

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**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.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS**

ELTON ANDRÉS GUANOLIQÚIN ANASI
ltndrs@gmail.com

DIRECTOR: ING. GERMÁN VINICIO LUNA HERMOSA MSc.
german.luna@epn.edu.ec

Quito, agosto 2018

DECLARACIÓN

Yo, ELTON ANDRÉS GUANOLIKUÍN ANASI, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

**ELTON ANDRÉS
GUANOLIKUÍN ANASI**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por ELTON ANDRÉS GUANOLIQÚIN ANASI, bajo mi supervisión.

ING. GERMÁN LUNA MSc.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Quiero empezar agradeciendo a Dios, porque es el verdadero artífice de este logro y gran paso en mi vida, gracias por la sabiduría y las bendiciones.

A mi padre, que siempre está ahí para apoyarme, darme un consejo, hablarme, pero siempre encaminarme.

A mi madre, que aunque enojados y peleados está a mi lado, con una palabra y con su compañía, que para mí es lo más importante.

A la Escuela Politécnica Nacional, que me permitió formarme como profesional, pero aún más importante conocer a personas valiosas y formar lazos de amistad que espero duren hasta que dejemos este mundo.

A mi director de tesis, Ingeniero Germán Luna, por la paciencia durante todo este proceso, sin su guía, nada de esto sería posible.

A ti, porque siempre creíste en mí y me impulsaste a terminar todo, gracias.

A mis amigos, creo que en este punto prefiero no poner nombres, para evitar inconvenientes, pero ellos saben perfectamente quienes son, gracias por su amistad, bromas, salidas, de estudio obviamente, por soportar un poco de mi ignorancia, que me bote de un edificio, que me regrese de la playa o maneje en contravía, pero que siempre están para apoyarme.

Finalmente a todas las personas que colaboraron con este proyecto, gracias por su ayuda y apoyo.

DEDICATORIA

A mis padres, por siempre apoyarme.

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE FOTOGRÁFICO.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XVI
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XX
PRESENTACIÓN.....	XXII
CAPÍTULO 1	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
CAPÍTULO 2	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1. ADHERENCIA EN EL HORMIGON ARMADO.....	7
2.1.1. ANTECEDENTES.....	8
2.1.2. MECANISMOS DE ADHERENCIA.....	11
2.1.2.1. ADHESIÓN QUÍMICA.....	11
2.1.2.2. FRICCIÓN O ROZAMIENTO.....	12
2.1.2.3. INTERACCIÓN MECÁNICA O ACUÑAMIENTO.....	14
2.1.3. FALLAS DE ADHERENCIA.....	15
2.1.3.1. FALLA POR SPLITTING.....	15
2.2. ADHERENCIA HORMIGON – ACERO: FACTORES.....	16
2.2.1. PROPIEDADES DEL ACERO.....	17
2.2.2. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN.....	18
2.2.3. DIRECCIÓN DEL HORMIGONADO.....	19
2.2.4. RECUBRIMIENTO.....	20
2.2.5. CONFINAMIENTO.....	21
2.2.6. OXIDACIÓN.....	21
2.2.7. OTROS FACTORES.....	22
2.3. MÉTODOS PARA CARACTERIZAR LA ADHERENCIA.....	24
2.3.1. ENSAYOS DE ADHERENCIA.....	24
2.3.1.1. ENSAYO PULL OUT.....	24
2.3.1.2. ENSAYO BEAM TEST.....	26
2.3.2. NORMAS.....	27
2.3.2.1. NORMA ASTM.....	27
2.3.2.2. CÓDIGO CEB FIP 90.....	29
CAPÍTULO 3.....	32
ENSAYOS – PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	32
3.1. ENSAYOS EN EL ACERO.....	32
3.1.1. TRACCIÓN DEL ACERO.....	32
3.1.2. DUREZA ROCKWELL B.....	35
3.1.3. OXIDACIÓN.....	37
3.2. ENSAYOS EL HORMIGÓN.....	41
3.2.1. DOSIFICACIÓN.....	42
3.2.1.1. AGREGADOS – ENSAYOS.....	42
3.2.1.1.2. PESOS ESPECÍFICOS.....	46
3.2.1.1.3. ABRASIÓN.....	48
3.2.1.1.4. DOSIFICACIÓN – MÉTODO FK ANTIA.....	50
3.2.2. COMPRESIÓN SIMPLE EN EL HORMIGÓN.....	53
3.2.3. TRACCIÓN EN EL HORMIGÓN.....	57

3.3. ENSAYOS TIPO PULL OUT TEST.....	60
3.3.1. INTRODUCCIÓN.....	61
3.3.2. PLANIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	61
3.3.2.1. GEOMETRÍA.....	62
3.3.2.2. DIRECCIÓN DEL HORMIGONADO.....	65
3.3.2.3. SERIE DE ENSAYOS.....	65
3.3.2.4. EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	69
3.3.3. RESULTADOS.....	72
3.3.3.1. TRACCIÓN EN EL ACERO.....	72
3.3.3.2. ROCKWELL B.....	75
3.3.3.3. OXIDACIÓN ACELERADA.....	76
3.3.3.4. PULL OUT.....	79
3.3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	93
CAPITULO 4.....	117
CONCLUSIONES.....	117
4.1. CONCLUSIONES.....	117
4.2. RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	121
ANEXOS.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 MICROFISURACIÓN Y FISURACIÓN DEL RECUBRIMIENTO POR EFECTOS DE TRACCIÓN, FUSCO (2013)	8
FIGURA 2.2 DEFORMACIONES Y FISURAS INTERNAS EN EL HORMIGÓN CON VARILLA DE REFUERZO LISA, LUTZ (1970)	9
FIGURA 2.3 DEFORMACIONES Y FISURAS INTERNAS EN EL HORMIGÓN CON VARILLA DE REFUERZO CORRUGADA, GOTO (1971)	9
FIGURA 2.4 EQUILIBRIO DE LAS COMPONENTES RADIALES DE LAS FUERZAS DE ADHERENCIA CON EL ANILLO DE TRACCIÓN QUE SE FORMAN EN EL HORMIGÓN, TEPFERS (1973)	10
FIGURA 2.5 ESQUEMA DE TENSIÓN DE ADHERENCIA LOCAL – DESLIZAMIENTO RELATIVO. PRIMER TRAMO. ADHESIÓN QUÍMICA, DOMÍNGUEZ (2013)	12
FIGURA 2.6 AGRIETAMIENTO DEL HORMIGÓN Y APARICIÓN DE MICROFISURAS RADIALES, DOMÍNGUEZ (2013)	12
FIGURA 2.7 ESQUEMA TENSIÓN DE ADHERENCIA LOCAL – DESLIZAMIENTO RELATIVO. SEGUNDO TRAMO. FRICCIÓN, DOMÍNGUEZ (2013)	13
FIGURA 2.8 APARICIÓN DE FISURAS POR CORTANTE Y PROLONGACIÓN DE FISURAS RADIALES, DOMÍNGUEZ (2013)	13
FIGURA 2.9 ESQUEMA TENSIÓN DE ADHERENCIA LOCAL – DESLIZAMIENTO RELATIVO. TERCER TRAMO. INTERACCIÓN MECÁNICA, DOMÍNGUEZ (2013)	14
FIGURA 2.10 UNIÓN DE FISURAS RADIALES Y DE CORTE. FORMACIÓN DE MACRO GRIETAS, DOMÍNGUEZ (2013)	14
FIGURA 2.11 FALLA EXPLOSIVA POR SPLITTING DE LA ZONA A TRACCIÓN DE UNA VIGA, TERFERS (1973)	15
FIGURA 2.12 DESLIZAMIENTO DEL REFUERZO A LO LARGO DEL EJE, HARMSSEN (2002)	16
FIGURA 2.13 FALLAS POR EFECTO DE LA RELACIÓN A/C, REHM (1969)	17
FIGURA 2.14 RELACIÓN ESFUERZO – DESLIZAMIENTO EN FUNCIÓN DEL ASENTAMIENTO EN EL HORMIGÓN FRESCO, WELCH Y PATTEN (1967)	20
FIGURA 2.15 TENSIÓN DE ADHERENCIA – DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS EN DISTINTAS TEMPERATURAS, DIEDERICHS (1981)	23

FIGURA 2.16 ESPECIFICACIONES DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO PULL OUT, CEB.RILEM/CEB/FIP (1983).	25
FIGURA 2.17 PROBETA PARA ENSAYO BEAM TEST, MOLINA (2005).	27
FIGURA 2.18 ENSAYO PULL OUT EN ROCAS, ASTM D4435-84 (1994).	28
FIGURA 2.19 DIAGRAMA IDEALIZADO DE TENSIÓN DE ADHERENCIA – DESPLAZAMIENTO, CEB-FIP (1996).	31
FIGURA 3.20 DIAGRAMA TÍPICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN OBTENIDO EN EL ENSAYO A TRACCIÓN DEL ACERO, SÁNCHEZ Y VILLAFUERTE (2011).	33
FIGURA 3.21 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EN EL TIEMPO, LUNA (2014).	54
FIGURA 3.22 GEOMETRÍA Y DIMENSIONES DEL ENCOFRADO	63
FIGURA 3.23 DISEÑO DE LA MESA PARA ENSAYO PULL OUT	64
FIGURA 3.24 EQUIPOS PARA ENSAYO PULL OUT	71
FIGURA 3.25 DIAGRAMAS DE ENSAYO A TRACCIÓN	72
FIGURA 3.26 DIAGRAMA ESFUERZO DE FLUENCIA – HORAS DE OXIDACIÓN, DIÁMETRO 10 MILÍMETROS.	74
FIGURA 3.27 DIAGRAMA ESFUERZO DE FLUENCIA – HORAS DE OXIDACIÓN, DIÁMETRO 12 MILÍMETROS.	75
FIGURA 3.28 DIAGRAMA DE PÉRDIDA PORCENTUAL DEL DIÁMETRO EN FUNCIÓN DE LAS HORAS DE EXPOSICIÓN AL PROCESO DE OXIDACIÓN ACELERADA.	78
FIGURA 3.29 DIAGRAMA DE PÉRDIDA DE MICRAS EN FUNCIÓN DE LAS HORAS DE EXPOSICIÓN AL PROCESO DE OXIDACIÓN ACELERADA.	78
FIGURA 3.30 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS	80
FIGURA 3.31 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	81
FIGURA 3.32 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS	82
FIGURA 3.33 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	84
FIGURA 3.34 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS	85
FIGURA 3.35 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	87
FIGURA 3.36 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS	88
FIGURA 3.37 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	89
FIGURA 3.38 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS	90

