambiente corrosivo severo o un ambiente costero y está de acuerdo con las regulaciones existentes con respecto a las pruebas de corrosión, como el Estándar B117 ASTM. (Terán Guillén, Oidor Salinas, & Torres Acosta, 2006)

El contenido de la solución en NaCl representa con precisión relativa el caso de los países donde el clima cálido da como resultado una mayor salinidad del agua de mar. Para lograr diferentes niveles de daño por corrosión, las muestras de varillas de refuerzo permanecieron en las celdas durante diferentes tiempos, induciendo una densidad de corriente de $0.5 \text{ mA} / \text{cm}^2$ a través de la fuente de alimentación externa y continua. (Terán Guillén, Oidor Salinas, & Torres Acosta, 2006)

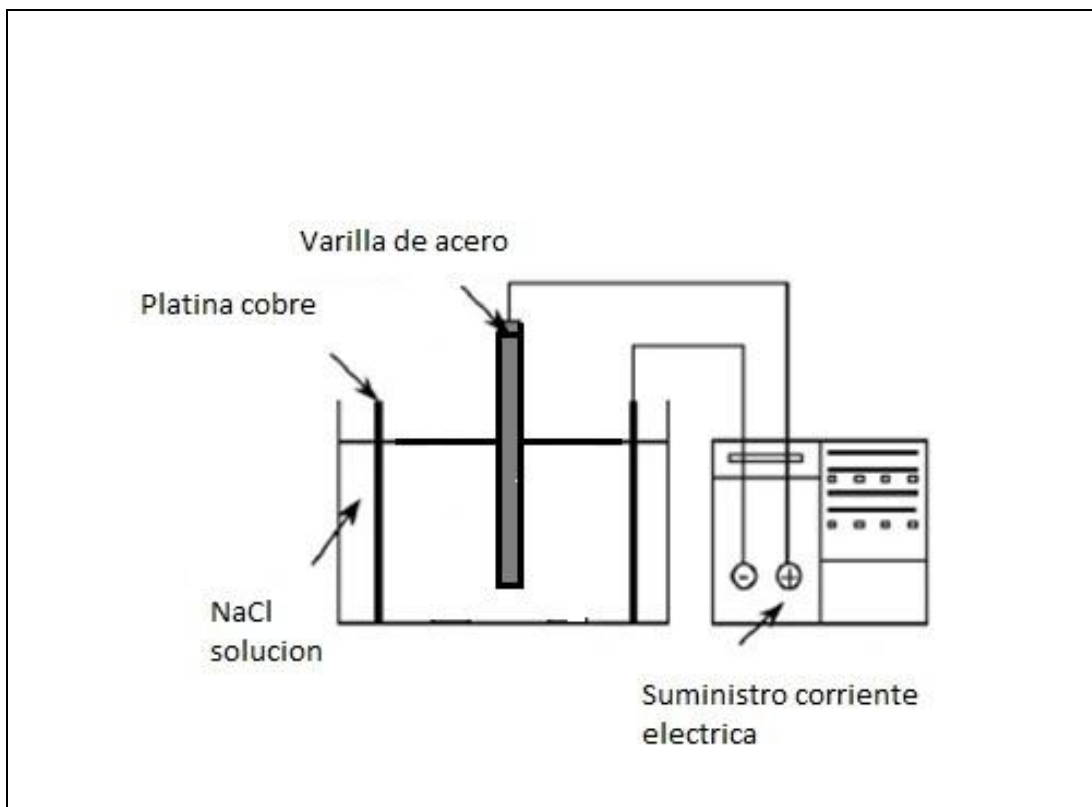


Figura 8: Procedimiento Corrosión acelerada

2.8 Normas

La American Society for Testing and Materials (ASTM) y el Comité euro-internacional du béton, Fédération Internationale de la Précontrainte (CEB, FIP), han normalizado el ensayo “pull out” y los parámetros que influyen en la tensión de adherencia; tomando en consideración factores como longitud de anclaje, confinamiento, propiedades del acero y resistencia del hormigón. Estando el código CEB FIP enfocado en la longitud de anclaje en el diseño constructivo.

2.8.1 Norma ASTM

El ensayo “pull out” está normalizado por La ASTM D4435-84 para la extracción de pernos adheridos a rocas mediante cemento, resina, o cualquier material que garantice la unión de los dos elementos.

El objetivo del ensayo es medir la deformación y la resistencia del perno antes de la falla, que puede darse por un deficiente anclaje o rotura de

la roca por las deformaciones producidas por las cargas y esfuerzos generados en el ensayo.

En la disposición del ensayo es necesario un sistema hidráulico hueco, ubicado sobre una placa de reacción, que generen la fuerza necesaria para extraer el perno, (ver figura 9). La ubicación del perno es dentro de una perforación completamente recta, libre de polvo, donde se coloca el material cementante o la resina, para la unión con la roca. La prueba finaliza cuando ocurra la falla. (Guanoliquín, 2018, pág. 28)

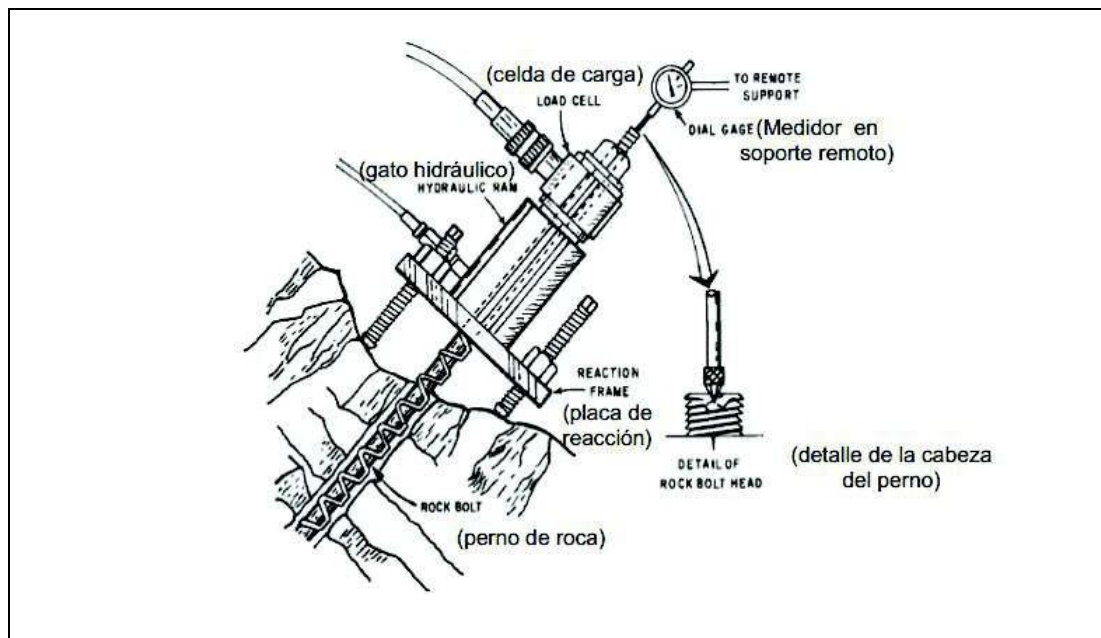


Figura 9: Ensayo "pull out" en rocas, ASTM D4435-84 (1998)

3 Metodología

3.1 Método Aplicado

La adhesión del acero al hormigón es una de las características decisivas que caracterizan al hormigón armado. Las restricciones de adhesión al hormigón se presentan de manera simplista con esfuerzos cortantes distribuidos uniformemente en la superficie lateral del refuerzo. Sin embargo, un valor exacto de este estrés depende de muchos factores y su estimación es muy complicada. Hay muchos métodos de laboratorio destinados a probar la adhesión del refuerzo al hormigón, pero con frecuencia dan resultados diferentes. A veces, incluso son contrarios.

En esta investigación, se revisó el estado del conocimiento sobre la adhesión del acero al hormigón, el mecanismo de su pérdida y los factores que lo influyen. Se realizaron pruebas propias con los métodos denominados “pull out”, con el objetivo de reflejar el funcionamiento de la estructura de hormigón armado y especificar la adhesión química, así como la fuerza de fricción del refuerzo al hormigón.

Se fabricaron 50 probetas con una resistencia de 250 kg/cm² para realizar los ensayos correspondientes para el análisis de tensión de adherencia. El hormigón con las especificaciones requeridas y bajo las normas técnicas adecuadas a las características requeridas por el modelo para el ensayo respectivo, fue recibido de una compañía de premezclado.

Las probetas se fabricaron de acuerdo al ensayo de “pull out”, cuya metodología específica que deben tener las dimensiones de 20x20x20cm, en cada una de ellas se colocó una varilla de acero con un diámetro nominal de 12mm.

Se utilizaron dos tipos de corrugados de varillas de acero, las mismas que se sometieron a diferentes tratamientos para el estudio:

Estado de oxidación al 0%, 25%, 50%, 75%. - consistió en realizar un tratamiento de oxidación acelerado donde las varillas estuvieron expuestas a una corrosión anódica.



Tratamientos de pasivación y protección a las varillas de acero. - se aplicaron a los materiales, con el objetivo de que los protejan de los factores externos como indican las especificaciones de los aditivos y así evitar la oxidación y proteger los materiales.

Una vez obtenida la mezcla del hormigón, se vertió en los moldes de las probetas diseñadas, luego de colocado el hormigón se introdujo una varilla en cada molde clasificándolos con los correspondientes porcentajes de oxidación y tipos de tratamiento de pasivación y protección.

Las probetas tuvieron un tratamiento para el curado del hormigón se dejaron reposar por 28 días para obtener la resistencia requerida. Posterior a ello, se las puso a prueba en los ensayos de tensión de adherencia en la prensa hidráulica con la intención de obtener los resultados que se buscaban.

El ensayo de interés para este trabajo es el propuesto por el comité conjunto RILEM/CEB/FIP, el cual considera una probeta cúbica con una única barra centrada, con las siguientes características:

- La probeta es cúbica de $200 \times 200 \times 200 \text{ mm}^3$
- La barra es de 12 mm de diámetro, con una sección transversal de 1.13 cm^2
- La zona adherida tiene una longitud de $5d$, o sea, 60mm
- Carga en el extremo inferior de la barra
- Placa flexible entre placa de apoyo y probeta.

El hormigón de prueba posee una resistencia característica $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$. El ensayo consiste en ejercer mediante un gato hidráulico una fuerza en el extremo inferior de la varilla a velocidad controlada; según *CEB Bulletin d'Information* Nro. 13 (1983), para una barra de 12 mm de diámetro, la fuerza es $v = 72 \text{ N/seg}$. La longitud adherida para esta barra es de 60 mm y como se puede observar en la figura 10, la zona de adherencia se encuentra en la parte superior de la probeta, alejada de la zona central para evitar que el efecto arco interfiera en el fenómeno¹.

¹ En la Figura 6 se puede observar un esquema de este ensayo normalizado de pull-out.

Figura 10: Disposición ensayo RILEM

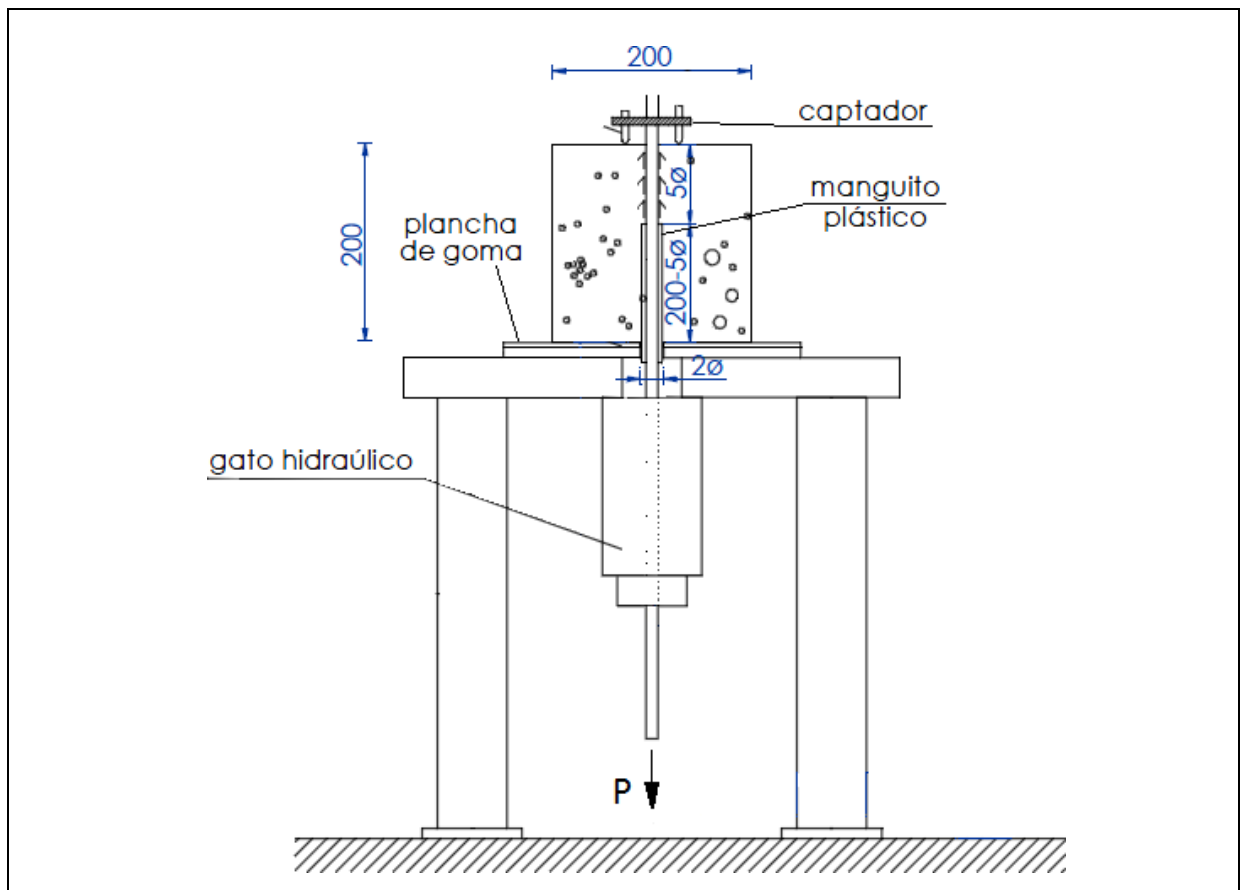
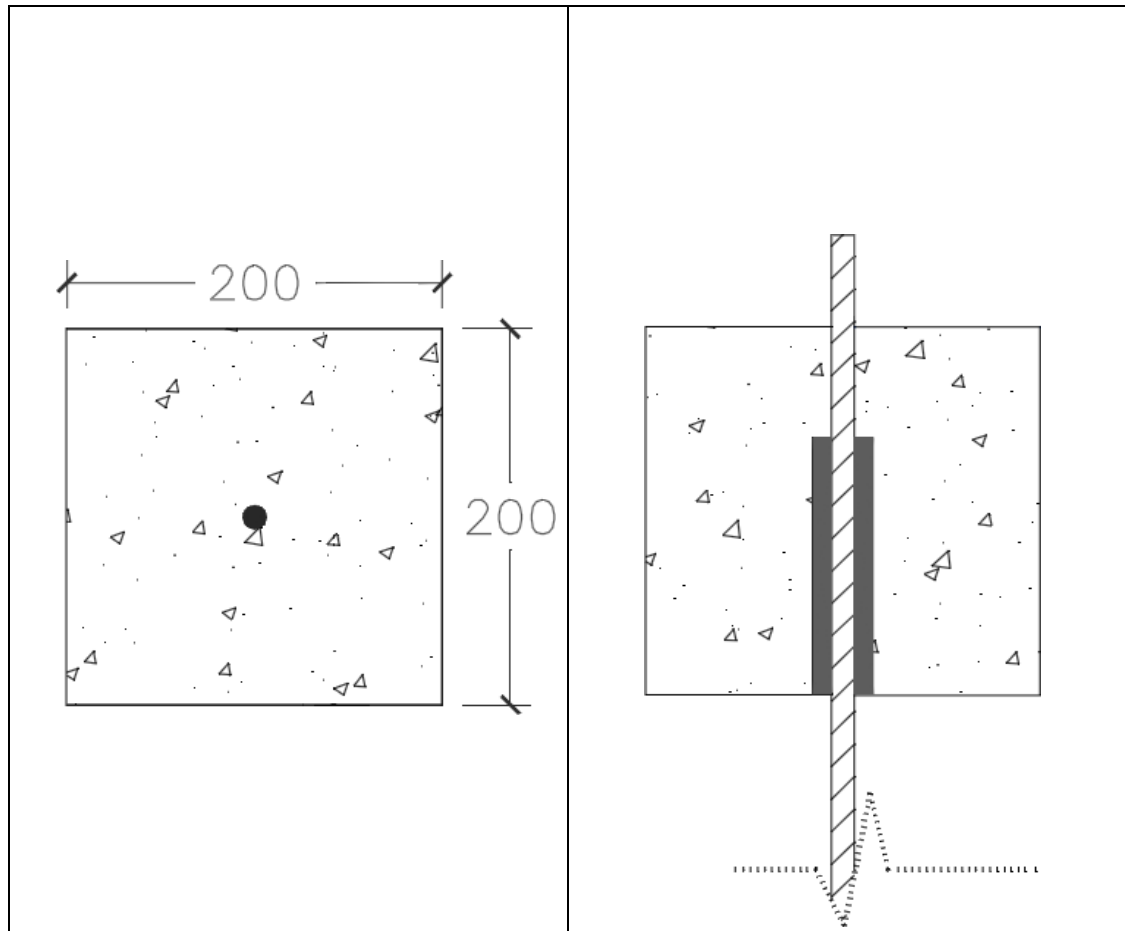


Figura 11: Diseño de la probeta



3.2 Proceso de Desarrollo

Teniendo claro el procedimiento experimental a realizar, se desarrolló lo siguiente:

3.2.1 Encofrados

Los encofrados para las probetas se fabricaron cada uno con cinco pedazos de madera, que se ensamblaron con tornillos para poder formar un cubo que en su interior tiene las dimensiones requeridas de 20x20x20cm, en sus dos caras paralelas

se realizó un agujero central donde se cruza la varilla de acero quedando en posición perpendicular en las caras de la probeta (ver figura 12).

Figura 12: Encofrados



3.2.2 Proceso de selección del tipo de corrugado de las varillas de acero

Se seleccionaron dos tipos de corrugados que se oferta en el área comercial de la construcción.

El primer tipo de corrugado tiene una inclinación con respecto al eje longitudinal como se ve en la figura 13, el cual es identificado como T1.

Figura 13: Tipo de corrugado T1



El segundo tipo de corrugado es perpendicular con respecto al eje longitudinal de la varilla como se ve en la figura 14, el cual es identificado como T2.

Figura 14: Tipo de corrugado T2



3.2.3 Proceso de la Técnica de corrosión acelerada

El ensayo de corrosión acelerada se realiza mediante la aplicación de una corriente eléctrica entre el ánodo y las barras a corroer.



Se procedió a cortar las varillas de acero de 50cm de longitud las mismas que se sometieron a un proceso de corrosión acelerada por medio de electrolisis bajo la norma ASTM G31-72.

Al realizar este proceso, las variables que intervinieron fueron: el voltaje suministrado, el contenido de la solución NaCl (sal) y el tiempo de exposición de las varillas a la corriente eléctrica.

Se hicieron varias pruebas para encontrar el tiempo y el voltaje requerido para alcanzar los porcentajes de oxidación estimados, pero al ser un procedimiento experimental se lograron encontrar porcentajes similares a los deseados, por lo cual se tomó en cuenta este fenómeno que se nos presentó para que nuestros porcentajes de oxidación de las varillas tenga un rango de tolerancia de +- 3% y así poder clasificar el rango de oxidación en ligeramente, medianamente y severamente oxidadas.

Se utilizaron los siguientes instrumentos para el proceso de oxidación acelerado:

- Una fuente de energía de 110 voltios que suministra de 6 a 12 voltios de corriente continua y consta de una potencia mayor a dos amperios
- Siete conectores tipo lagarto
- Dos metros de cable
- Un metro de cable de cobre
- Un recipiente de plástico
- Dos litros de agua con 5% de solución de NaCl (sal).

En el recipiente de plástico se colocaron dos litros de agua con el 5% de solución de NaCl.

Se procedió a colocar 5 varillas de acero en el recipiente de plástico.

Se colocaron dos cables en el interior del recipiente conectados a la carga negativa evitando tocar las varillas de acero.

Se conectaron las varillas de acero a la carga positiva por medio de los conectores tipo lagarto.

Se activó la fuente de energía y se sometió al proceso de oxidación acelerada por descargas eléctricas; luego de un tiempo de exposición las varillas se clasificaron en ligera, mediana y severamente oxidadas.

El proceso de oxidación no fue fácil, ya que se realizaron varias pruebas para determinar el tiempo de exposición de las varillas de acero a la corriente eléctrica. En efecto, se determinó el tiempo de exposición del ensayo para poder obtener un porcentaje similar que fue de 4 horas para el caso del 25%, 8 horas para el caso del 50% y 12 horas para el caso de 75%.

Figura 15: Proceso de Corrosión

<p>Corte de las varillas</p>	<p>Suelda de cables</p>	<p>Cables soldados</p>
<p>Aplicación de la técnica de corrosión acelerada</p>	<p>Estados de corrosión de las varillas, de derecha a izquierda, 25%, 50%, 75%</p>	<p>Varillas corroídas</p>

3.2.4 Proceso de Pasivación

Se colocó un agente pasivador a las varillas de acero. Con la ayuda de una brocha se aplicó tres veces el agente pasivador en la zona deseada con un tiempo

de espera para que exista un secado previo y se vaya adquiriendo una capa con cada aplicación (véase la figura 16).

Descripción del agente pasivador. - SikaTop -Armaterc -110 EpoCem es un producto a base de cemento y resinas epoxi modificadas y cumple los requerimientos de la norma EN 1504-7. Contiene 3 componentes con inhibidor de la corrosión y es usado como puente de adherencia y protección anticorrosiva de armadura. (SIKA.com.ar, 2015)

Figura 16: Producto pasivador en las varillas



3.2.5 Proceso de elaboración de las probetas

Previo a la colocación del hormigón en los encofrados, se debe ubicar las varillas de acero en las cajas, para cumplir este procedimiento hay que considerar lo siguiente:

- Las cajas de los encofrados deben estar debidamente construidas.
- Las varillas de acero deben estar clasificadas de acuerdo con el rango de oxidación.
- Las varillas de acero deben estar instaladas en un tubo PVC con una cinta aislante que sirve para aislar la parte de la varilla de acero que no va en contacto con el hormigón.
- Se debe identificar cada probeta con una nomenclatura.

Para elaborar las probetas, fue necesario adquirir medio metro cúbico de hormigón de 250 Kg/cm² de un oferente comercial de la ciudad y se procedió a colocar 0.008 m³ de hormigón en cada probeta.

Posterior a ello, se realizó el curado de cada una de las probetas de manera continua durante 7 días.

Figura 17: Vertido de Hormigón

<p>Varilla con corrosión</p>	<p>Encofrados instalado la varilla y el tubo PVC</p>	<p>Encofrados codificados</p>
<p>Encofrados listos para el vertido del hormigón</p>	<p>Colocación del Hormigón de 250 Kg/cm²</p>	<p>Probetas terminadas</p>

3.2.6 Proceso de ejecución de las pruebas de Pull Out Test

Las probetas fueron transportadas al laboratorio de la Universidad de Cuenca para realizar las pruebas de “pull out”.



Las probetas se colocaron en la prensa hidráulica, misma que estuvo adecuada óptimamente para el ensayo.

La probeta se colocó fijamente en la prensa hidráulica, como lo estipula el ensayo de “pull out” y se procedió a aplicar la carga en dicha probeta.

Los ensayos de “pull out” procedieron de la siguiente manera:

Paso 1: Ensayo de las probetas sin corrosión en las varillas de acero y colocando su respectiva nomenclatura: OX0T1 (Óxido 0% Tipo de corrugado 1) y OX0T2 (Óxido 0% Tipo de corrugado 2).







Paso 2: Ensayo de las probetas con corrosión del 25% en las varillas de acero y colocando su respectiva nomenclatura: OX25T1 (Óxido 25% Tipo de corrugado 1) y OX25T2 (Óxido 25% Tipo de corrugado 2).

Paso 3: Ensayo de las probetas con corrosión del 50% en las varillas de acero y colocando su respectiva nomenclatura: OX50T1 (Óxido 50% Tipo de corrugado 1) y OX50T2 (Óxido 50% Tipo de corrugado 2).

Paso 4: Ensayo de las probetas con corrosión del 75% en las varillas de acero asignándole su respectiva nomenclatura: OX75T1 (Óxido 75% Tipo de corrugado 1) y OX75T2 (Óxido 75% Tipo de corrugado 2).

Paso 5: Ensayo de las probetas con el agente pasivador en las varillas de acero sin oxidación asignándole su respectiva nomenclatura: PAST1 (Pasivador Tipo de corrugado 1) y PAST2 (Pasivador Tipo de corrugado 2).

Figura 18: Ensayo Pull Out

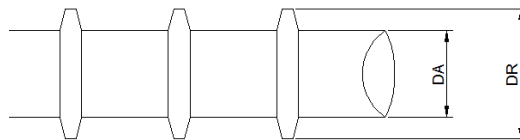
		
<p>Colocación de la probeta en la prensa</p>	<p>Aplicando la carga a la probeta</p>	<p>Aplicando la carga a la probeta de 75% de corrosión</p>
		
<p>Colocación de la probeta</p>	<p>Medición del desplazamiento</p>	<p>Aplicando la carga a la probeta</p>

4 Resultados

4.1 Resultados de los ensayos de la oxidación acelerada de las varillas de acero.

Los ensayos de oxidación que se realizaron fueron óptimos, ya que se alcanzaron los porcentajes deseados de oxidación en las varillas de acero.

Para determinar cada uno de los porcentajes de oxidación se procedió a limpiar el óxido y medir el diámetro de la varilla de acero con un micrómetro y con la nueva medida del diámetro se calculó el número de micras perdidas con respecto al diámetro inicial.



$$\%Dox = \frac{\Delta DR * 100}{\Delta DRA} * CPD$$

%Dox= Porcentaje corrosión

DR= Diámetro con el corrugado

DA=Diámetro del Alma

DRC=Diámetro con la perdida de corrosión

$$\Delta DR = DR - DRC = 13 - 12.74 = 0.26 \text{ mm}$$

$$\Delta DRA = DR - DA = 13 - 11.30 = 1.7 \text{ mm}$$

Carlos Julio Barros Ochoa

CPD= 1.65 Constante de pérdida experimental de corrosión del diámetro al perder por completo el nivel de corrugado de la varilla. $CPD = \frac{\Delta DR * 100}{\Delta DRA}$

$$\%Dox = \frac{0.26 * 100}{1.7} * 1.65$$

$$\%Dox = 25.23$$

Figura 19: Medición de los diámetros



Las tablas que se describen a continuación, muestran el porcentaje de oxidación de las varillas.



Tabla 1: Porcentaje de oxidación de las varillas tipo 1

Varillas								
Tipo de varilla	1	Voltaje	12 voltios		Corrugado	1	Diámetro	13mm
Total de Horas				Diámetros inicial	Diámetros final	25%	50%	75%
				mm	mm			
4				13	12.74	25.24		
4				13.02	12.73	28.15		
4				12.99	12.71	27.18		
4				13.01	12.75	25.24		
4				13	12.72	27.18		
						0		
8				13	12.45		53.38	
8				13.01	12.48		51.44	
8				13	12.46		52.41	
8				12.98	12.45		51.44	
8				12.99	12.47		50.47	
							0	
12				13.01	12.2			78.62
12				13.02	12.23			76.68
12				13	12.21			76.68
12				12.99	12.2			76.68
12				12.97	12.2			74.74



Tabla 2: Porcentaje de oxidación de las varillas tipo 2

Tipo de varilla	2	Voltaje	12 voltios		Corrugado	2	Diámetro	13mm
Total de Horas				Diámetros inicial	Diámetros final	25%	50%	75%
				mm	mm			
	4			12.6	12.4	22.76		
	4			12.58	12.38	22.76		
	4			12.61	12.38	26.17		
	4			12.6	12.39	23.90		
	4			12.63	12.4	26.17		
						0		
	8			12.61	12.15		52.34	
	8			12.63	12.19		50.07	
	8			12.6	12.17		48.93	
	8			12.59	12.15		50.07	
	8			12.6	12.15		51.21	
							0	
	12			12.62	12			70.55
	12			12.6	11.97			71.69
	12			12.57	11.96			69.41
	12			12.61	11.99			70.55
	12			12.6	12			68.28




4.2 Resultados de los ensayos de compresión del Hormigón

Se tomaron 5 probetas cilíndricas de hormigón para realizar los ensayos de compresión del hormigón que fue empleado en la elaboración de las probetas para los ensayos del “pull out”.