FIGURA 3.39 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	92
FIGURA 3.40 DIAGRAMA DE PÉRDIDA DE DIÁMETRO PORCENTUAL VS HORAS DE OXIDACIÓN PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS	94
FIGURA 3.41 DIAGRAMA DE PÉRDIDA DE DIÁMETRO PORCENTUAL VS HORAS DE OXIDACIÓN PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	95
FIGURA 3.42 TENSIÓN DE ADHERENCIA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS	98
FIGURA 3.43 TENSIÓN DE ADHERENCIA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	99
FIGURA 3.44 DIAGRAMA TENSIÓN DE ADHERENCIA – PÉRDIDA EN PORCENTAJE DE DIÁMETRO PARA 10 MILÍMETROS	101
FIGURA 3.45 DIAGRAMA TENSIÓN DE ADHERENCIA – PÉRDIDA EN PORCENTAJE DE DIÁMETRO PARA 12 MILÍMETROS	102
FIGURA 3.46 PRIMER TRAMO – AUMENTO DE TENSIÓN PARA 10 [MM]	103
FIGURA 3.47 SEGUNDO TRAMO – DISMINUCIÓN DE TENSIÓN PARA 10 [MM] – PRIMER CASO	105
FIGURA 3.48 SEGUNDO TRAMO – DISMINUCIÓN DE TENSIÓN PARA 10 [MM] – SEGUNDO CASO	105
FIGURA 3.49 SEGUNDO TRAMO – DISMINUCIÓN DE TENSIÓN PARA 10 [MM] – TERCER CASO	106
FIGURA 3.50 PRIMER TRAMO – AUMENTO DE TENSIÓN PARA 12 [MM]	107
FIGURA 3.51 SEGUNDO TRAMO – DISMINUCIÓN DE TENSIÓN PARA 12 [MM] – PRIMER CASO	109
FIGURA 3.52 SEGUNDO TRAMO – DISMINUCIÓN DE TENSIÓN PARA 12 [MM] – SEGUNDO CASO	109
FIGURA 3.53 SEGUNDO TRAMO – DISMINUCIÓN DE TENSIÓN PARA 12 [MM] – TERCER CASO	110

ÍNDICE FOTOGRÁFICO

FOTO 3.1 MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSAL – LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA - EPN.....	33
FOTO 3.2 PROBETAS PARA ENSAYO DE TRACCIÓN.....	34
FOTO 3.3 EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DEL ACERO	34
FOTO 3.4 PROBETAS PARA ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL.....	35
FOTO 3.5 DURÓMETRO PARA ENSAYO ROCKWELL	37
FOTO 3.6 CÁMARA DE NIEBLA SALINA.....	38
FOTO 3.7 VARILLAS PARA ENSAYO DE OXIDACIÓN ACELERADA Y PROBETAS PARA MEDICIÓN DE PERDIDA DE MICRAS	39
FOTO 3.8 MICRÓMETRO.....	40
FOTO 3.9 EN CÁMARA SALINA OXIDACIÓN ACELERADA DE LAS VARILLAS A 50 HORAS	40
FOTO 3.10 MEDICIÓN DE PERDIDA DE MICRAS	41
FOTO 3.11 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO	44
FOTO 3.12 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO	45
FOTO 3.13 ENSAYOS PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS	46
FOTO 3.14 MUESTRAS SATURADAS POR 24 HORAS	47
FOTO 3.15 MÁQUINA DE LOS ÁNGELES Y ENSAYO DE ABRASIÓN	49
FOTO 3.16 CILINDROS PARA ENSAYO A COMPRESIÓN.....	55
FOTO 3.17 EJECUCIÓN DE ENSAYO A COMPRESIÓN.....	56
FOTO 3.18 ENSAYO A COMPRESIÓN FINALIZADO – FALLA DEL ESPÉCIMEN	56
FOTO 3.19 MARCO METÁLICO PARA ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA.....	58
FOTO 3.20 EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA	59
FOTO 3.21 FINALIZACIÓN DEL ENSAYO, FALLA DEL CILINDRO POR TRACCIÓN	60
FOTO 3.22 ENCOFRADO Y MANGUITO PARA ELABORAR LAS PROBETAS DEL ENSAYO PULL OUT	62
FOTO 3.23 MESA PARA ENSAYO PULL OUT	64
FOTO 3.24 PROBETAS FUNDIDAS PARA ENSAYO PULL OUT	65
FOTO 3.25 MONTAJE DEL ENSAYO PULL OUT TEST.....	70
FOTO 3.26 CAPTADOR DE DEFORMACIÓN LVDT	71

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 PARÁMETROS Y CONSTANTES PARA DIFERENTES TIPOS DE BARRAS DE ACERO, CEB – FIP (1996).....	30
TABLA 3.2 VALORES DE DUREZA EN ESCALA ROCKWELL B PARA DISTINTAS RESISTENCIAS A TRACCIÓN, INGEMECÁNICA (2013)	36
TABLA 3.3 DIÁMETRO REAL DE LAS PROBETAS PARA Φ 10 Y Φ 12	41
TABLA 3.4 SERIE DE ABRAMS DE TAMICES PARA EL MÓDULO DE FINURA, MONROY Y LUNA (1985).	43
TABLA 3.5 GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO GRUESO.....	44
TABLA 3.6 GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO.....	45
TABLA 3.7 PESOS ESPECÍFICOS Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	47
TABLA 3.8 PESOS ESPECÍFICOS Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.....	48
TABLA 3.9 ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO	50
TABLA 3.10 RELACIÓN AGUA/CEMENTO, MUÑOZ (2015).....	51
TABLA 3.11 CANTIDAD DE AGUA, MUÑOZ (2015).....	51
TABLA 3.12 MÓDULO DE FINURA MÁXIMO Y MÍNIMO, MUÑOZ (2015).....	52
TABLA 3.13 DOSIFICACIÓN AL PESO – MÉTODO FK ANTIA	53
TABLA 3.14 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES.....	55
TABLA 3.15 RESISTENCIA A TRACCIÓN, COMPARACIÓN CON FÓRMULAS EMPÍRICAS	60
TABLA 3.16 DATOS PROBETAS SERIE 1 – PULL OUT TEST	66
TABLA 3.17 DATOS PROBETA SERIE 2 – PULL OUT TEST.....	67
TABLA 3.18 DATOS PROBETA SERIE 3 – PULL OUT TEST.....	68
TABLA 3.19 DATOS PROBETA SERIE 4 – PULL OUT TEST.....	68
TABLA 3.20 DATOS PROBETA SERIE 5 – PULL OUT TEST.....	69
TABLA 3.21 ESFUERZOS DE FLUENCIA Y ROTURA EN LAS VARILLAS	73
TABLA 3.22 PORCENTAJES DE VARIACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE FLUENCIA Y ROTURA PARA VARILLAS DE DIÁMETRO 10 MILÍMETROS.....	74
TABLA 3.23 PORCENTAJES DE VARIACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE FLUENCIA Y ROTURA PARA VARILLAS DE DIÁMETRO 12 MILÍMETROS.....	75
TABLA 3.24 DUREZA DEL ACERO SEGÚN LA ESCALA ROCKWELL B.....	76

TABLA 3.25 PÉRDIDA DEL DIÁMETRO POR PROCESO DE OXIDACIÓN ACCELERADA	77
TABLA 3.26 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 10 MILÍMETROS	81
TABLA 3.27 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	82
TABLA 3.28 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 10 MILÍMETROS	83
TABLA 3.29 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	84
TABLA 3.30 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 10 MILÍMETROS	86
TABLA 3.31 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	87
TABLA 3.32 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 10 MILÍMETROS	88
TABLA 3.33 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	89
TABLA 3.34 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 10 MILÍMETROS	91
TABLA 3.35 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	93
TABLA 3.36 PORCENTAJE TEÓRICO DE PÉRDIDA DE DIÁMETRO Y MICRAS PERDIDAS TEÓRICAS PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS	96
TABLA 3.37 PORCENTAJE TEÓRICO DE PÉRDIDA DE DIÁMETRO Y MICRAS PERDIDAS TEÓRICAS PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	96
TABLA 3.38 TENSIONES DE ADHERENCIA PROMEDIO PARA CADA ESTADO DE OXIDACIÓN	98
TABLA 3.39 DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA CADA ESTADO DE OXIDACIÓN	99
TABLA 3.40 TENSIONES DE ADHERENCIA PROMEDIO PARA CADA ESTADO DE OXIDACIÓN	99
TABLA 3.41 DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA CADA ESTADO DE OXIDACIÓN	100
TABLA 3.42 TENSIONES DE ADHERENCIA EN FUNCIÓN DE LA PÉRDIDA EN PORCENTAJE DE DIÁMETRO	100
TABLA 3.43 TENSIONES DE ADHERENCIA EN FUNCIÓN DE LA PÉRDIDA EN PORCENTAJE DE DIÁMETRO	101
TABLA 3.44 VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE ADHERENCIA EN PORCENTAJE PARA DESLIZAMIENTOS DE 0,01 [MM] Y 0,1 [MM]	102
TABLA 3.45 PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS PENDIENTES EN EL PRIMER TRAMO – DIÁMETRO 12 MILÍMETROS	108

TABLA 3.46 VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE ADHERENCIA, EN PORCENTAJE, EN FUNCIÓN AL ESTADO DE OXIDACIÓN – 10 [MM] – DATOS EXPERIMENTALES	111
TABLA 3.47 VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE ADHERENCIA, EN PORCENTAJE, EN FUNCIÓN AL ESTADO DE OXIDACIÓN – 12 [MM] – DATOS EXPERIMENTALES	111
TABLA 3.48 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA PARA 0,4 MILÍMETROS DE DESLIZAMIENTO – DIÁMETRO 10 [MM]	112
TABLA 3.49 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA PARA 0,7 MILÍMETROS DE DESLIZAMIENTO – DIÁMETRO 10 [MM]	112
TABLA 3.50 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA PARA 1,0 MILÍMETROS DE DESLIZAMIENTO – DIÁMETRO 10 [MM]	112
TABLA 3.51 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA PARA 0,4 MILÍMETROS DE DESLIZAMIENTO – DIÁMETRO 12 [MM]	113
TABLA 3.52 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA PARA 0,7 MILÍMETROS DE DESLIZAMIENTO – DIÁMETRO 12 [MM]	113
TABLA 3.53 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA PARA 1,0 MILÍMETROS DE DESLIZAMIENTO – DIÁMETRO 12 [MM]	113
TABLA 3.54 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA – EXPERIMENTAL Y TEORICO PARA DIÁMETRO 10 [MM]	114
TABLA 3.55 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA – EXPERIMENTAL Y TEORICO PARA DIÁMETRO 12 [MM]	114
TABLA 3.56 TENSIÓN DE ADHERENCIA Y PORCENTAJE DE AUMENTO O DESCENSO – DIÁMETRO 10 [MM]	115
TABLA 3.57 TENSIÓN DE ADHERENCIA Y PORCENTAJE DE AUMENTO O DESCENSO – DIÁMETRO 12 [MM]	116

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Altura de la corruga.
Ar	Área proyectada de la corruga en la sección transversal.
c	Separación entre las corrugas.
Ce	Carga aplicada en el ensayo Pull Out
D	Diámetro del cilindro.
Δ	Desplazamiento de varilla lisa.
F	Fuerza de tracción.
f'c	Resistencia a compresión del hormigón.
fct	Resistencia a tracción del hormigón.
fr	Índice de corrugas.
L	Longitud del cilindro.
la	Longitud de adherencia.
MFA	Módulo de Finura de la Arena.
MFI	Módulo de Finura Ideal.
MFR	Módulo de Finura del Ripio.
P	Carga en el ensayo de tracción indirecta del hormigón
Φ	Diámetro de la varilla.
Sa	Deslizamiento de la varilla en el primer tramo del diagrama Tensión de Adherencia – Deslizamiento relativo.
Sc	Deslizamiento de la varilla en el segundo tramo del diagrama Tensión de Adherencia – Deslizamiento relativo.
Sd	Deslizamiento de la varilla en el tercer tramo del diagrama Tensión de Adherencia – Deslizamiento relativo.
τ	Tensión de adherencia.
$\tau_{0,01}$	Tensión de adherencia con desplazamiento de 0,01 [mm].
$\tau_{0,1}$	Tensión de adherencia con desplazamiento de 0,1 [mm].