Al realizar los ensayos de la resistencia a la compresión de cilindros, se pudo comprobar que el hormigón propuesto para el ensayo “pull out” alcanzó una resistencia óptima, que fue de 250 Kg/cm². Esto se ve reflejado en la tabla 3.



Tabla 3: Resistencia del hormigón

 TITANIUM ROAD Expertos en suelos, concretos y asfaltos.														
PROYECTO: CONTROL DE CALIDAD DE HORMIGÓN														
CONTRATISTA: Sr. CARLOS BARROS														
Ensayo : DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN														
Norma : ASTM C 31														
Ensayado por : Lab. Pedro Arce														
Revisado por : Ing. Flavio Albarracin Llivisaca														
										Velocidad de ensayo: 5 kg/cm2/s				
ID LAB	DISEÑO	ELEMENTO	FECHA	DIAS	FECHA	Ø	H	AREA	PESO	DENSIDA	CARGA DE	RESISTENCIA		PORCENTA
	f'c (kg/cm2)	ESTRUCTURAL	CONFECCION		ROTURA	cm	cm	cm²	gr	kg/m³	ROTURA (kN)	kg/cm²	MPa	%
1	250	Probetas para el ensayo The Pull Out Test	7/1/2021	7	14/1/2021	15.2	30	181.5	12872	2364.5	336.7	189	19.3	76%
2	250		7/1/2021	7	14/1/2021	15.2	29.8	181.5	12744	2356.7	307.6	173	17.6	69%
3	250		7/1/2021	28	4/2/2021	15.2	29.4	181.5	12755	2390.9	455.3	256	26.1	102%
4	250		7/1/2021	28	4/2/2021	15.1	29.8	179.1	12760	2391.1	452.2	258	26.2	103%
5	250		7/1/2021	28	4/2/2021	15.0	30	176.7	12915	2436.1	450.9	260	26.5	104%

PEDRO ARCE
LABORATORISTA



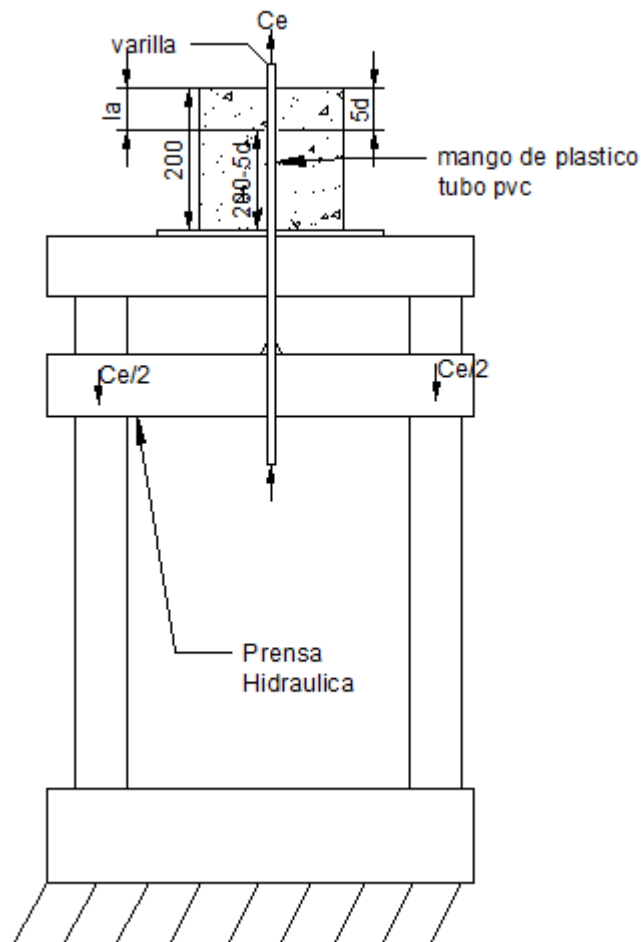
Firmado electrónicamente por:
FLAVIO HERNESTO ALBARRACIN
ING. FLAVIO ALBARRACIN
CONTROL DE CALIDAD

4.3 Resultados de los Ensayos “Pull Out”

En los ensayos de “pull out” se ha analizado la adherencia entre el hormigón y la varilla de acero, por medio de la relación entre la carga aplicada y el desplazamiento.

Los datos obtenidos del ensayo “pull out” son: la carga aplicada en la barra en el extremo activo, el deslizamiento en el extremo pasivo y la falla producida, para poder calcular la tensión de adherencia, esto mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{C_e}{\pi * d * l_a}$$



En donde:

τ = Tensión de adherencia

C_e = Carga Aplicada

d = diámetro de la varilla

l_a = longitud de adherencia= 5d

A continuación, se muestra los resultados obtenidos:

4.3.1 Resultados de los ensayos sin corrosión

Tabla de los ensayos de “pull out” sin corrosión en las varillas de acero con el tipo de corrugado T1

Tabla 4: Resultados de los ensayos T1OX0 “pull out” sin corrosión

Probetas	Desplazamiento (mm)	Carga máxima (KN)	Tensión de adherencia (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
T1OXOT1	15.2	57.65	259.81	287.52
T1OXOT2	13.4	50.33	226.82	
T1OXOT3	18.9	59.61	268.64	
T1OXOT4	20.3	72.13	325.06	
T1OXOT5	15.1	79.28	357.28	

Figura 20: Gráfica de los resultados de los ensayos T1OX0 Carga-Desplazamiento

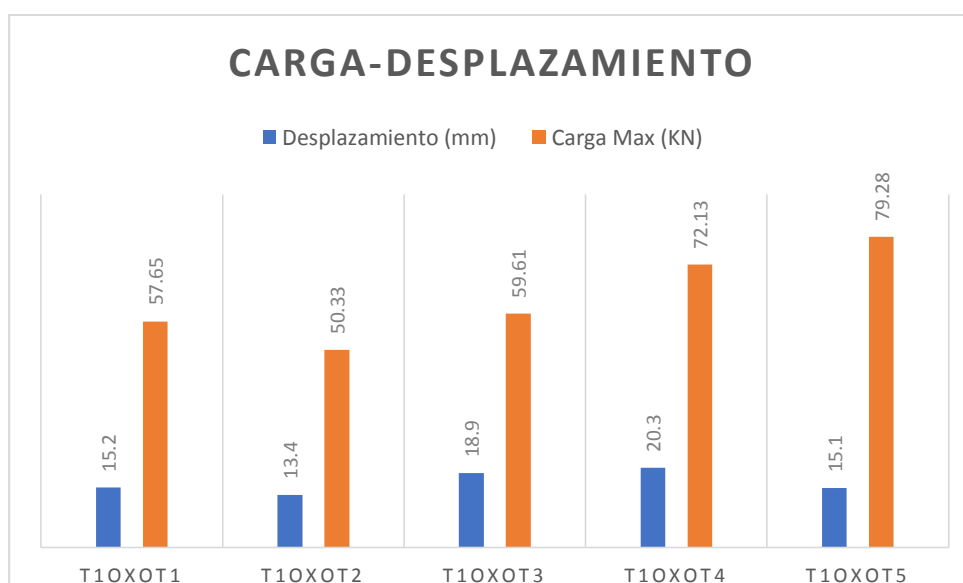


Tabla de los ensayos de “pull out” sin corrosión en las varillas de acero con el tipo de corrugado T2.

Tabla 5: Resultados de los ensayos T2OX0 “pull out” sin corrosión

Probetas	Desplazamiento (mm)	Carga máxima (KN)	Tensión de adherencia (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
T2OXOT1	9.6	62.44	281.39	274.06
T2OXOT2	13	66.96	301.76	
T2OXOT3	14.6	59.8	269.49	
T2OXOT4	12.6	51	229.84	
T2OXOT5	13.5	63.87	287.84	

Figura 21: Gráfica de los resultados de los ensayos T2OX0 Carga-Desplazamiento

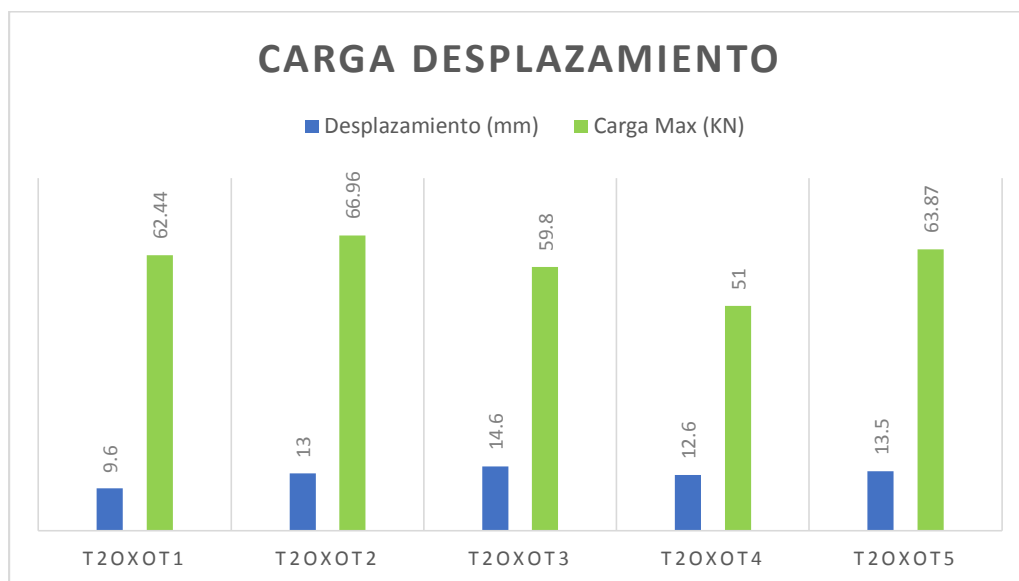


Tabla de promedios de los resultados obtenidos en los ensayos “pull out” sin corrosión en las varillas de acero con los dos tipos de corrugados.

Tabla 6: Resultados de los ensayos sin corrosión de T1 y T2

Probetas	Desplazamiento promedio (mm)	Desviación estándar del desplazamiento	Carga máxima promedio (KN)	Desviación estándar de la carga	Tensión de adherencia promedio (Kg/cm ²)	Desviación estándar de la tensión de adherencia
T1OXOT6	16.58	2.89	63.80	11.68	287.52	52.64
T2OXOT6	12.66	1.87	60.81	6.06	274.06	27.33

Figura 22: Gráfica de los resultados de Carga-Desplazamiento de T1 y T2 sin corrosión

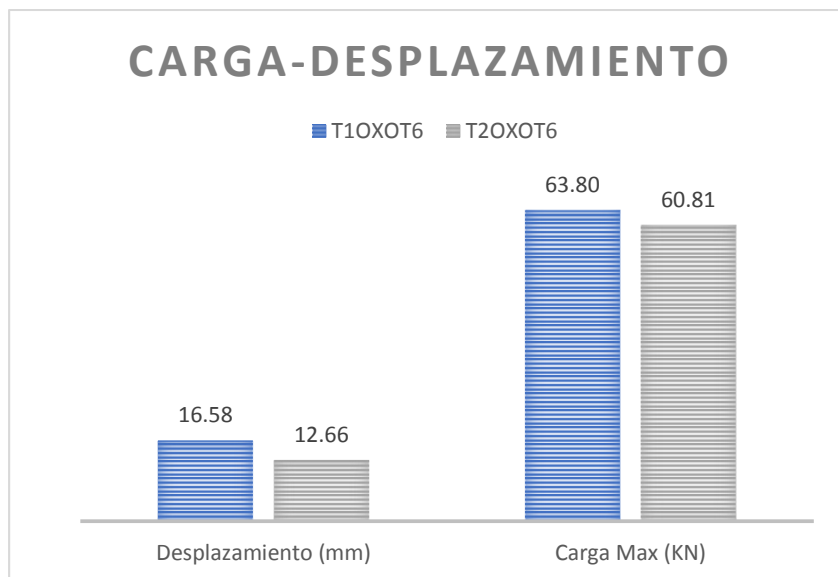
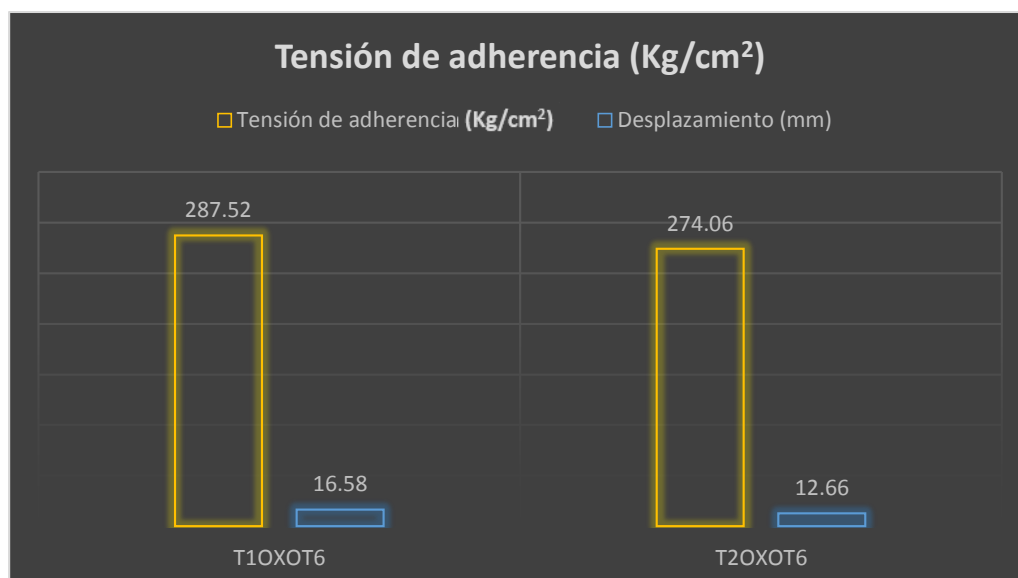


Figura 23: Gráfica de los resultados de la Tensión de Adherencia de T1 y T2 sin corrosión



En la gráfica de tensión de adherencia de los ensayos sin corrosión se puede observar que la tensión de adherencia "T1OXOT6" tipo de corrugado T1 alcanza un mayor valor que "T2OXOT6" tipo de corrugado T2.

Al alcanzar el valor máximo de tensión de adherencia entre los dos tipos de corrugados, el desplazamiento de T1 es mayor a T2 marcando una diferencia notable en el análisis de la forma geométrica del tipo de corruga que interviene al momento de desplazarse.

4.3.2 Resultados de los ensayos con el 25% de corrosión

Tabla de los ensayos de “pull out” con un porcentaje de corrosión del 25 % en las varillas de acero con el tipo de corrugado T1.

Tabla 7: Resultados de los ensayos T1OX25 “pull out” con corrosión 25%

Probetas	Desplazamiento (mm)	Carga máxima (KN)	Tensión de adherencia (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
T1OX25T1	14.9	51.68	232.90	234.96
T1OX25T2	7.9	55.26	249.03	
T1OX25T3	12.2	48.31	217.71	
T1OX25T4	11.8	59.28	267.15	
T1OX25T5	13.5	46.15	207.98	

Figura 24: Gráfica de los resultados de los ensayos T1OX25 Carga-Desplazamiento

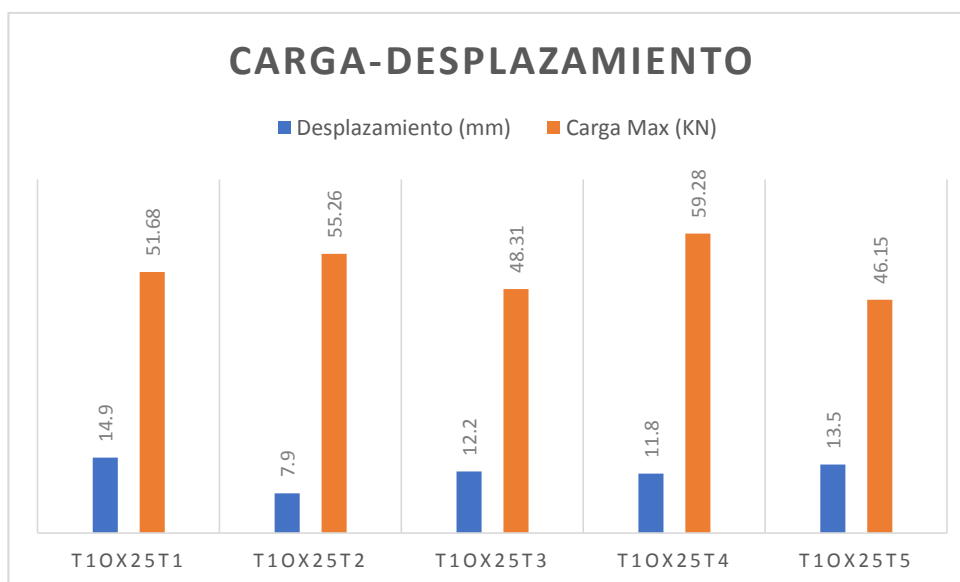
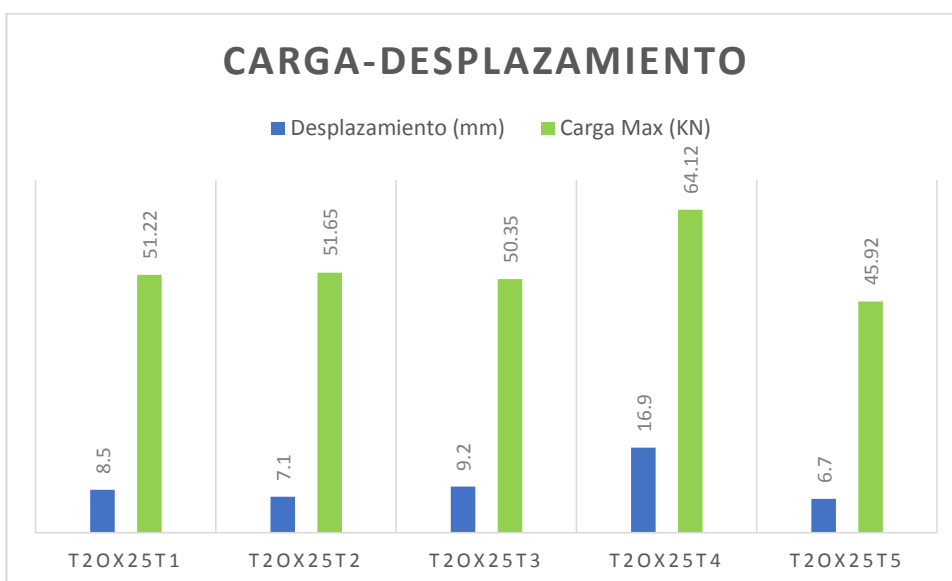


Tabla de los ensayos de “pull out” con un porcentaje de corrosión del 25 % en las varillas de acero con el tipo de corrugado T2.

Tabla 8: Resultados de los ensayos T2OX25 “pull out” con corrosión 25%

Probetas	Desplazamiento (mm)	Carga máxima (KN)	Tensión de adherencia (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
T2OX25T1	8.5	51.22	230.828	237.281
T2OX25T2	7.1	51.65	232.766	
T2OX25T3	9.2	50.35	226.907	
T2OX25T4	16.9	64.12	288.963	
T2OX25T5	6.7	45.92	206.943	

Figura 25: Gráfica de los resultados de los ensayos T2OX25 Carga-Desplazamiento



Promedio de los resultados de los dos tipos de corrugados con un porcentaje de 25% de corrosión

Tabla 9: Resultados de los ensayos con corrosión 25% de T1 y T2

Probetas	Desplazamiento promedio (mm)	Desviación estándar del desplazamiento	Carga máxima promedio (KN)	Desviación estándar de la carga	Tensión de adherencia promedio (Kg/cm ²)	Desviación estándar de la tensión de adherencia
T1OX25T6	12.06	2.62	52.14	5.28	234.96	23.79
T2OX25T6	9.68	4.16	52.65	6.80	237.28	30.66

Figura 26: Gráfica de los resultados de Carga-Desplazamiento de T1 y T2 con corrosión 25%

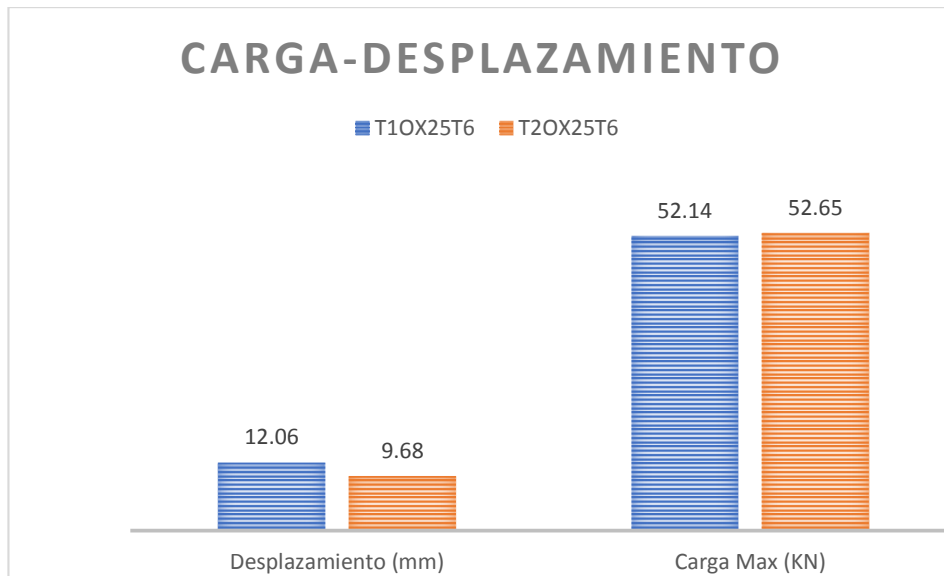
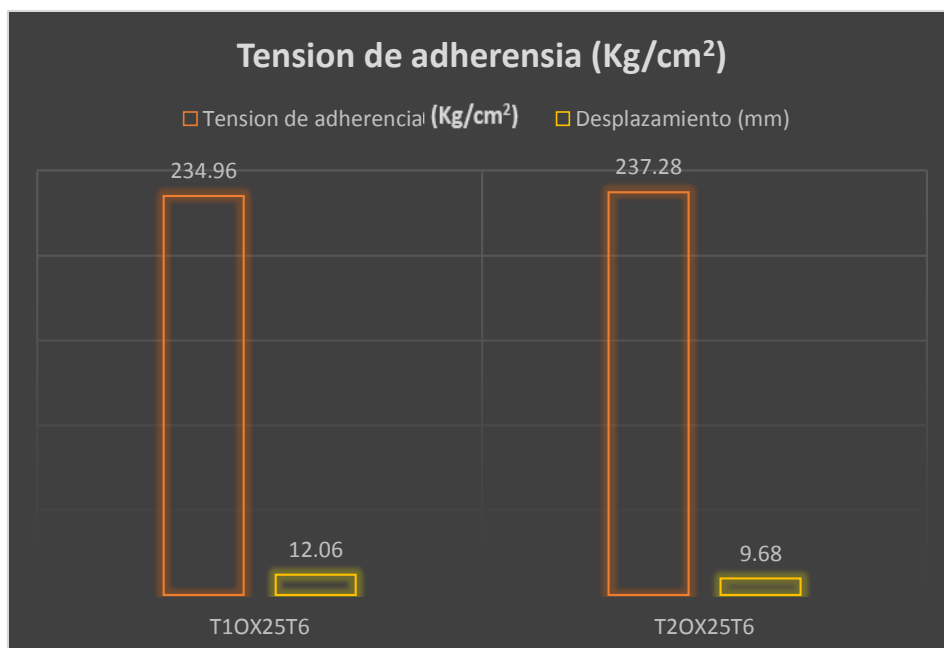


Figura 27: Gráfico de los resultados de la Tensión de Adherencia de T1 y T2 con corrosión 25%



En la gráfica de tensión de adherencia de los ensayos con corrosión del 25% se puede observar que la tensión de adherencia “T1OX25T6” tipo de corrugado T1 alcanza un mayor valor que “T2OX25T6” tipo de corrugado T2.

Al alcanzar el valor máximo de tensión de adherencia entre los dos tipos de corrugados el desplazamiento de T1 es mayor a T2 marcando una diferencia notable en el análisis de la forma geométrica del tipo de corruga que interviene al momento de desplazarse.

4.3.3 Resultado de los ensayos con el 50% de corrosión

Tabla de los ensayos de “pull out” con un porcentaje de corrosión del 50 % en las varillas de acero con el tipo de corrugado T1.

Tabla 10: Resultados de los ensayos T1OX50 “pull out” con corrosión 50%

Probetas	Desplazamiento (mm)	Carga máxima (KN)	Tensión de adherencia (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
T1OX50T1	13.2	49.78	224.34	261.69
T1OX50T2	20.4	72.11	324.97	
T1OX50T3	13.9	66.25	298.56	
T1OX50T4	8.4	41.77	188.24	
T1OX50T5	17.5	60.43	272.33	

Figura 28: Gráfica de los resultados de los ensayos T1OX50 Carga-Desplazamiento

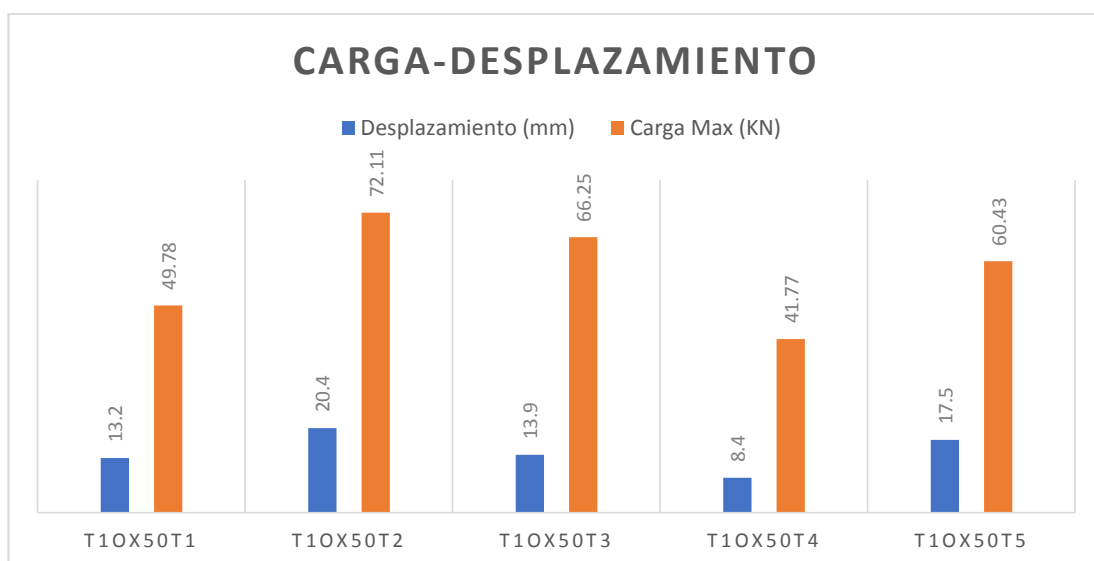
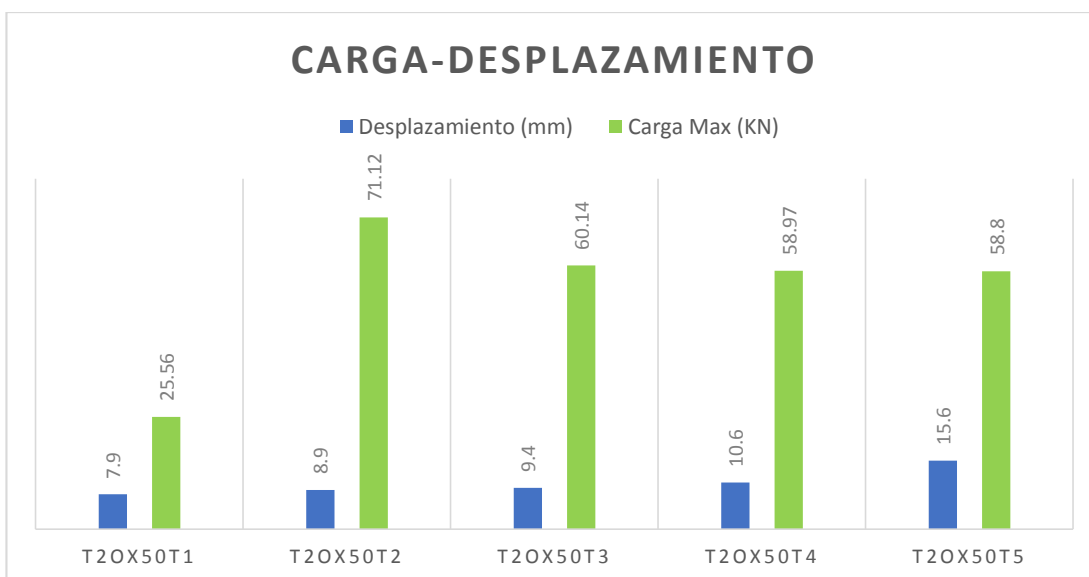


Tabla de los ensayos de “pull out” con un porcentaje de corrosión del 50 % en las varillas de acero con el tipo de corrugado T2.