$\tau_{0,4}$	Tensión de adherencia con desplazamiento de 0,4 [mm].
$\tau_{0,7}$	Tensión de adherencia con desplazamiento de 0,7 [mm].
$\tau_{1,0}$	Tensión de adherencia con desplazamiento de 1,0 [mm].
τ_f	Tensión de adherencia residual.
τ_m	Tensión de adherencia media.
τ_{max}	Tensión máxima de adherencia.
T	Tracción del refuerzo.
V	Velocidad de ejecución del ensayo Pull Out.
σ	Desviación estándar

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo determinar la influencia de la oxidación en la capacidad de adherencia entre el acero y el hormigón, porque una de las principales hipótesis es que los materiales trabajan en conjunto y necesitan de una adherencia ideal para transmitir esfuerzos y tener un correcto desempeño estructural frente a cargas verticales y laterales (sismos).

El primer paso fue revisar la literatura y las normas establecidas para el diseño y ejecución de los ensayos, en este caso denominados Pull Out. El diseño de las probetas se establece de acuerdo a la norma RILEM/CEB/FIP, adaptando al medio constructivo ecuatoriano varios factores que intervienen en el fenómeno de adherencia. Sin salirse de los parámetros establecidos, la probeta que se fabrica tiene forma cúbica, cuya arista es de 200 [mm], que lleva embebida una varilla de 60 [cm] de longitud total, y una longitud adherente de cinco diámetros de la barra.

Las varillas se someten a un proceso de oxidación acelerada, mediante un determinado número de horas de exposición en una Cámara de Niebla Salina. Los estados superficiales de oxidación escogidos son 0 horas, 50 horas, 100 horas, 200 horas y 300 horas, con la finalidad de tener barras ligeramente oxidadas, medianamente oxidadas y severamente oxidadas. De acuerdo a los estados de oxidación seleccionados, se fabrican cinco series de 14 probetas cada una, que tienen siete probetas con varillas de diámetro 10 [mm] y siete con diámetro 12 [mm]. Previo a la ejecución de los ensayos Pull Out se validan las propiedades de los materiales utilizados, tanto del acero como del hormigón y sus agregados.

De los datos del ensayo, se utilizan los valores de carga correspondiente a los deslizamientos 0,01 [mm], 0,1 [mm], 0,4 [mm], 0,7 [mm], 1,0 [mm], para calcular la tensión de adherencia en cada uno de los puntos y la tensión media. Posterior a eso, se relaciona la tensión de adherencia promedio vs deslizamiento y tensión de adherencia vs horas de oxidación, representadas por la pérdida de diámetro porcentual.

El análisis de resultados arroja que existen dos tramos dentro del fenómeno de adherencia, en el primer tramo cuando las varillas se encuentran ligeramente oxidadas la tensión de adherencia aumenta, mientras que cuando las barras están mediamente y severamente oxidadas la tensión de adherencia disminuye, de acuerdo a una tendencia, propia para cada uno de los diámetros utilizados.

ABSTRACT

The objective of this project is to determine the influence of oxidation on the adhesion capacity between steel and concrete, because one of the main hypotheses is that the materials work together and need an ideal adhesion to transmit stress and have a correct structural performance against vertical and lateral loads (earthquakes).

The first step was to review the literature and the rules established for the design and execution of the tests, in this case called Pull Out. The design of the test pieces is established according to the RILEM / CEB / FIP standard, adapting to the Ecuadorian construction environment several factors that intervene in the adhesion phenomenon. Without departing from the established parameters, the specimen that is manufactured has a cubic shape, whose edge is 200 [mm], which is embedded with a rod of 60 [cm] of total length, and an adherent length of five diameters of the bar.

The rods are subjected to an accelerated oxidation process, through a certain number of exposure hours in a Salt Mist Chamber. The chosen oxidation surface states are 0 hours, 50 hours, 100 hours, 200 hours and 300 hours, with the purpose of having slightly oxidized, moderately oxidized and severely oxidized bars. According to the selected oxidation states, five series of 14 specimens are made each, which have seven specimens with rods with a diameter of 10 [mm] and seven with a diameter of 12 [mm]. Prior to the execution of the Pull Out tests, the properties of the materials used are validated, both steel and concrete and their aggregates.

From the test data, the load values corresponding to the slips 0,01 [mm], 0,1 [mm], 0,4 [mm], 0,7 [mm], 1,0 [mm] are used. , to calculate the adhesion tension at each of the points and the average tension. After that, the average adhesion tension vs slip and adhesion tension vs oxidation hours are related, represented by the percentage diameter loss.

The analysis of results shows that there are two sections within the adhesion phenomenon, in the first section when the rods are slightly oxidized, the adhesion tension increases, while when the rods are medium and severely oxidized the adhesion tension decreases, according to tendency, proper for each of the diameters used.

PRESENTACIÓN

Este proyecto investiga y analiza si el estado de oxidación superficial de las varillas de refuerzo utilizadas en el hormigón armado influye, en porcentaje, de forma positiva o negativa en el fenómeno denominado tensión de adherencia, distribuido de la siguiente manera:

En el primer capítulo se presenta de forma breve hipótesis y las justificaciones del trabajo de investigación, así como los objetivos y el alcance, aclarando las variables y constantes que se toman en cuenta, debido a la complejidad del fenómeno de adherencia.

El segundo capítulo es una revisión del estado del arte, de investigaciones anteriores a este trabajo, un estudio de las hipótesis y conclusiones en las cuales se basa el fenómeno de adherencia, su transmisión de esfuerzos y los mecanismos de adherencia. De la misma forma se explican los factores que intervienen e influyen en la tensión de adherencia, sus características y su importancia. Finalmente, se chequean que ensayo es el óptimo para poder estudiar la variable de escogida que es la oxidación, y su influencia dentro de la adherencia; y de igual manera las normas que regulan la fabricación de las probetas y la ejecución de las pruebas en el laboratorio.

El tercer capítulo se enfoca en el programa experimental, explica el proceso para validar las propiedades de los materiales, el diseño del hormigón utilizado en las probetas y la disposición de las series a medida que se fabricaron los cubos. La ejecución de los ensayos Pull Out y los resultados obtenidos se visualizan en este apartado, así como un análisis de los valores de tensión de adherencia y la propuesta de ecuaciones que ayuden al cálculo de las tensiones cuando aumentan o disminuyen, determinando el porcentaje de influencia dentro del fenómeno estudiado.

El cuarto capítulo da a conocer las conclusiones y recomendaciones encontradas en el trabajo de investigación, de acuerdo a los objetivos planteados.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El hormigón, como material de construcción, se empezó a utilizar desde la antigüedad, casi 300 a.C., y como evidencias constructivas son los edificios de la antigua Roma, específicamente el Panteón Romano. En la edad contemporánea, el hormigón se introdujo en el siglo XIX, en Europa, y es considerado uno de los mayores aportes tecnológicos para la construcción y el mundo. (Bazant y Kaplan, 1997)

Cada día es mucho más evidente que las construcciones de hormigón van en aumento, debido a las propiedades mecánicas estructurales como: equilibrio, resistencia y rigidez (Peralta, M., Rivas, I., Ortega, N., 2006). El hormigón armado es un material estructural muy utilizado en el medio constructivo ecuatoriano, campo en el cual una de las principales hipótesis para su correcto funcionamiento es suponer que existe la misma deformación en el hormigón que en el acero, es decir existe una adherencia perfecta entre los dos materiales (Molina, 2005). Sin embargo, en muchas de las construcciones realizadas en Ecuador no se logra cumplir con esta hipótesis debido a varios factores, uno de ellos es el estado superficial de oxidación de las varillas por la prolongada exposición a la intemperie. El problema se agrava por la falta de estudios que muestren el porcentaje de alteración de la adherencia o transferencia de las fuerzas de tensión entre los materiales, debido al fenómeno de corrosión.

El comportamiento global y la interacción del acero con el hormigón dan como resultado un fenómeno conocido como adherencia, el cual, si llega a disminuir, puede afectar la durabilidad, el agrietamiento de los elementos, modificando así la respuesta de la estructura. El primer trabajo que estudió este fenómeno lo realizó Considère en 1899 (Delhumeau, 1999). Aproximadamente 60 años más tarde,

Rehm realiza una nueva investigación acerca del fenómeno de adherencia, en la cual se realiza por primera vez un ensayo de extracción de una varilla de acero del hormigón, llamado “The Pull Out Test” (Dominguez, 2013).

En estudios posteriores Lutz y Gergely, en 1967, agregan una nervadura en las barras de acero, las cuales quedan ancladas en el hormigón y modifican las respuestas y los resultados obtenidos por Rehm. Tepfers en 1979 presenta una investigación de adherencia debido a la influencia generada por las características de las barras nervadas, quedando de esta forma establecido que el fenómeno de adherencia se compone de tres mecanismos (Dulhumeau, 1999).

Debido a la complejidad del fenómeno de adherencia y con la finalidad de aclarar los mecanismos que intervienen en la adherencia entre el acero y el hormigón, se los puede dividir en: adhesión química y adhesión mecánica en la que se incluye el rozamiento y la interacción directa del corrugado. (ARQUYS, 2012). Se puede citar como ejemplo y comparación a las barras lisas, en las cuales la adherencia depende fundamentalmente de la adhesión química y el rozamiento dentro de la adhesión mecánica; con el caso de las barras corrugadas, en las que la adherencia depende en su mayor parte por la interacción mecánica que existe entre el corrugado del acero y el hormigón que lo rodea. (Tepfers, 1973).

Existen parámetros externos a las características de las barras, que se deben considerar en el fenómeno de adherencia como son el recubrimiento, el confinamiento, posición de las varillas respecto al hormigonado, historia de carga, propiedades de resistencia del hormigón (CEB-FIP, 1996), este último determinado y analizado por Tepfers en su investigación.

Para determinar el fenómeno de adherencia se utilizan curvas que relacionan la tensión de adherencia local y el deslizamiento, los datos se obtienen de los ensayos normalizados Pull Out o Beam test propuestos por el CEB (Comité Euro-Internacional du Beton_Rilem) en 1983 (Olea, 2015).

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Durante el proceso constructivo el acero se encuentra expuesto a condiciones ambientales severas: lluvia, sequedad, calor, frío, contaminación, etc., que oxidan el material. Esta alteración se debe principalmente a que la estructura se construye por etapas y en mucho de los casos el acero se encuentra almacenado o sobresaliendo de elementos estructurales, principalmente columnas con poca o ninguna protección. El tiempo estimado entre cada una de las etapas es totalmente aleatorio, y puede ser meses e incluso años. En el momento de empezar con una nueva etapa, el acero por su exposición presenta un estado superficial de oxidación, que puede ir de ligeramente oxidado o fuertemente oxidado, este fenómeno depende del número de micras que ha perdido el diámetro nominal de la varilla, afectando directamente a la adherencia entre el acero y el hormigón, pudiendo llegar a disminuir la capacidad estructural de carga y la seguridad de la edificación frente a un evento sísmico. Este evento es muy común en la realidad constructiva ecuatoriana, principalmente en las construcciones de tipo informal, a donde va dirigida la siguiente investigación.

La adhesión química y la adhesión mecánica tienen distintos grados de influencia dentro de la adherencia total entre materiales. Se puede dividir la influencia de los mecanismos de adherencia en tres tramos dentro de la curva que relaciona tensión de adherencia local – deslizamiento. La adhesión química corresponde a tensiones de adherencia bajas, que están comprendida entre 0,2 fct y 0,8 fct. Para todos los tramos, “fct” es la resistencia a tracción del hormigón. Cuando aumenta la tensión de adherencia, la adhesión química es prácticamente nula, y aparece la adhesión mecánica, siendo la primera el rozamiento comprendida entre 0,8 fct y 1 fct. Finalmente, la interacción del corrugado se ubica en tensiones de adherencia entre 1 fct y 3fct. (Fib, 2000)

Para delimitar la investigación, el estudio se enfocará en uno de los mecanismos de adherencia, en este caso la adhesión mecánica. Dentro de esta característica

es importante resaltar que el diámetro nominal y el estado superficial de oxidación del acero son los parámetros influyentes a ser analizados.

La oxidación dentro de la adherencia para varios autores es positiva o negativa. Barberá Ortega concluye que *“la oxidación produce un efecto beneficioso en las características adherentes de las barras corrugadas”* porque al disminuir el diámetro mejora el fenómeno de adherencia (Barberá, 1983). Por otro lado, García, Gutiérrez, Rodríguez (1998) indican: *“El deterioro progresivo en las estructuras de hormigón armado afecta, por un lado, a las propiedades de los materiales constitutivos, hormigón y acero, y por otro, a los mecanismos de interacción entre ambos, la adherencia”*.

En Ecuador no se ha realizado un estudio que presente valores de la variación de la capacidad adherente de las varillas de refuerzo comercializadas en Ecuador, por motivo de estados de oxidación, creando un grado de desconocimiento. Por otra parte, determinar si la edificación se ve comprometida, y si el fenómeno es positivo o negativo para la seguridad estructural son algunas de las inquietudes que están en el vacío.

A través de la presentación de los resultados, se mostrará cuantitativa y cualitativamente los diferentes grados de influencia del fenómeno de oxidación superficial en la capacidad de adherencia entre las varillas de refuerzo y el hormigón, y comprobar si este fenómeno afecta de forma positiva o negativa.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar qué porcentaje de la capacidad de adherencia varía dependiendo del estado de oxidación superficial del acero de refuerzo

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Definir las constantes y las variables que serán analizadas dentro de la investigación.

Validar las características de los materiales a utilizarse para la fabricación de las probetas.

Implementar y ejecutar el ensayo Pull – Out test como lo estipula la norma Rilem/CEB/FIP

Clasificar los datos obtenidos del ensayo Pull – Out, descartando aquellos que estén dispersos de la media.

Relacionar la tensión de adherencia contra el deslizamiento para cada uno de los ensayos.

Relacionar Estado de Oxidación contra deslizamiento para diámetros nominales similares.

1.4. ALCANCE

La presente investigación experimental pretende, principalmente, determinar, en porcentaje, la variación de la capacidad de adherencia entre las varillas corrugadas y el hormigón, debido a los cambios en el estado superficial de oxidación del acero. La información ayudará a los constructores y diseñadores estructurales a tomar en cuenta este fenómeno, permitiendo realizar las correcciones y modificaciones necesarias en sus diseños.

La dosificación utilizada para la realización del proyecto tiene una resistencia a la compresión de 250 [kg/cm^2], la cual fue realizada en base del método F. K. Antia, con material petreo de la cantera de Holcim, localizada en Pífo.

Las probetas fabricadas para el ensayo Pull Out serán de hormigón con dimensiones 20 [cm] x 20 [cm] x 20 [cm], que tienen una varilla de 60 [cm] de longitud dentro de ellas, en dos diámetros distintos de 10 [mm] y 12 [mm],

considerando un recubrimiento de 5 [cm]. Todo el ensayo se lleva a cabo siguiendo los lineamientos de la Norma Rilem/CEB/FIP.

La caracterización de las propiedades de los agregados y las varillas de acero se realizan siguiendo lo estipulado en las Normas Técnicas Ecuatorianas emitidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN) y las normas internacionales del American Society for Testing and Materials (ASTM).

Dentro del proyecto de investigación no se analiza la influencia de variables como la resistencia a la compresión del hormigón, la dirección del hormigonado, confinamiento y recubrimiento, variables que pueden ser incluidas en futuros estudios.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

2.1. ADHERENCIA EN EL HORMIGON ARMADO.

Aproximadamente desde 1940 en Ecuador, con la aparición del acero, se cambió el método constructivo, pasando de casas de adobe y estructuras mixtas a estructuras de hormigón armado. En los años 70 como consecuencia de varios planes de vivienda, se construyeron muchas viviendas de tipo popular con la finalidad de solucionar el déficit habitacional de la época, y partir de este momento hasta la actualidad se popularizó este tipo de construcciones, que actualmente en su mayoría son construidas de manera informal.

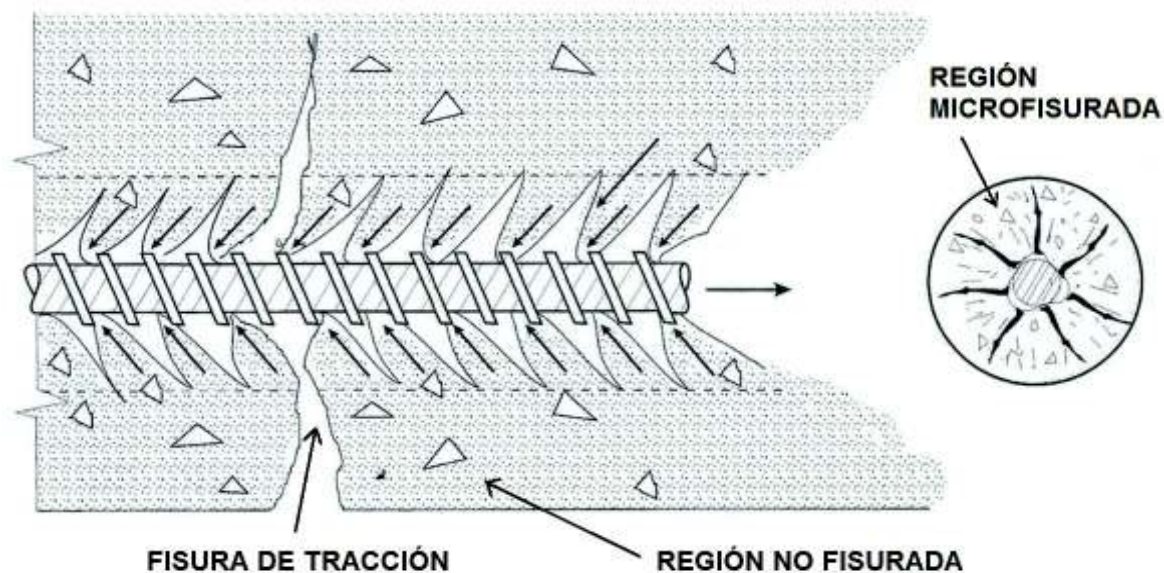
Desde el inicio de la construcción de estructuras de hormigón armado en Ecuador, se han realizado varios avances de diseño sismo resistente, tiempos de construcción, tecnología de los materiales, pero han sido pocos los estudios sobre la interacción del hormigón con el acero, que permite la transferencia de tensiones entre los materiales.

La adherencia entre el acero y el hormigón es un fenómeno bastante complejo, que supone la existencia de una acción conjunta de ambos materiales, es decir que la deformación presentada en una varilla de refuerzo debe ser igual a la deformación en el hormigón que la rodea, cuando se encuentran sometidos a cargas externas (Nawy, 1988), pero la interacción hormigón-acero no es perfecta y afecta algunos aspectos dentro del comportamiento de la estructura, tanto en los estados límites últimos y las respuestas dinámicas, como en las condiciones de servicio, disminución de la durabilidad, el agrietamiento y finalmente en el anclaje y solape de varillas (Domínguez, 2013).

Cuando el acero de refuerzo presenta un estado de corrosión que genera una presión radial en el hormigón adyacente a la barra debido al volumen que ocupan los óxidos, en muchos de los casos este fenómeno produce un deterioro y

disminución de la capacidad de adherencia entre los materiales, llegando a la fisuración del recubrimiento del hormigón en dirección paralela a la armadura, falla conocida como “*splitting*” como lo muestra la Figura 2.1. (Molina, 2005)

FIGURA 2.1 MICROFISURACIÓN Y FISURACIÓN DEL RECUBRIMIENTO POR EFECTOS DE TRACCIÓN, FUSCO (2013).