Tabla 11: Resultados de los ensayos T2OX50 “pull out” con corrosión 50%

Probetas	Desplazamiento (mm)	Carga máxima (KN)	Tensión de adherencia (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
T2OX50T1	7.9	25.56	115.19	247.49
T2OX50T2	8.9	71.12	320.51	
T2OX50T3	9.4	60.14	271.03	
T2OX50T4	10.6	58.97	265.75	
T2OX50T5	15.6	58.8	264.99	

Figura 29: Gráfica de los resultados de los ensayos T2OX50 Carga-Desplazamiento



Promedio de los resultados de los dos tipos de corrugados con un porcentaje de 50% de corrosión.

Tabla 12: Resultados de los ensayos con corrosión 50% de T1 y T2

Probetas	Desplazamiento promedio (mm)	Desviación estándar del desplazamiento	Carga máxima promedio (KN)	Desviación estándar de la carga	Tensión de adherencia promedio (Kg/cm ²)	Desviación estándar de la tensión de adherencia
T1OX50T6	14.68	4.553	58.07	12.29	261.69	55.38
T2OX50T6	10.48	3.023	54.92	17.20	247.49	77.51

Figura 30: Gráfica de los resultados de Carga-Desplazamiento de T1 y T2 con corrosión 50%

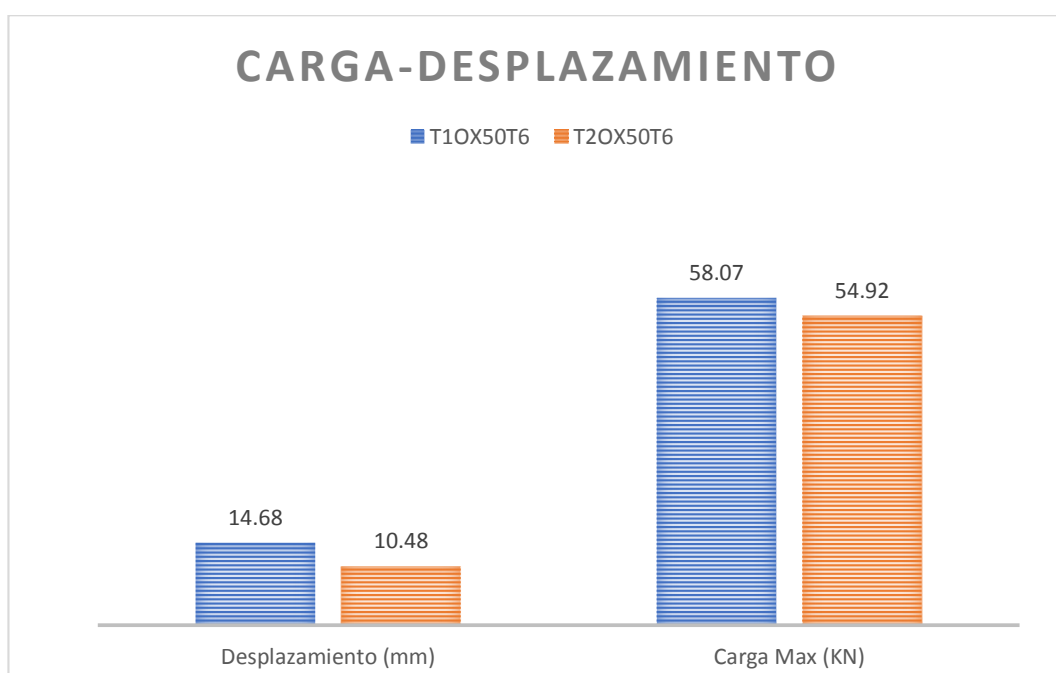
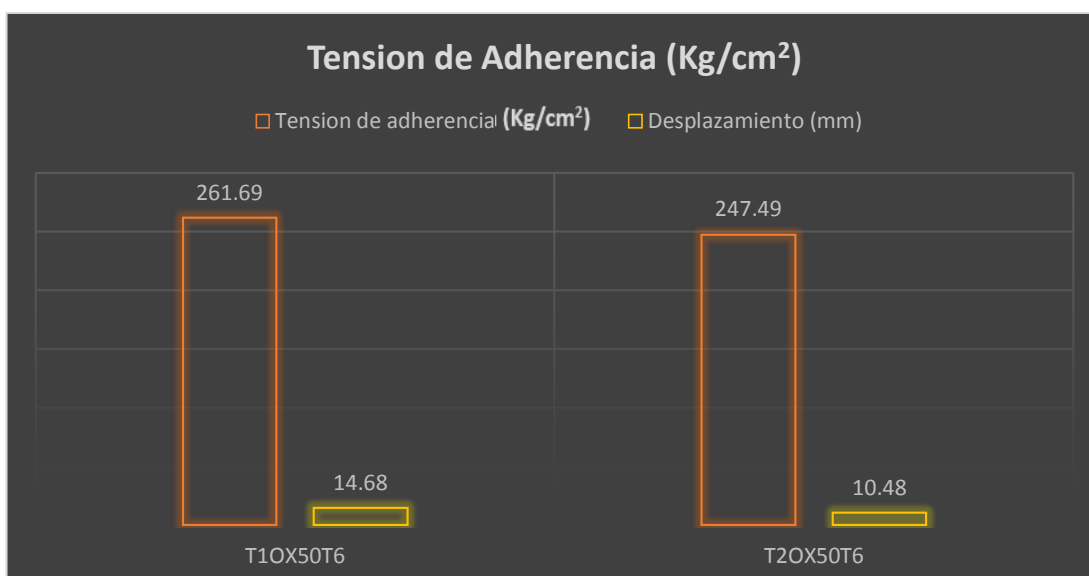


Figura 31: Gráfico de los resultados de la Tensión de Adherencia de T1 y T2 con corrosión 50%



En la gráfica de tensión de adherencia de los ensayos con corrosión del 50% se puede observar que la tensión de adherencia “T1OX50T6” tipo de corrugado T1 alcanza un mayor valor que “T2OX50T6” tipo de corrugado T2.

Al alcanzar el valor máximo de tensión de adherencia entre los dos tipos de corrugados el desplazamiento de T1 es mayor a T2 marcando una diferencia notable en el análisis de la forma geométrica del tipo de corruga que interviene al momento de desplazarse.

4.3.4 Resultados de los ensayos con el 75% de corrosión

Tabla de los ensayos de “pull out” con un porcentaje de corrosión del 75 % en las varillas de acero con el tipo de corrugado T1.

Tabla 13: Resultados de los ensayos T1OX75 “pull out” con corrosión 75%

Probetas	Desplazamiento (mm)	Carga máxima (KN)	Tensión de adherencia (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
T1OX75T1	13.5	55.7	251.02	251.81
T1OX75T2	18.3	50.51	227.63	
T1OX75T3	10.6	55.34	249.40	
T1OX75T4	15.3	63.8	287.52	
T1OX75T5	8.8	54.03	243.49	

Figura 32: Gráfica de los resultados de los ensayos T1OX75 Carga-Desplazamiento

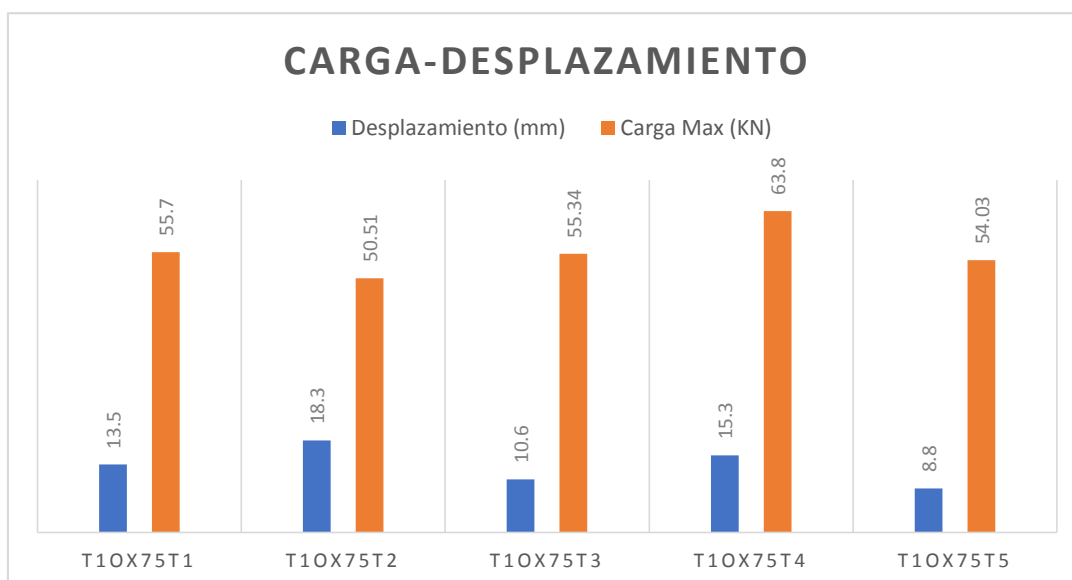
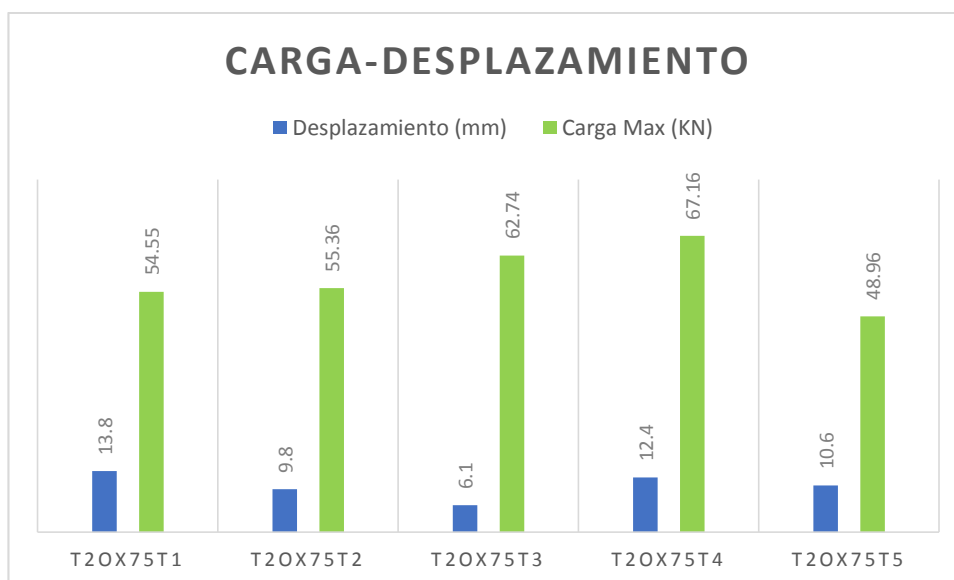


Tabla de los ensayos de “pull out” con un porcentaje de corrosión del 75% en las varillas de acero con el tipo de corrugado T2.

Tabla 14: Resultados de los ensayos T2OX75 “pull out” con corrosión 75%

Probetas	Desplazamiento (mm)	Carga máxima (KN)	Tensión de adherencia (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
T2OX75T1	13.8	54.55	245.83	260.27
T2OX75T2	9.8	55.36	249.49	
T2OX75T3	6.1	62.74	282.74	
T2OX75T4	12.4	67.16	302.66	
T2OX75T5	10.6	48.96	220.64	

Figura 33: Grafica de los resultados de los ensayos T2OX75 Carga-Desplazamiento



Promedio de los resultados de los dos tipos de corrugados con un porcentaje de 75% de corrosión.