2.1.1. ANTECEDENTES

Desde comienzos del siglo pasado, varios ingenieros ya tenían interés acerca del fenómeno de adherencia, debido a su importancia para el correcto funcionamiento del hormigón armado dentro de una estructura. A lo largo de los años, surgieron varios autores que por medio de sus investigaciones aportaron varios conceptos y definiciones del fenómeno de adherencia. Morsh (1908) diferencia dos tipos de falla en la adherencia, *splitting* y *pull – out*. Abrams (1913) indica que la tensión de adherencia depende del desplazamiento relativo de la barra con respecto al hormigón circundante. (Molina, 2005)

Lutz en 1970 y Goto en 1971 caracterizan los mecanismos de adherencia tanto en barras lisas como en barras corrugadas. En barras 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 2.2) (Lutz, 1970). En barras 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 barra. (Figura 2.3) (Goto, 1971).

FIGURA 2.2 DEFORMACIONES Y FISURAS INTERNAS EN EL HORMIGÓN CON VARILLA DE REFUERZO LISA, LUTZ (1970).

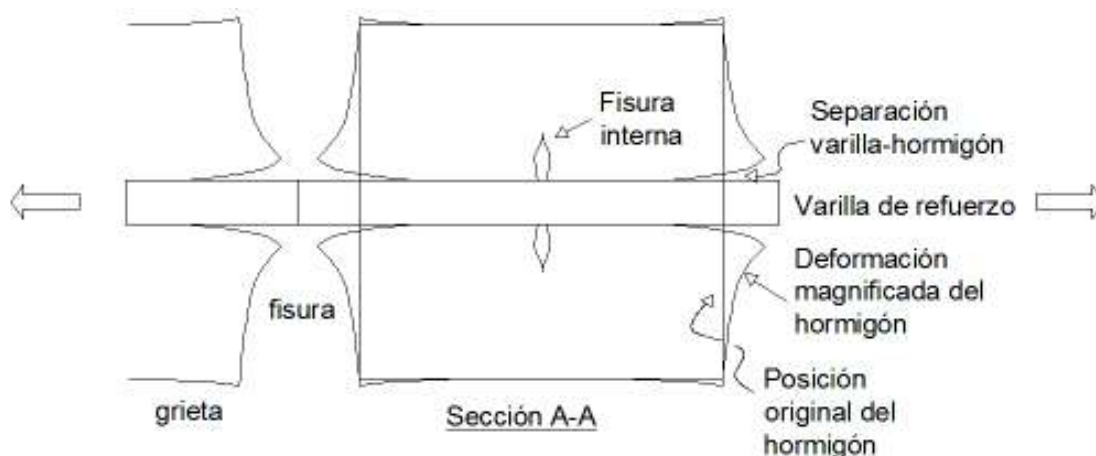
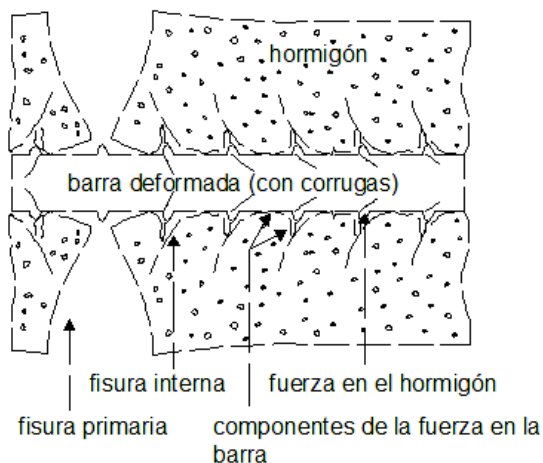
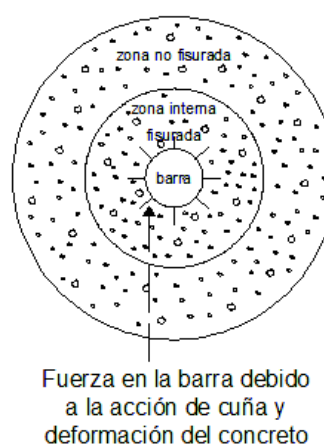


FIGURA 2.3 DEFORMACIONES Y FISURAS INTERNAS EN EL HORMIGÓN CON VARILLA DE REFUERZO CORRUGADA, GOTO (1971).

Sección longitudinal de la probeta cargada axialmente

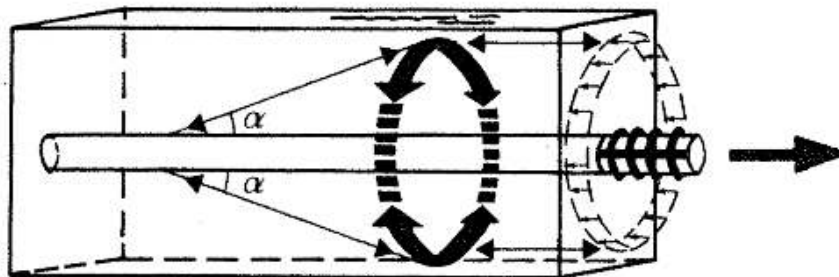


Sección transversal



Tepfers (1973), en su estudio experimental define que el esfuerzo de adherencia es consecuencia de las fuerzas de enlace que se generan en la unión de una varilla de acero de refuerzo con el hormigón que la rodea. Enuncia también que la transferencia de tensiones desde la varilla de acero hacia el hormigón se produce a través de unas fuerzas inclinadas de compresión que se originan desde las corrugas según un ángulo α . Las componentes radiales de las fuerzas que se producen por la unión de los dos materiales acero-hormigón se equilibran con un anillo de tracciones, el mismo que produce grietas longitudinales internas (Figura 2.4). Cuando las fisuras atraviesan el recubrimiento, consecuencia de un deficiente o nulo confinamiento, y llegan a la superficie del hormigón, provocan una falla abrupta o colapso del elemento, denominado falla por splitting. Al contrario, cuando existe un correcto confinamiento del refuerzo de acero, la carga que actúa sobre la varilla puede aumentar, provocando una ruptura o deslizamiento de la barra, denominado falla por pull-out (Tepfers, 1973). Si existe un recubrimiento menor a tres veces el diámetro de la barra, es muy probable que ocurra una falla por splitting, en cambio un mayor recubrimiento logra retrasar la aparición de grietas en la superficie. (Cairns, 1995)

FIGURA 2.4 EQUILIBRIO DE LAS COMPONENTES RADIALES DE LAS FUERZAS DE ADHERENCIA CON EL ANILLO DE TRACCIÓN QUE SE FORMAN EN EL HORMIGÓN, TEPFERS (1973).



2.1.2. MECANISMOS DE ADHERENCIA.

Los diagramas que relacionan la tensión con la deformación para el acero y el hormigón son muy similares, y se puede plantear la hipótesis que el hormigón se deforma en igual magnitud que el acero, y que el acero tiene la capacidad de llegar a su esfuerzo de fluencia. La última hipótesis es uno de los principios de la adherencia entre ambos materiales (Harmsen, 2002). De igual manera que existen diagramas tensión-deformación para cada uno de los materiales, se puede generar diagramas de adherencia que relacionan la tensión de adherencia local con el deslizamiento relativo de la barra (Abrams, 1913), que caracterizan el comportamiento mecánico del fenómeno mencionado. Estos diagramas se pueden obtener mediante ensayos experimentales llamados pull-out y beam test.

La adherencia presenta tres mecanismos de resistencia claramente identificados: la adhesión química, la fricción o rozamiento y el acúñamiento del hormigón entre las corrugas o interacción mecánica (acero-hormigón, hormigón-hormigón). (Olea, 2015). En varillas lisas la adherencia está en función de la adhesión química y la fricción, que incluso con tensiones bajas ocasiona suficiente deslizamiento para romper esta resistencia. En el caso de varillas corrugadas, la adhesión química y el rozamiento pueden considerarse despreciables como mecanismos de resistencia, concediendo toda responsabilidad a la interacción mecánica (Park y Paulay, 1980).

2.1.2.1. ADHESIÓN QUÍMICA

Es el primer tramo dentro del diagrama de tensión de adherencia local – deslizamiento de la barra, que es consecuencia de la conexión físico – química entre el hormigón y el acero, producida por fuerzas moleculares y capilares cuando el hormigón atraviesa su efecto de retracción. Este tramo es conocido también como etapa de pseudo-adherencia perfecta, porque su gráfica es lineal como se observa en la Figura 2.5. Aquí comienzan aparecer las fisuras primarias

(Goto, 1971) y se registran deformaciones, desplazamientos (S_a) y esfuerzos pequeños (Figura 2.6), aproximadamente entre 14 Kg/cm^2 a 21 Kg/cm^2 (Harmsen, 2002). Otra delimitación para el tramo OA, es estipular que está entre $0,2 f_{ct}$ y $0,8 f_{ct}$, donde f_{ct} es la resistencia del hormigón a tracción (Fib, 2000).

FIGURA 2.5 ESQUEMA DE TENSIÓN DE ADHERENCIA LOCAL – DESLIZAMIENTO RELATIVO. PRIMER TRAMO. ADHERSIÓN QUÍMICA, DOMÍNGUEZ (2013).

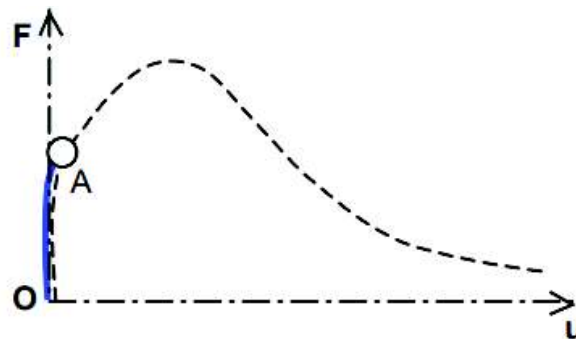
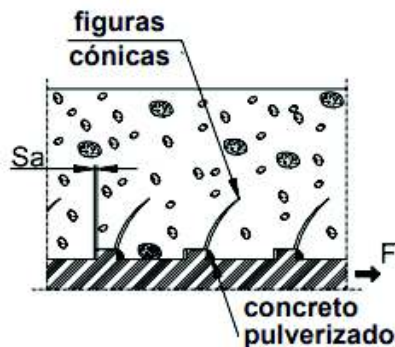


FIGURA 2.6 AGRIETAMIENTO DEL HORMIGÓN Y APARICIÓN DE MICROFISURAS RADIALES, DOMÍNGUEZ (2013).



2.1.2.2. FRICCIÓN O ROZAMIENTO

El segundo tramo del diagrama de la tensión de adherencia se inicia cuando la carga de tracción aplicada a la varilla aumenta, en este momento la adhesión química que existe entre el hormigón y el acero es nula, y empieza actuar el segundo mecanismo de adherencia, el cual es producto de la resistencia al

deslizamiento causado por la penetración de la pasta cementante en las irregularidades de las barras (Molina, 2005).