Tabla 15: Resultados de los ensayos con corrosión 75% de T1 y T2

Probetas	Desplazamiento promedio (mm)	Desviación estándar del desplazamiento	Carga máxima promedio (KN)	Desviación estándar de la carga	Tensión de adherencia promedio (Kg/cm ²)	Desviación estándar de la tensión de adherencia
T1OX75T6	13.3	3.76	55.88	4.88	251.81	22.00
T2OX75T6	10.54	2.93	57.75	7.19	260.27	32.39

Figura 34: Gráfica de los resultados de Carga-Desplazamiento de T1 y T2 con corrosión 75%

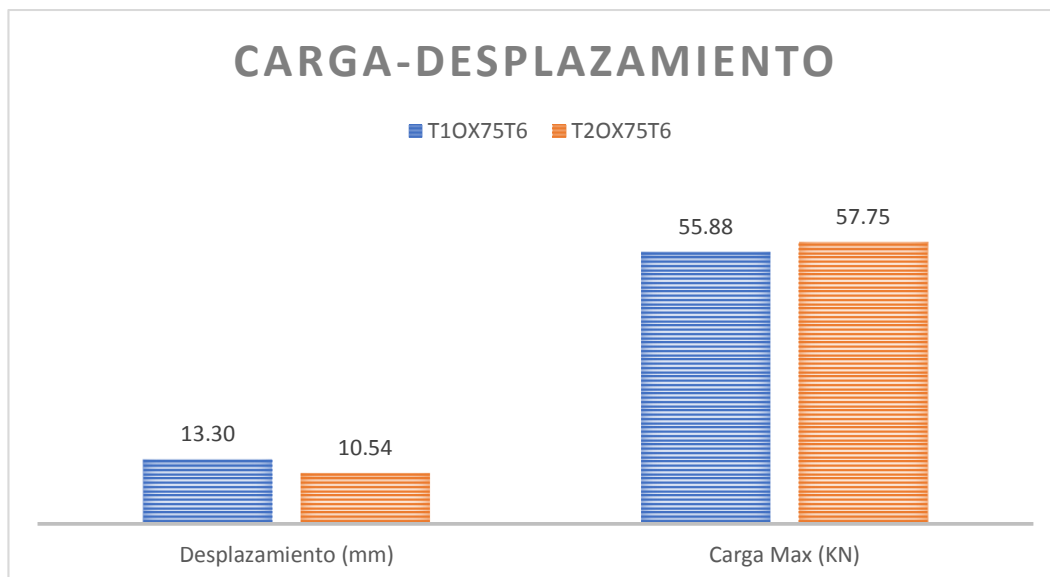
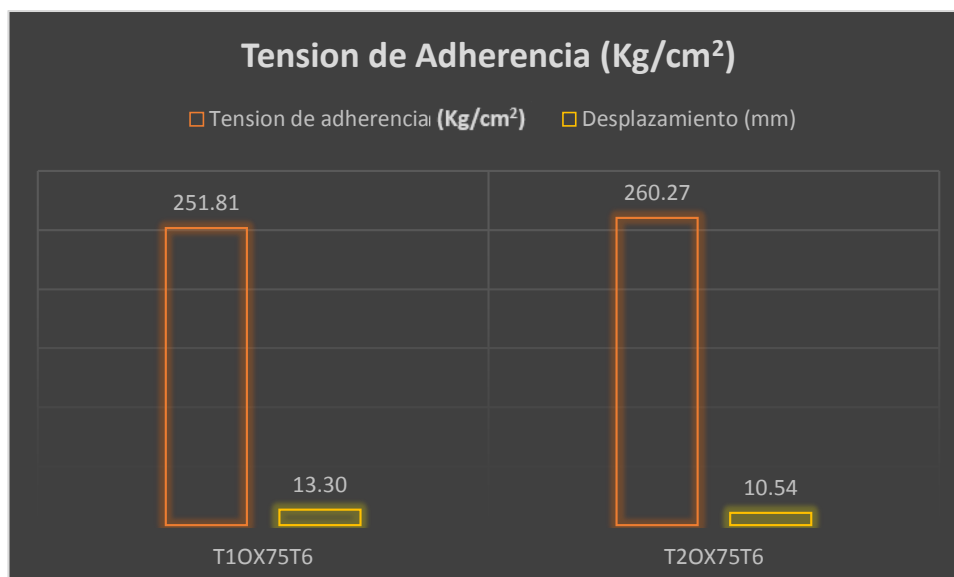


Figura 35: Gráfico de los resultados de la Tensión de Adherencia de T1 y T2 con corrosión 75%



En la gráfica de tensión de adherencia de los ensayos con corrosión del 75% se puede observar que la tensión de adherencia "T2OX75T6" tipo de corrugado T2 alcanza un mayor valor que "T1OX75T6" tipo de corrugado T1.

Al alcanzar el valor máximo de tensión de adherencia entre los dos tipos de corrugados el desplazamiento de T1 es mayor a T2 marcando una diferencia notable

en el análisis de la forma geométrica del tipo de corruga que interviene al momento de desplazarse.

4.3.5 Resultado de los ensayos con Agente pasivador

Tabla de los ensayos de “pull out” con pasivador en las varillas de acero con el tipo de corrugado T1.

Tabla 16: Resultados de los ensayos T1PAS “pull out” con pasivador

Probetas	Desplazamiento (mm)	Carga máxima (KN)	Tensión de adherencia (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
T1PAST1	9.6	62.65	282.34	298.09
T1PAST2	10.3	58.67	264.40	
T1PAST3	18	68	306.45	
T1PAST4	20.3	72.13	325.06	
T1PAST5	15.1	69.28	312.22	

Figura 36: Gráfica de los resultados de los ensayos T1PAS Carga-Desplazamiento

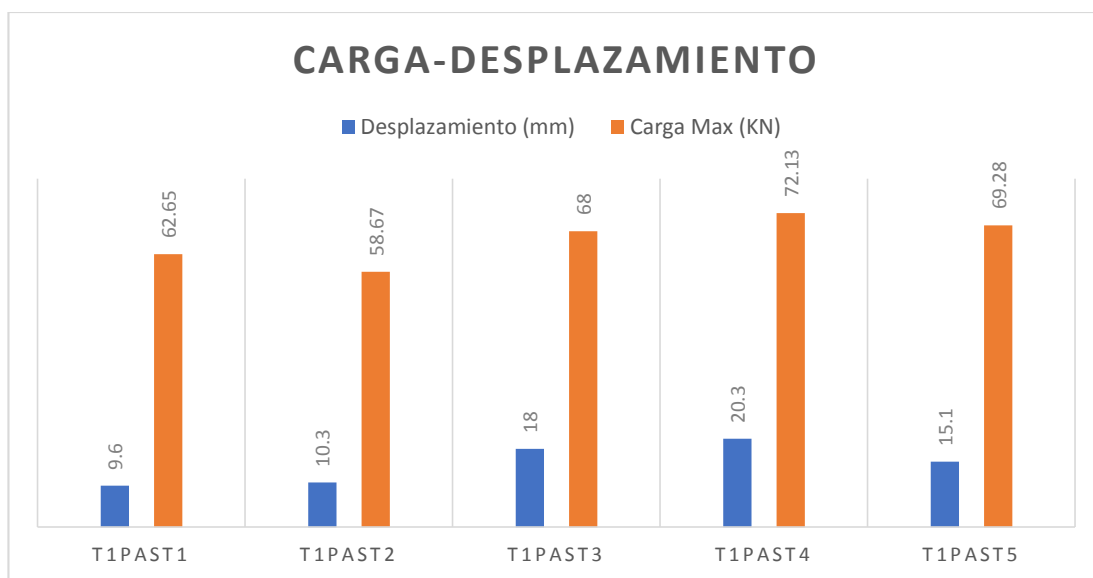
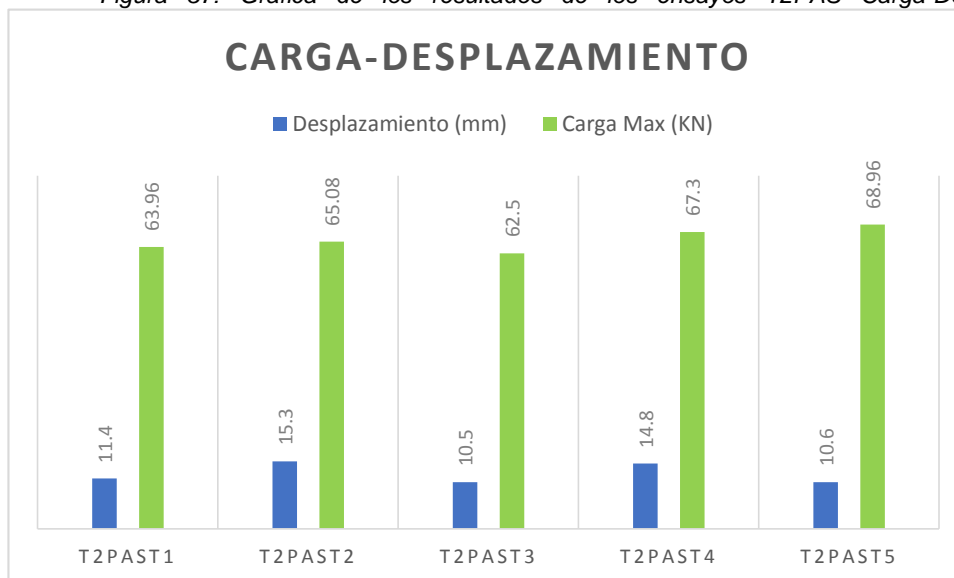


Tabla de los ensayos de “pull out” con pasivador en las varillas de acero con el tipo de corrugado T2.

Tabla 17: Resultados de los ensayos T2PAS “pull out” con pasivador

Probetas	Desplazamiento (mm)	Carga máxima (KN)	Tensión de adherencia (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
T2PAST1	11.4	63.96	288.24	295.45
T2PAST2	15.3	65.08	293.29	
T2PAST3	10.5	62.5	281.66	
T2PAST4	14.8	67.3	303.29	
T2PAST5	10.6	68.96	310.77	

Figura 37: Gráfica de los resultados de los ensayos T2PAS Carga-Desplazamiento





Promedio de los resultados de los dos tipos de corrugados con agente pasivador.

Tabla 18: Resultados de los ensayos con pasivador de T1 y T2

Probetas	Desplazamiento promedio (mm)	Desviación estándar del desplazamiento	Carga máxima promedio (KN)	Desviación estándar de la carga	Tensión de adherencia promedio (Kg/cm ²)	Desviación estándar de la tensión de adherencia
T1PAST6	14.66	4.68	66.15	5.41	298.09	24.39
T2PAST6	12.52	2.34	65.56	2.59	295.45	11.65

Figura 38: Gráfica de los resultados de Carga-Desplazamiento de T1 y T2 con pasivador

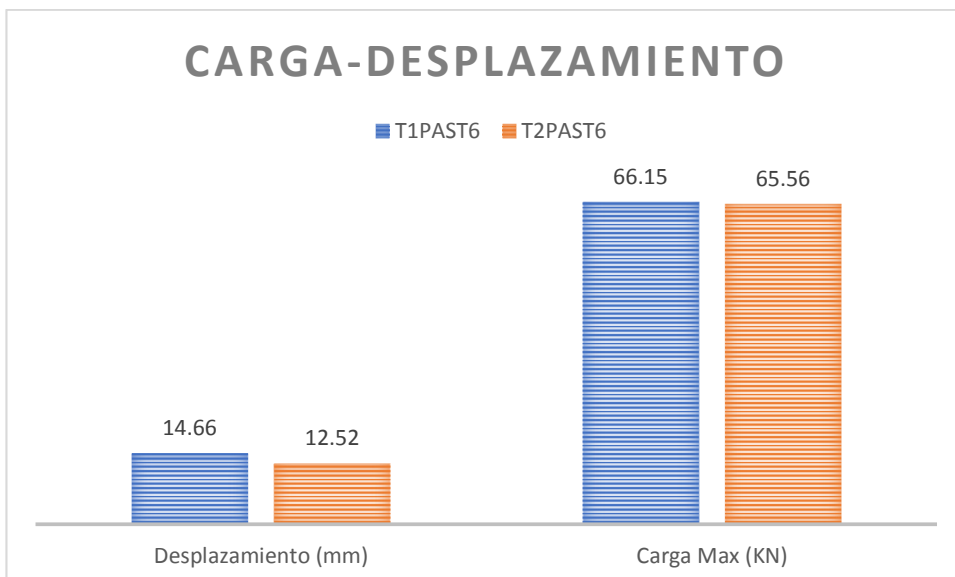
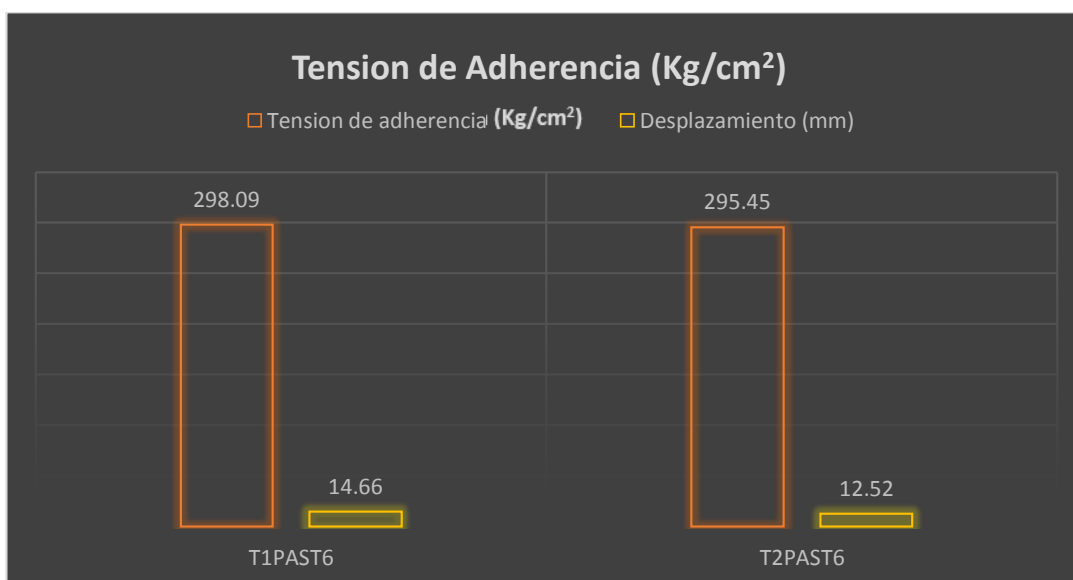


Figura 39: Gráfico de los resultados de la Tensión de Adherencia de T1 y T2 con pasivador



En la gráfica de tensión de adherencia de los ensayos con pasivador se puede observar que la tensión de adherencia “T1PAST6” tipo de corrugado T1 alcanza un mayor valor que “T2PAST6” tipo de corrugado T2.

Al alcanzar el valor máximo de tensión de adherencia entre los dos tipos de corrugados el desplazamiento de T1 es mayor a T2 marcando una diferencia notable en el análisis de la forma geométrica del tipo de corruga que interviene al momento de desplazarse.

4.3.6 Comparación de los resultados de las diferentes configuraciones del estudio.

Tabla de los Resultados obtenidos de los ensayos “pull out” con las diferentes configuraciones experimentales de 0%, 25%, 50%, 75% de oxidación y con agente Pasivador.