En las barras lisas, la fricción es el factor que produce la mayor cantidad de adherencia. Para el caso de varillas corrugadas, este tramo es una etapa de transición de pequeños deslizamientos a grandes deslizamientos (S_c), ver Figura 2.7 y Figura 2.8. La fisuración en el hormigón se prolonga e incluso aparecen grietas por efectos de corte, denominadas por Goto (1971) como fisuras secundarias (Figura 2.8) (Dominguez, 2013).

El rango BC de esta sección del esquema de adherencia tiene como límites tensiones entre 0,8 fct y 1,0 fct. En este rango comienzan a tener mayor importancia factores como: la resistencia a la tracción del hormigón, el recubrimiento, el confinamiento (Fib, 2000).

FIGURA 2.7 ESQUEMA TENSIÓN DE ADHERENCIA LOCAL – DESLIZAMIENTO RELATIVO. SEGUNDO TRAMO. FRICCIÓN, DOMÍNGUEZ (2013).

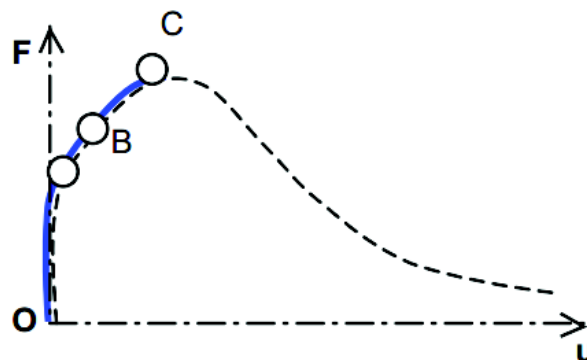


FIGURA 2.8 APARICIÓN DE FISURAS POR CORTANTE Y PROLONGACIÓN DE FISURAS RADIALES, DOMÍNGUEZ (2013).



2.1.2.3. INTERACCIÓN MECÁNICA O ACUÑAMIENTO

El tercer tramo de la curva que representa los mecanismos que intervienen en el fenómeno de adherencia es la interacción mecánica. El hormigón debido a los esfuerzos de corte que se generan entre los resaltos de la varilla, comienza a triturarse y genera una trabazón o un efecto de acuñamiento, que es un mecanismo de resistencia al deslizamiento muy eficaz, denominado resistencia de apoyo (Park y Paulay, 1980).

Este tramo CD y DE permite grandes deslizamientos (S_d) de la barra de acero debido al agrietamiento interno, las fisuras radiales y por corte se unen direccionando una macro grieta o grieta longitudinal (Dominguez, 2013), como lo muestran las Figuras 2.9 y 2.10, y en caso de un deficiente confinamiento y un recubrimiento reducido se llegará a la falla del elemento. Para delimitar esta zona se tiene en cuenta una tensión de adherencia que inicia en 1,0 fct hasta 3,0 fct (Fib, 2000).

FIGURA 2.9 ESQUEMA TENSIÓN DE ADHERENCIA LOCAL – DESLIZAMIENTO RELATIVO. TERCER TRAMO. INTERACCIÓN MECÁNICA, DOMÍNGUEZ (2013).

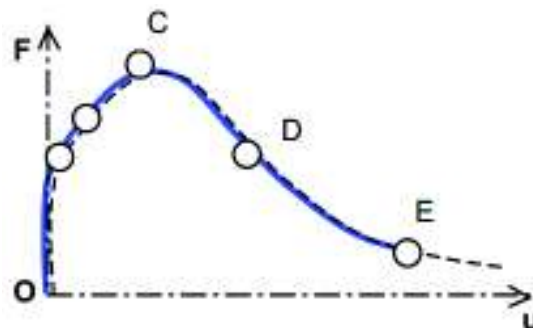
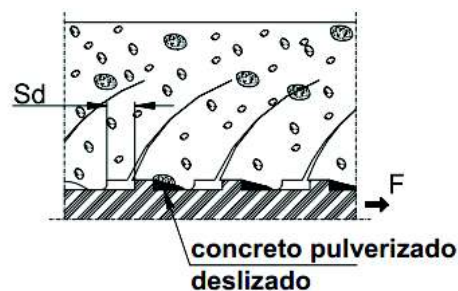


FIGURA 2.10 UNIÓN DE FISURAS RADIALES Y DE CORTE. FORMACIÓN DE MACRO GRIETAS, DOMÍNGUEZ (2013).



2.1.3. FALLAS DE ADHERENCIA

Cuando los esfuerzos a los que están sometidos el acero y el hormigón llegan a la máxima tensión de adherencia, el resultado esperado es una falla que, en muchos de los casos, será de tipo frágil, una ruptura explosiva, sin advertencia y muy peligrosa (Terfers, 1973). Los dos tipos de falla esperadas son Splitting o Pull-Out.

2.1.3.1. FALLA POR SPLITTING

Este tipo de falla se produce si los esfuerzos a tensión que existen alrededor de la barra sobrepasan la resistencia a tracción del hormigón. En ese instante empiezan a aparecer fisuras longitudinales en la superficie del recubrimiento, que comprometen la seguridad estructural de la edificación y su durabilidad, este efecto generalmente sucede en varillas corrugadas que presentan características como: espaciamiento entre los resaltes de 10 veces mayor a la altura de los mismos, recubrimiento menor a tres veces el diámetro de la barra, armadura de refuerzo transversal pobre para confinamiento (Molina, 2005). La pérdida de adherencia entre el refuerzo y el hormigón originan una falla sin previo aviso y muy peligrosa, llegando al colapso parcial o total del elemento estructural, como se observa en la Figura 2.11.

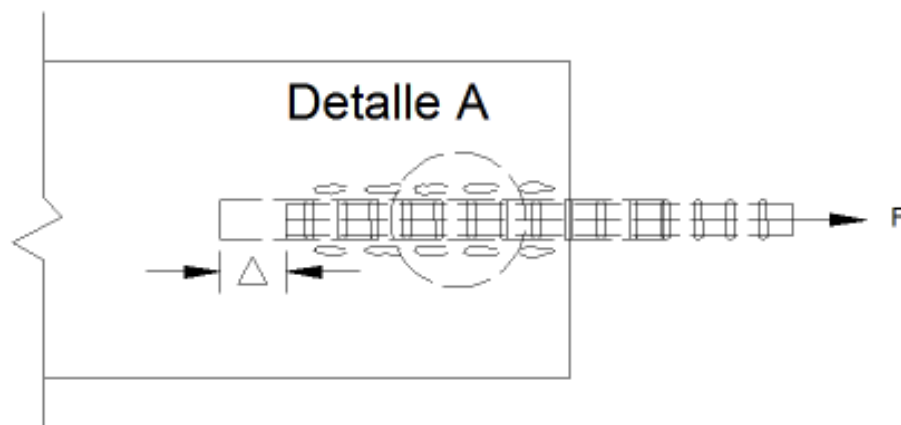
FIGURA 2.11 FALLA EXPLOSIVA POR SPLITTING DE LA ZONA A TRACCIÓN DE UNA VIGA, TERFERS (1973).



2.1.3.2. FALLA POR PULL OUT

Cuando el hormigón y el acero desarrollan una elevada tensión de adherencia, debido a la fricción entre las superficies o una elevada contribución del confinamiento, la barra se comenzará a deslizar dentro del elemento de hormigón, ver Figura 2.12, y el refuerzo junto con la envolvente de hormigón que lo rodea se desprenderá súbitamente del elemento. Este tipo de falla se presenta en varillas de superficie lisa, y en estructuras reales muy pocas veces ocurre, porque el refuerzo con barras lisas ya no es utilizado tanto en Ecuador como a nivel mundial (Molina, 2005).

FIGURA 2.12 DESLIZAMIENTO DEL REFUERZO A LO LARGO DEL EJE, HARMSSEN (2002).



2.2. ADHERENCIA HORMIGON – ACERO: FACTORES.

El fenómeno de adherencia es muy complejo, tanto el hormigón como el acero tienen propiedades individuales importantes tanto físicas como químicas, y en conjunto se agregan otras cualidades importantes que influyen dentro de la transmisión de los esfuerzos de tensión de adherencia entre los materiales.

De acuerdo con la CEB, aparte de las características de la varilla y la resistencia del hormigón a compresión y tracción, la dirección del hormigonado, el

recubrimiento, el confinamiento, la oxidación, influyen en los resultados en la adherencia (CEB.RILEM/CEB/FIP, 1983).

2.2.1. PROPIEDADES DEL ACERO

El acero posee dos características importantes que afectan directamente al fenómeno de adherencia que son: su diámetro nominal y su estado superficial de oxidación. En barras lisas y corrugadas al aumentar el diámetro disminuye la tensión de adherencia, pero en varillas con resaltos la altura, distribución y separación de las corrugas influye en el deslizamiento y el tipo de falla (Fib, 2000).

Un parámetro geométrico que interviene con la adherencia es la relación a/c . La altura de la corruga representa "a", mientras 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, como muestra la Figura 2.13 (Rehm, 1969).

FIGURA 2.13 FALLAS POR EFECTO DE LA RELACIÓN A/C, REHM (1969).



En la fabricación y disposición de los resaltes en las varillas corrugadas pueden variar parámetros como la altura, el espesor y el ángulo que forman con el eje de la barra. Si se incrementa la altura y el espesor de las corrugas, se consigue una mejor adherencia (Balazs, 1986), como también un resalte con un ángulo de 90° ofrece mejor capacidad de adherencia que otro inclinado (Malvar, 1992).

Al existir varios parámetros geométricos que intervienen de forma positiva y negativa dentro de la adherencia, es conveniente relacionarlos todos en un factor llamado “índice de corrugas” (f_r), cuyo valor es adimensional y toma en consideración: el área proyectada de la corruga en la sección transversal (A_r), el diámetro de la barra (Φ) y la separación de la corrugas (c). Para varillas que poseen geometrías diferentes pero un mismo valor de índice de corrugas, se concluye que tendrán las mismas propiedades de adherencia (Molina, 2005).

$$f_r = \frac{A_r}{\pi \Phi c} \quad (2.1)$$

2.2.2. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

El hormigón es un material importante dentro de la composición del elemento estructural. Una de sus propiedades más influyentes para el fenómeno de adherencia es la resistencia a la tracción. En consecuencia la dosificación utilizada en la fundición afecta la tensión de adherencia.

La resistencia a la compresión es la característica que define la dosificación que se debe utilizar para la fabricación del hormigón. Mientras más baja sea la relación agua-cemento mayor será la capacidad de adherencia, porque influye directamente en la retracción plástica, asentamiento plástico, sangrado, factores que afectan la aparición de fisuras internas y posteriormente grietas superficiales (Molina, 2005).