Figura 40: Gráfica de los resultados de los ensayos de “pull out” de T1 con 0%, 25%, 50%, 75% y pasivador

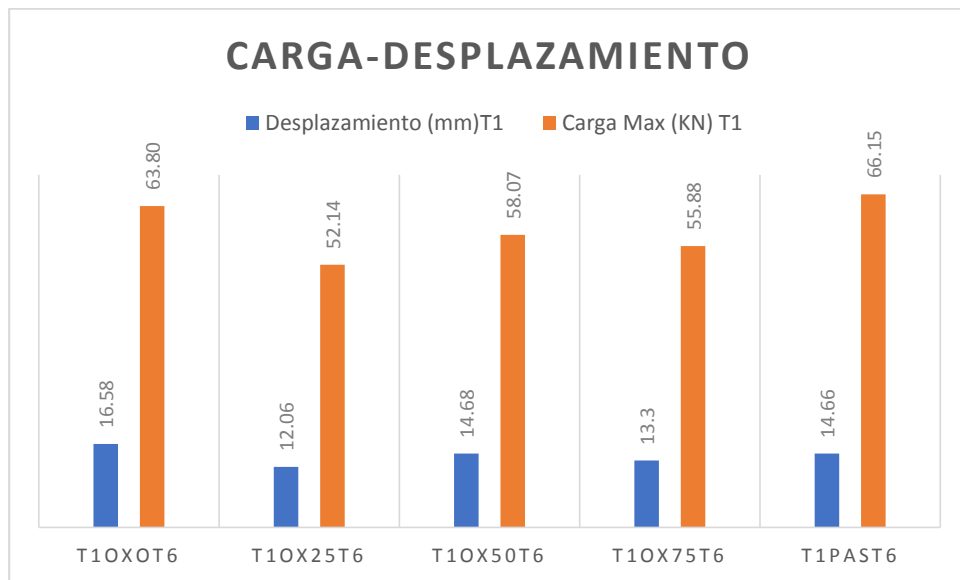


Figura 41: Gráfica de los resultados de los ensayos de “pull out” de T2 con 0%, 25%, 50%, 75% y pasivador

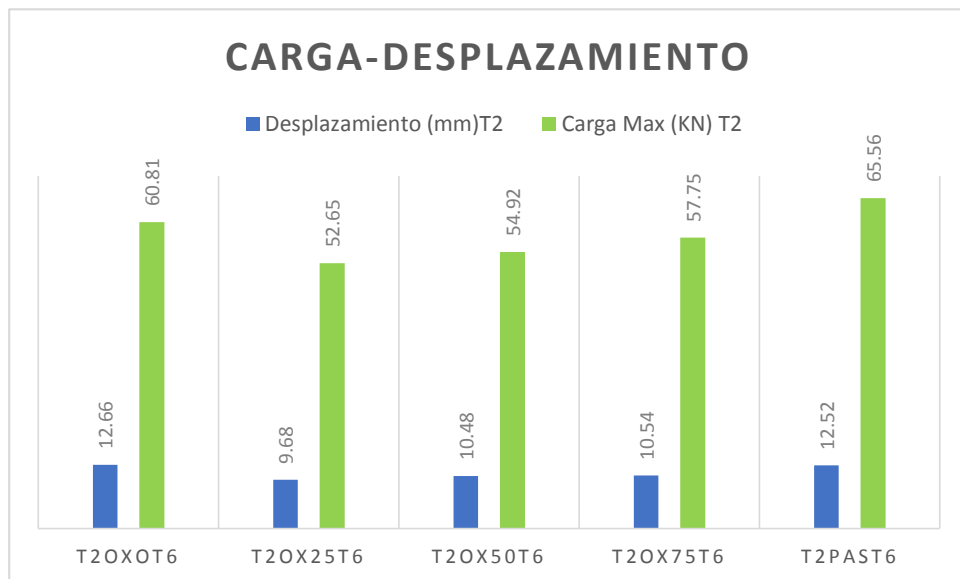


Figura 42: Gráfica de la carga máxima aplicada en los ensayos “pull out”

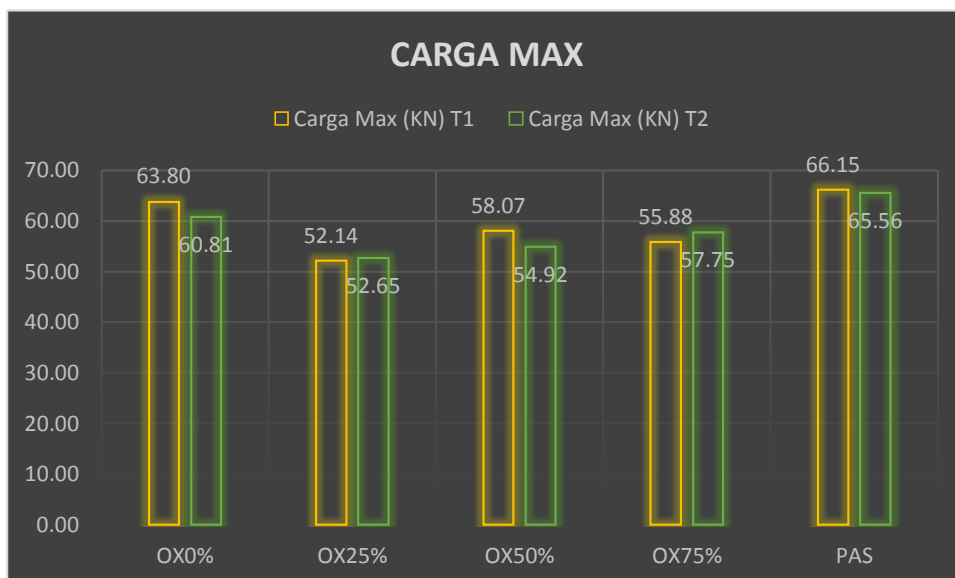
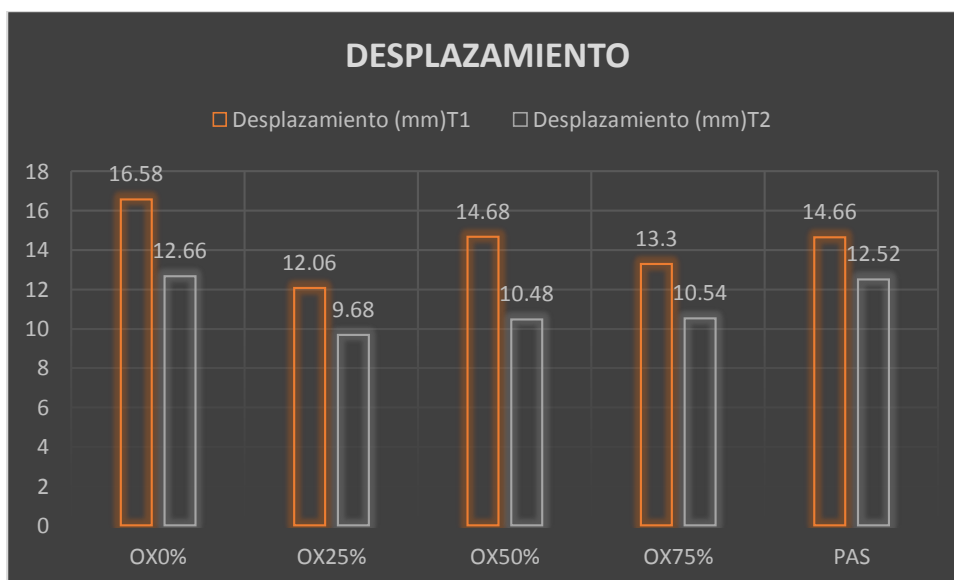


Figura 43: Gráfica de los desplazamientos al llegar a la carga máxima

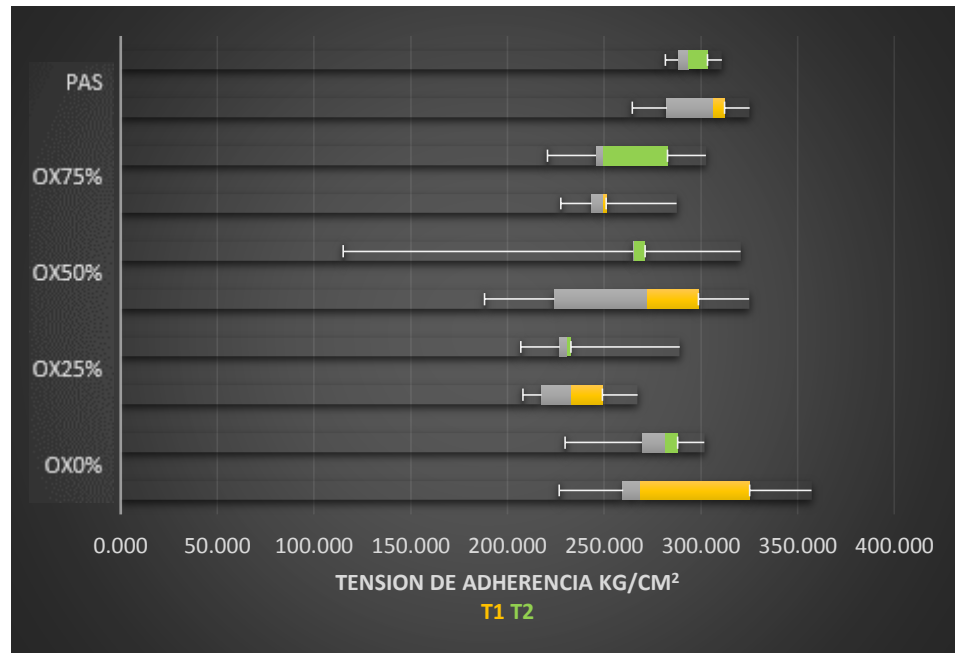


Mediante la comparación entre los dos tipos de corrugados de las varillas y con diferentes grados de corrosión se obtienen los resultados.

Al alcanzar el valor máximo de tensión de adherencia T1 entre los dos tipos de corrugados el desplazamiento de T1 es mayor a T2 marcando una diferencia notable en el análisis de la forma geométrica del tipo de corrugación que interviene al momento de desplazarse.

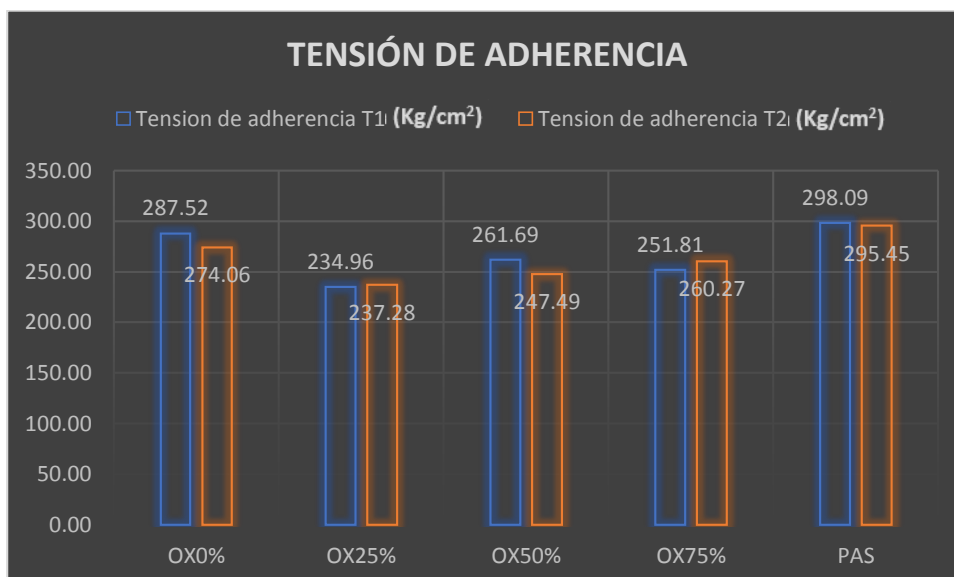
El área específica de T1 es mayor al área específica de T2 para una misma fuerza de tensión, existe mayor superficie (en T1) en donde desarrollar esa tensión por ende soporta mayor esfuerzo de tensión, evidenciando su eficiencia en los resultados obtenidos.

Figura 44: Gráfica de Cajas y Bigotes



En la figura 44 se realizó el diagrama de cajas y bigotes para tener una mejor percepción de los resultados obtenidos y observar su variabilidad y tendencia. Sin embargo, al no contar con suficientes datos para ratificar su comportamiento, el gráfico es una base ilustrativa de los resultados que se obtuvieron de cada uno de los ensayos.

Figura 45: Gráfica de la Tensión de Adherencia de los ensayos “pull out” con sus diferentes configuraciones



En la gráfica se puede apreciar que hay un descenso en los valores máximos de la tensión de adherencia en los estados de oxidación con respecto al estado sin corrosión de los dos tipos de corrugados T1 y T2.

Esto determina que la influencia de los estados de oxidación afecta la tensión de adherencia que tiene el hormigón con el acero.

Así demostramos que los diferentes estados de oxidación no son beneficiosos en la elaboración del hormigón armado.

Por otro lado, al analizar los tres diferentes estados de corrosión de 25%, 50%, 75% observamos que el valor mayor de la tensión de adherencia es el de 50%, esto puede representar que la varilla de acero adquirió mayor micro rugosidad y por ello su tensión de adherencia se incrementó.

El efecto del agente pasivador colocado en las varillas de acero proporciona una eficiencia notable en los resultados de la tensión de adherencia de los ensayos de “pull out”, en comparación con las demás configuraciones del estudio.



5 CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Luego de analizar los datos de la tensión de adherencia, se concluye que la influencia de:

- La oxidación que poseen las varillas de acero en todos sus estados produce una disminución en la tensión de adherencia.
- Los tipos de corrugados del acero brindan un mejor rendimiento de acuerdo con su geometría.
- Al aplicar el agente pasivador en las varillas de acero, éstas adquieren un incremento en la tensión de adherencia.

Se garantizó las características físico-mecánicas esperadas de los materiales que se ocuparon en la fabricación de las probetas; la resistencia promedio que se alcanzó en el hormigón fue de 258 kg/cm^2 y cada uno de los rangos de los estados de oxidación de las varillas de acero de 25%, 50%, 75% cumplieron satisfactoriamente.

Al analizar los datos obtenidos de la tensión de adherencia, se concluyó que el tipo de corrugado (T1) es superior que (T2), alcanzando un máximo valor de tensión de adherencia de 287.52 Kg/cm^2 .