La resistencia a compresión del hormigón es proporcional a la resistencia a tracción, a mayor resistencia a tracción mayor tensión de adherencia. Es difícil cuantificar en que porcentaje influye la resistencia a tracción en el fenómeno de adherencia, pero al ser este parámetro muy decisivo se puede considerar las investigaciones realizadas por la EHE, o lo establecido por el Eurocódigo 2 respecto a la tensión de adherencia media y la tensión de adherencia máxima en función a la resistencia a la compresión del hormigón (UNE-ENV-1992).

2.2.3. DIRECCIÓN DEL HORMIGONADO

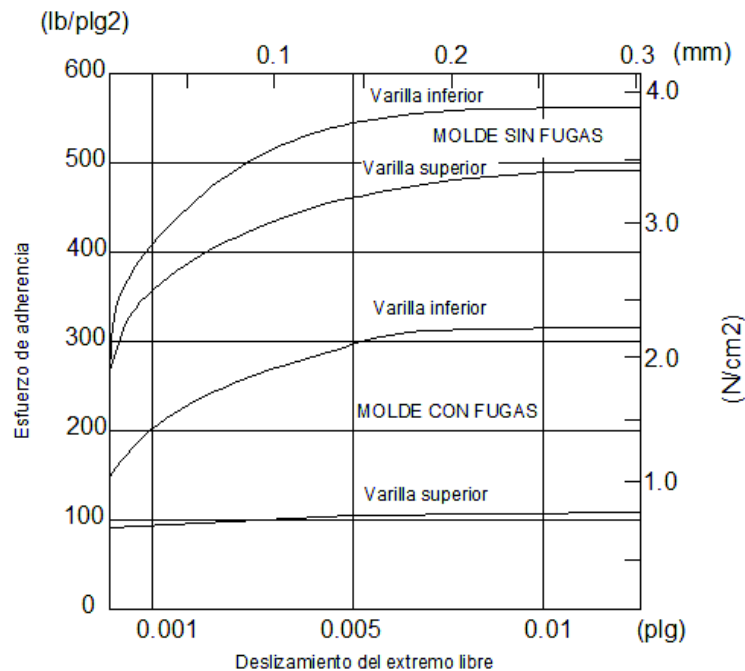
De acuerdo con la literatura consultada, la dirección del hormigonado es un factor importante, a continuación se hace una reseña de los criterios de varias fuentes. En la adherencia entre el acero y el hormigón, la posición de los refuerzos o las armaduras respecto al vertido del hormigón en el momento de la fundición es transcendental, porque en caso de varillas corrugadas, la interacción del hormigón y los resaltos de la barra influye en los mecanismos de adherencia.

Las varillas en posición vertical, con un ángulo respecto a la horizontal entre 45° y 90° , tienen una buena adherencia, este caso es común en las columnas. Al contrario, las barras ubicadas en elementos como vigas, en posición horizontal o con un ángulo inferior a 45° , tienen dos condiciones, cuando el refuerzo se ubica en la mitad inferior del elemento o una distancia mayor a 30 centímetros de la cara superior del elemento, se considera que tienen una buena adherencia; en cambio si las varillas se encuentran en la parte superior de la viga la adherencia es pobre o deficiente (Molina, 2005).

En las varillas superiores de una viga los valores de adherencia son inferiores a los valores que se obtienen en las varillas inferiores, este efecto se le atribuye a la ganancia de agua y aire de las barras inferiores respecto a las superiores, y el descenso del hormigón cuando se encuentra fresco, es decir el asentamiento. El asentamiento está en función del grado de sangrado y la forma de controlar la fuga de agua (Welch y Patten, 1967). En la Figura 2.14 se observa la variación de

los esfuerzos de adherencia – desplazamientos para refuerzos en la parte superior e inferior, con control de fugas y sin control de fugas de agua.

FIGURA 2.14 RELACIÓN ESFUERZO – DESLIZAMIENTO EN FUNCIÓN DEL ASENTAMIENTO EN EL HORMIGÓN FRESCO, WELCH Y PATTEN (1967).



2.2.4. RECUBRIMIENTO

El recubrimiento ayuda a evitar que muchos de los agentes agresivos corroan las armaduras de refuerzo, en el caso del Ecuador este valor está entre tres y cinco centímetros de acuerdo a la NEC-15. A más de ser un requerimiento normativo, este factor influye en la adherencia entre el acero y el hormigón, llegando a ser considerado un confinamiento pasivo (Rehm, 1967).

Es evidente que una mayor cantidad de recubrimiento aumenta la capacidad de adherencia al retrasar la aparición de las fisuras en la superficie y permitir una mayor transmisión de fuerzas, hasta un determinado valor, en el que se torna constante o asintótica la capacidad de adherencia, aproximadamente entre 2,5 y 3,5 diámetros de la varilla, dependiente de las características propias de cada elemento (Vanderwalle, 1992). La relación recubrimiento – diámetro nominal (c/ϕ)

es un factor que también se debe tener en cuenta según autores como Bâzant (1995) y Gambarova (1997).

2.2.5. CONFINAMIENTO

Es otro factor que ayuda al fenómeno de adherencia, tanto en sus mecanismos de resistencia como en el momento de la falla.

El confinamiento depende de: el recubrimiento, el refuerzo transversal y la presión transversal de compresión (Molina, 2005). El recubrimiento se considera un factor de confinación pasivo, y es más influyente en varillas de diámetro mediano. El refuerzo transversal, es el más importante, su función es confinar al hormigón que rodea las barras, que no impide la formación de fisuras, pero logra evitar la apertura excesiva de las mismas, permitiendo que se transmitan fuerzas de adherencia más grandes, y en caso de llegar a la falla del elemento, ésta será de tipo dúctil, y no frágil y explosiva, como se describió anteriormente. Un correcto confinamiento depende de la posición del refuerzo, tipo (espiral o zuncho, barras rectas) y separación. La compresión transversal se produce en determinadas secciones, en especial en los extremos simplemente apoyados de una viga y los anclajes (Park y Paulay, 1980).

2.2.6. OXIDACIÓN

La oxidación y la corrosión de la armadura de refuerzo provoca un deterioro y disminución de las propiedades del hormigón armado, tanto en sus materiales hormigón y acero, como en su acción en conjunto, es decir en su capacidad de adherencia.

El comportamiento de las varillas corrugadas con el hormigón cambia por efecto de la corrosión, debido a la formación de una película o capa de óxido en la

interfase, que puede producir degradación y daños en los resaltes del acero modificando su altura, ancho, ángulo, factores que influyen directamente en la adherencia, como se explicó en el apartado 2.2.1. La formación de este óxido también provoca fisuración en el recubrimiento, que debilita el confinamiento pasivo (García, Gutiérrez, Rodríguez, 1998).

El grado de oxidación se puede relacionar de acuerdo al número de micras que disminuye el diámetro de varilla, tanto en valor como en porcentaje, para ello se tiene que una pérdida de 10 micras se considera ligeramente oxidado, y más de 40 micras es fuertemente oxidado (Barberá, 1982). A partir de varias investigaciones experimentales, la conclusión es que un nivel de oxidación pequeño del refuerzo principal incrementa la máxima tensión de adherencia, pero con grados más elevados de corrosión la capacidad de adherencia disminuye hasta llegar a ser casi despreciable, cuando no existe refuerzo transversal (Al-Sulaimani, Kaleemullah, Basunbul, Rasheeduzzafar, 1990). Por el contrario, si la armadura transversal se encuentra en óptimas condiciones, mejora la adherencia entre el refuerzo principal y el hormigón, incluso cuando los niveles de corrosión son altos, generando unos valores de adherencia residual. Para llevar a cabo todas las investigaciones se utilizaron dos tipos de ensayos, Pull Out test y Beam Test, arrojando mejores resultados para el estudio de la influencia de la oxidación en la adherencia el ensayo Pull Out (Cabrera y Ghoddoussi, 1992).

2.2.7. OTROS FACTORES

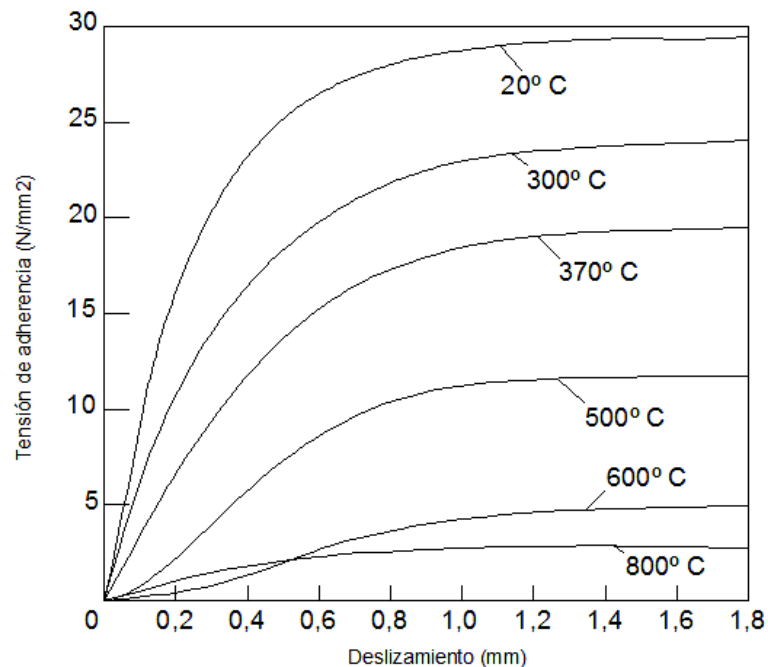
Existen diversos factores a los cuales no están expuestas las estructuras durante su vida útil, pero en caso de presentarse pueden afectar a la adherencia que existe en el hormigón armado. Se puede mencionar la historia de carga, altos grados de humedad, altas temperaturas, agentes agresivos, entre otros.

La historia de carga puede atribuirse a la velocidad, duración y tipo de fuerzas que ha sido sometida la estructura, en especial la dirección, es decir si la carga es

unidireccional, de tracción o compresión, o en ciclos, alternado tracción y compresión, evento que ocurre generalmente en sismos (Fib, 2000).

Una estructura puede verse afectada por las altas temperaturas que se producen durante un incendio, que afecta directamente al hormigón generando una falla llamada spalling que es un desprendimiento de las capas de hormigón con mayor temperatura; con respecto al acero, puede variar su módulo de elasticidad e incluso cambiar su estado sólido llegando a fundirse (Varona, Bru, Baeza de los Santos, Ivorra, 2012). La capacidad de adherencia entre el acero y el hormigón disminuirá considerablemente entre un 80% y 90% en temperaturas superiores a los 200° C, con respecto a la tensión de adherencia que tendría a una temperatura de 20° C aproximadamente (Diederichs y Schneider, 1981). En la Figura 2.15 se muestra los cambios en la tensión de adherencia para distintas temperaturas.

FIGURA 2.15 TENSIÓN DE ADHERENCIA – DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS EN DISTINTAS TEMPERATURAS, DIEDERICHS (1981).