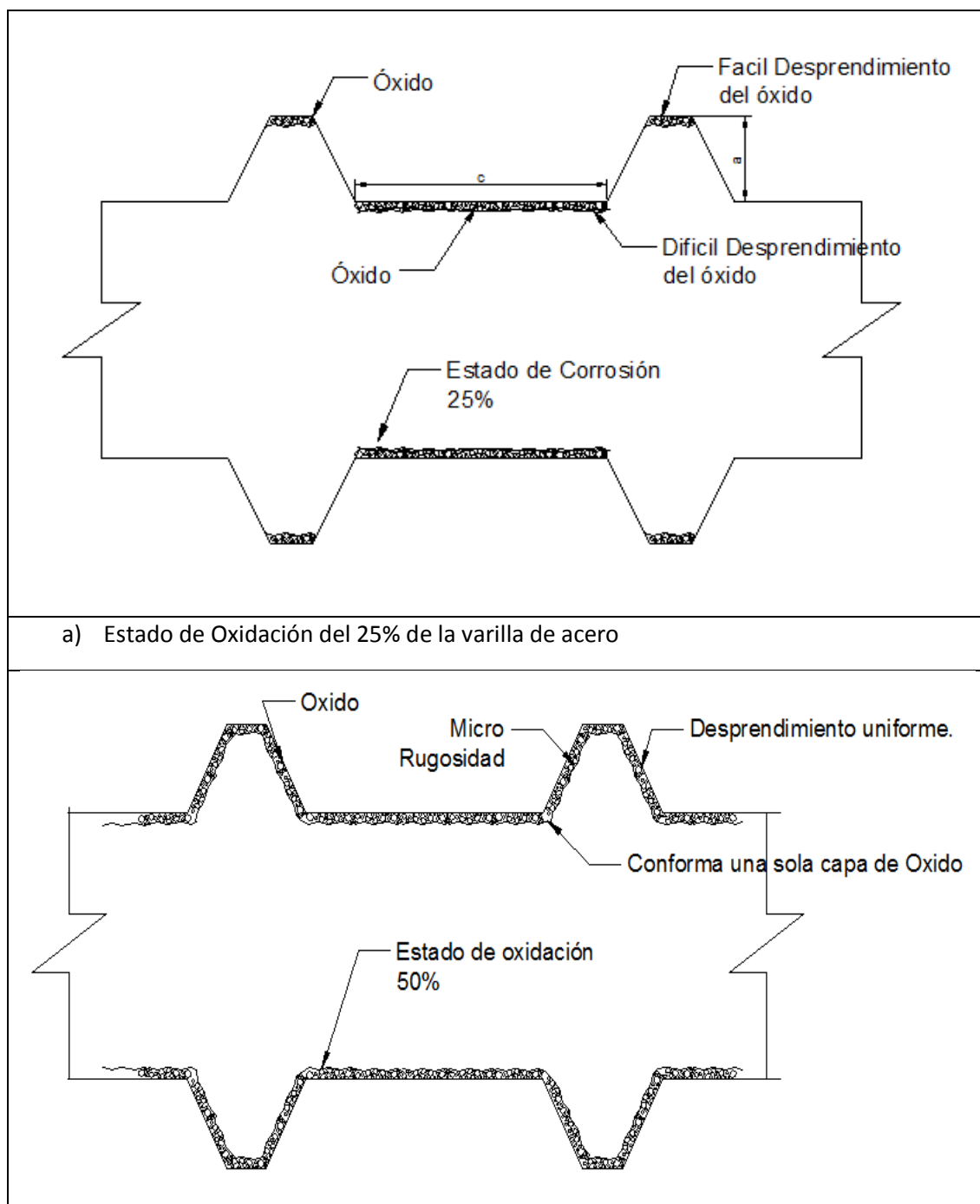
Además, los resultados obtenidos del desplazamiento demuestran que (T1) es mayor que (T2) al alcanzar su máximo valor de 16.58 mm. Por lo cual podemos concluir que: el tipo de corrugado de T1, y su geometría, tienen una influencia positiva, ya que le permite un mayor desplazamiento hasta alcanzar su máxima resistencia. Esto es conveniente ya que nos indica que el hormigón y el acero están trabajando en conjunto con un mayor desplazamiento y así favoreciendo al elemento estructural cuando está sometido a fuerzas externas.

Teóricamente, se dice a menor corrosión, menor pérdida de diámetro de varilla, y por ende mayor tensión de adherencia.

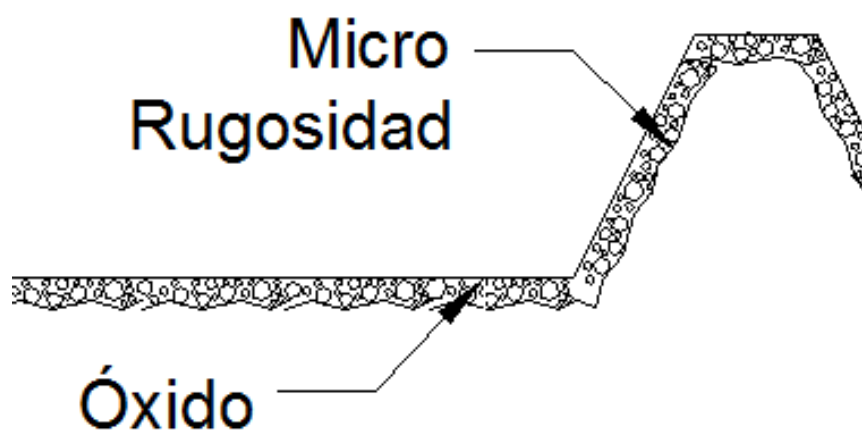
Sin embargo, se observó un caso particular al analizar los datos de los tres estados de oxidación, donde para el 25% se obtuvo menor tensión de adherencia, frente a los resultados de 50% y 75%, esto determinó la necesidad de un análisis a profundidad de este estado de oxidación, donde se observó que el volumen de óxido sobre las corrugaciones se desprende más fácilmente que el que se encuentra en

los espacios de las mismas, generando una menor relación a/c (altura de las corrugas/espacio entre corrugaciones) frente a los estados de oxidación de 50% y 75%, los cuales presentan una oxidación más uniforme, tanto sobre las corrugas como entre el espacio de las mismas (véase en la figura 46 b), esto provoca que en la superficie de las varillas para los estados de 50% y 75% exista un incremento de micro rugosidad (véase en la figura 46 c) adquiriendo mayor tensión de adherencia.

Figura 46: Estado de oxidación de las varillas



b) Estado de Oxidación del 50% de la varilla de acero



c) Rugosidad formada en los estados de Oxidación de 50% y 75%.

Figura 47: Varillas en estado de oxidación





Se concluye que la capacidad de adherencia depende del estado superficial de oxidación de la varilla, ya que, en base a los datos analizados para los diferentes porcentajes de oxidación, se evidencia un descenso en la tensión de adherencia con respecto al estado inicial (sin corrosión). Se observa que el porcentaje de pérdida de adherencia para los estados de oxidación de 25%, 50% ,75%, son 18.28%, 8,98%, 12.42%, respectivamente.

Para todos los ensayos de oxidación sigue siendo desfavorable el desempeño de la tensión de adherencia con respecto al estado sin corrosión y pasivación.

Podemos concluir que el desempeño del agente pasivador y protector aplicado en las varillas de acero permite que la unión entre el hormigón y el acero sea óptima reflejando así su resultado con un valor de 298.09 Kg/cm², correspondiendo a un porcentaje de 108.77% con relación al estado sin corrosión.

5.2 Recomendaciones

Al realizar los ensayos de corrosión acelerada de las varillas de refuerzo se tuvo un problema con la fuente de energía de 1500 mA, esta dejaba de funcionar por falta de potencia, por esta razón se utilizó y se recomienda una fuente de energía mayor a 2000 mA y con una salida máxima de 12 voltios.



Se aconseja que las varillas al ser utilizadas en los ensayos de “pull out” no tengan ningún proceso previo de limpieza al momento de realizar las probetas para obtener resultados más acercados a la realidad.

Se sugiere para un futuro estudio, que el proceso de oxidación de las varillas de acero se realice después de la fundición de la probeta de hormigón para estudiar el fenómeno de carbonatación y el plano de fisuración que produce el óxido al expandirse. Este proceso tomaría poco tiempo (una semana por cada caso de oxidación) si se realiza de manera industrial, de lo contrario se tardaría alrededor de tres meses, al no contar con una adecuación óptima para trabajar simultáneamente con una gran cantidad de probetas.

Al momento de realizar el ensayo de “pull out” se recomienda medir los extremos de la varilla de acero y una vez terminado el ensayo nuevamente medirlas de manera manual y computarizada, con el fin de contrastar datos para obtener el resultado del desplazamiento de la varilla y comprobar si fluye o no.

Se recomienda realizar con un mayor número de probetas los ensayos de “pull out” para obtener resultados estadísticamente confiables que generen un alto nivel de aceptación dentro de la comunidad científica. Puesto que, a mayor número de ensayos, los estudios estadísticos serían más cercanos al fenómeno que se está investigando.



6 Bibliografía

- ASTM. (2020). *ASTM A615/A615M-09 Historical Standard: Especificación Normalizada para Barras de Acero al Carbono Lisas y Corrugadas para Refuerzo de Concreto*. Obtenido de American Society for Testing and Materials: https://www.astm.org/america_latina/sp/index.html
- ASTM. (2020). *Método de prueba de referencia estándar para realizar mediciones de polarización anódica potenciodinámica*. Obtenido de American Society for Testing and Materials: <https://www.astm.org/Standards/G5>
- Corrosion 5è, v. 1. (26 de Febrero de 2013). Obtenido de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n>
- Del Valle Moreno, A., Pérez López, T., & Maerínez Madrid, M. (2012). El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado. *SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE*, <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt182.pdf>.
- Domínguez, N. (2013). La adherencia en el concreto reforzado: breve revisión histórica de la investigación del fenómeno. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*(58), 61-72. Obtenido de <https://investigacion.uaa.mx/RevistalyC/archivo/revista58/Articulo%208.pdf>
- Gómez Domínguez, J. (2015). *Materiales de Construcción*. Monterrey: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Departamento de Ingeniería Civil .
- Guanoliquín, E. (2018). *Estudio experimental de la influencia de la oxidación en la capacidad de adherencia de las varillas corrugadas utilizadas como acero de refuerzo en el hormigón, mediante el ensayo "pull out"*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Guevara, G., & Hidalgo, C. (2011). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *UNIROJA*, 42-64.



<https://www.cement.org>. (2019). <https://www.cement.org/learn/concrete-technology/durability/corrosion-of-embedded-materials>. Obtenido de <https://www.cement.org/learn/concrete-technology/durability/corrosion-of-embedded-materials>

Mendoza , C., Aire Untiveros, C., & Villegas, J. (2015). *Propiedades mecánicas de barras de refuerzo*. Obtenido de UNAM: <http://www.smie.org.mx/actividades/simposio-concretos-estructurales-alto-comportamiento-ntc-df-2015/archivos/arcelormittal-propiedades-mecanicas-barras-refuerzo-grado-55.pdf>

Molina, M., Gutiérrez, J. P., & García, M. D. (2004). Influencia del diámetro de la barra y del recubrimiento en las características adherentes del hormigón armado. *Boletín de la sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 560-563.

Muñoz Salinas, F., & Mendoza Escobedo, C. (2012). LA DURABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA NORMA ESPAÑOLA PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO. *Concreto y Cemento . Investigación y Desarrollo*, 63-86.

NEC. (2014). *Estructuras de hormigón Armado*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-HM-Hormig%C3%B3n-Armado.pdf>

Nilson, A. (2008). *Diseño de estructuras de Concreto*. Bogotá: Mc Graw Hill.

Portland Cement Association. (2019). *Portland Cement Association*. Obtenido de America's Cement Manufacturers: <https://www.cement.org/learn/concrete-technology/durability/corrosion-of-embedded-materials>

R.Lopez, L. E. (2012). Analisis Mesomecanico del Fenomeno de Adherencia en Estructuras de Hormigón Armado. *Mecánica Computacional Vol XXXI*, 1749-1766.

Rondón, C. (2012). *Manual de Armaduras de refuerzo para el Hormigón*. (M. M. Gráficos, Ed.) Obtenido de



<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion>

Ruiz López, R., Lorefice, R., Etse, G., & Santillán, C. (2012). ANALISIS MESOMECANICO DEL FENOMENO DE ADHERENCIA EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. *Mecánica Computacional Vol XXXI*, 1749-1766.

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

SIKA.com.ar. (18 de 2 de 2015). *Sika Top Armatek 110 EPOCEM*.

Terán Guillén, J., Oidor Salinas, P., & Torres Acosta, A. (2006). PROTECCIÓN CATÓDICA DE CONCRETO REFORZADO USANDO ÁNODOS DE SACRIFICIO DISCRETOS. México: SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE.

Termiser. (2017). Obtenido de <https://www.termiser.com/principales-usos-propiedades-del-acero-estructural/>

Toirac Corral, J. (2015). Patología de la construcción. Grietas y fisuras en obras de hormigón. Origen y prevención. *REDALYC*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/870/87029104.pdf>

Total Materia.com. (s.f.). Obtenido de <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=PropiedadesdelAcero&LN=ES#:~:text=Las%20propiedades%20del%20acero%20m%C3%A1s,la%20resistencia%20a%20la%20corrosi%C3%B3n.>

TOXEMENT. (2015). *Prevención de la corrosión en aceros de refuerzo*. Obtenido de http://www.toxement.com.co/media/3376/documento_prevenio-n_corrosio-n.pdf

Wikipedia. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n>



6.1 ANEXOS

Tabla de los Datos Obtenidos de la Prensa Hidráulica.

Probetas	Desplazamiento (mm)	Carga Max (KN)
T1OXOT1	15.2	57.65
T1OXOT2	13.4	50.33
T1OXOT3	18.9	59.61
T1OXOT4	20.3	72.13
T1OXOT5	15.1	79.28
T1OX25T1	14.9	51.68
T1OX25T2	7.9	55.26
T1OX25T3	12.2	48.31
T1OX25T4	11.8	59.28
T1OX25T5	13.5	46.15
T1OX50T1	13.2	49.78
T1OX50T2	20.4	72.11
T1OX50T3	13.9	66.25
T1OX50T4	8.4	41.77
T1OX50T5	17.5	60.43
T1OX75T1	13.5	55.7
T1OX75T2	18.3	50.51
T1OX75T3	10.6	55.34
T1OX75T4	15.3	63.8
T1OX75T5	8.8	54.03
T1PAST1	9.6	62.65
T1PAST2	10.3	58.67
T1PAST3	18	68
T1PAST4	20.3	72.13
T1PAST5	15.1	69.28
T2OXOT1	9.6	62.44
T2OXOT2	13	66.96
T2OXOT3	14.6	59.80
T2OXOT4	12.6	51.00
T2OXOT5	13.5	63.87
T2OX25T1	8.50	51.22
T2OX25T2	7.10	51.65
T2OX25T3	9.20	50.35
T2OX25T4	16.90	64.12
T2OX25T5	6.70	45.92
T2OX50T1	7.9	25.56



T2OX50T2	8.9	71.12
T2OX50T3	9.4	60.14
T2OX50T4	10.6	58.97
T2OX50T5	15.6	58.8
T2OX75T1	13.8	54.55
T2OX75T2	9.8	55.36
T2OX75T3	6.1	62.74
T2OX75T4	12.4	67.16
T2OX75T5	10.6	48.96
T2PAST1	11.4	63.96
T2PAST2	15.3	65.08
T2PAST3	10.5	62.5
T2PAST4	14.8	67.3
T2PAST5	10.6	68.96