2.3. MÉTODOS PARA CARACTERIZAR LA ADHERENCIA

Desde inicios de siglo anterior se ha estudiado el fenómeno de adherencia, mediante varios ensayos que han permitido caracterizar la tensión de adherencia, en sus mecanismos de resistencia como en la influencia de sus factores, hasta lograr ensayos normados.

2.3.1. ENSAYOS DE ADHERENCIA

El estudio de la adherencia comienza en Europa, por esa razón los ensayos son normados por el Comité Euro-internacional du Béton (CEB), que por medio de varias investigaciones se han establecido los ensayos experimentales que permiten caracterizar y cuantificar la tensión de adherencia, los cuales son: Pull Out test y Beam test. Dependiendo del tipo de factor a estudiarse se puede optar por alguno de los ensayos, pero por la complejidad del fenómeno se pueden complementar entre ellos. Los ensayos fueron propuestos por la RILEM/CEB/FIP en 1970 (Molina, 2005).

2.3.1.1. ENSAYO PULL OUT

CEB en su boletín número 49 publicado en 1970 especifica los pasos y las guías para la realización del ensayo Pull Out, que posteriormente se modifica, primordialmente en el tamaño de la probeta, hasta tener el ensayo definitivo, recopilado en el boletín 13 del CEB.

Del ensayo Pull Out se obtiene un diagrama que relaciona la tensión de adherencia local y el deslizamiento de la barra respecto a la superficie de hormigón de la probeta en el extremo opuesto del que se aplicó la carga. Obtenido el diagrama se puede medir la fuerza que se necesita para romper la adherencia entre la varilla y el hormigón la rodea. El ensayo es útil cuando se estudia la influencia de factores como: recubrimiento, diámetro, estado superficial de oxidación, resistencia a la compresión del hormigón (Terfers, 1973, Harsem, 2002, Molina, 2005, Barberá, 1983, Cabrera y Ghoddoussi, 1992).

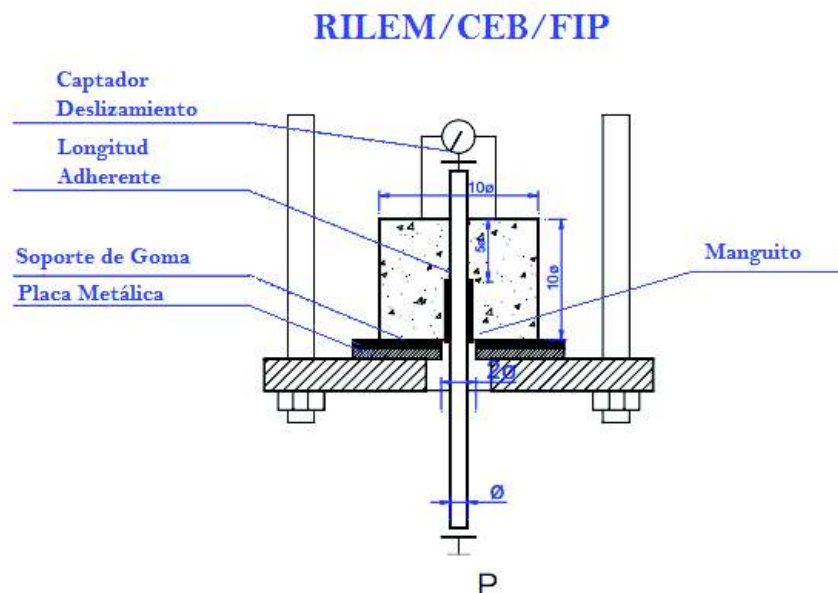
El ensayo Pull Out está diseñado para longitudes de anclaje pequeñas, y supone una distribución uniforme de la tensión a lo largo de la varilla, entonces a partir de la fuerza medida en el extremo activo se puede calcular el esfuerzo de tensión de adherencia.

Las especificaciones establecidas por CEB/RILEM/FIP para el diseño y fabricación de las probetas se especifican a continuación.

El material de la probeta es de hormigón y tendrá embebida una varilla de acero, que puede ser lisa o corrugada. El ensayo es para una longitud de anclaje pequeña igual a cinco veces el diámetro de la varilla. El anclaje está ubicado en un extremo de la probeta, el cual se denomina extremo pasivo, y para evitar la interacción del hormigón con la zona restante de la barra se debe colocar una protección de plástico o un “manguito”. El extremo donde se aplica la tensión a la barra se llama extremo activo (CEB.RILEM/CEB/FIP, 1970), ver Figura 2.16.

En los primeros ensayos se utilizaron probetas cilíndricas o prismáticas, pero en 1983 se establece que un mejor resultado se obtiene al utilizar probetas cúbicas con una dimensión de 10Φ o 200 milímetros, el mayor de los resultados, para evitar una falla por splitting (CEB.RILEM/CEB/FIP, 1983).

FIGURA 2.16 ESPECIFICACIONES DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO PULL OUT, CEB.RILEM/CEB/FIP (1983).



De acuerdo con la CEB, la velocidad en la ejecución del ensayo está en función del diámetro de la varilla y se tiene como resultado un valor en unidades N/s. La Ecuación 3.7 permite calcular la velocidad teórica para las distintas varillas.

CEB-FIP

$$V = 0,5 * \phi^2 \quad (2.2)$$

2.3.1.2. ENSAYO BEAM TEST

En el año 1978 el Comité Euro-internacional du Béton adoptó el ensayo Beam test para determinar la capacidad de adherencia de las varillas corrugadas dependiendo de la geometría, su composición de acuerdo a su fabricación al igual que sus propiedades como armadura pasiva con distintos valores de recubrimiento (CEB.RILEM/CEB/FIP, 1983).

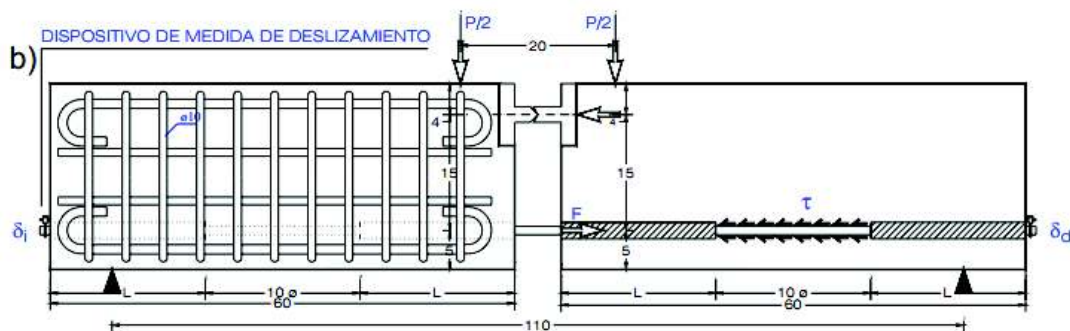
Al igual que en el ensayo Pull Out, el objetivo del Beam test es obtener un diagrama que relaciona la tensión de adherencia – desplazamiento, donde se puede identificar los mecanismos de adherencia, tensión máxima y tensión promedio.

Para ejecutar el ensayo, la probeta, en este caso una viga, debe estar formada por dos bloques que se encuentran unidos en la parte superior por una rotula metálica cuyo objetivo es que la tensión final pase por ahí, y poder calcular las tensiones generadas en el acero; mientras que en la parte inferior se encuentra la varilla que se desea ensayar, como se visualiza en la Figura 2.17 (CEB.RILEM/CEB/FIP, 1983).

Las dimensiones geométricas de la viga, como base y peralte, y el refuerzo transversal (estribos) están de acuerdo al código o normativa de cada región o país, en el caso de Ecuador con la NEC-15.

La ejecución del ensayo consiste en aplicar dos cargas simétricas y concentradas en la viga que se encuentra simplemente apoyada, y medir el desplazamiento respecto al hormigón en los dos extremos de la barra mediante strain gases o LDVTs. Al igual que en ensayo Pull Out, en la barra a ensayar existen dos zonas, la primera que no se encuentra unida al hormigón por la colocación de manguitos de plástico y la segunda, la zona de adherencia que posee una longitud igual a 10Φ de la varilla.

FIGURA 2.17 PROBETA PARA ENSAYO BEAM TEST, MOLINA (2005).



2.3.2. NORMAS

El ensayo Pull Out y los parámetros que influyen en la tensión de adherencia se han normalizado mediante: la American Society for Testing and Materials (ASTM) y el CEB FIP que toman en cuenta factores como: longitud de anclaje, confinamiento, propiedades del acero, resistencia del hormigón.

El código CEB FIP se enfoca en el diseño constructivo, específicamente en la longitud de anclaje

2.3.2.1. NORMA ASTM

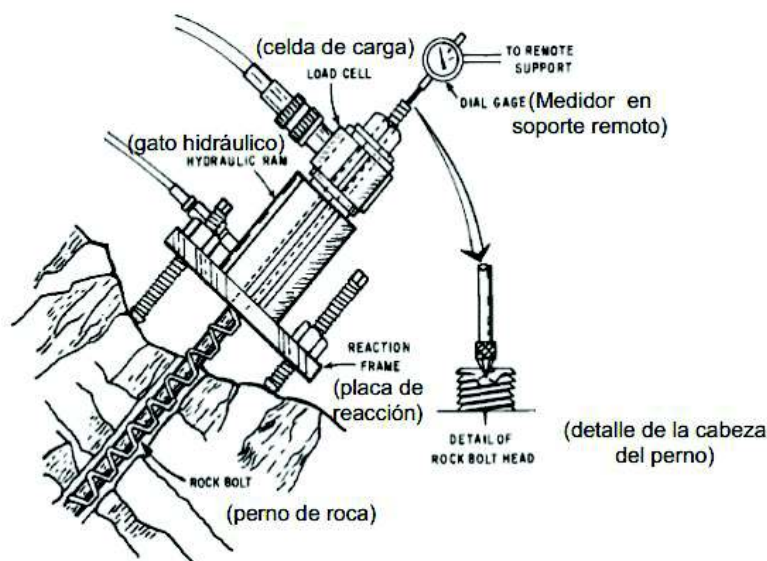
La ASTM D4435-84 normaliza el ensayo Pull Out para la extracción de pernos adherido a rocas mediante cemento, resina, o cualquier material que garantice la unión de los dos materiales. El objetivo del ensayo es medir la deformación y la

resistencia del perno antes de la falla, que puede ser por un deficiente anclaje o rotura de la roca por las deformaciones producidas por las cargas y esfuerzos generados en el ensayo.

El ensayo Pull Out en rocas es de suma importancia porque a partir de datos específicos del tipo de roca, se puede diseñar el tamaño del perno y el espaciamiento necesario entre ellos. Es importante que, para realizar la prueba, las condiciones de anclaje sean similares a las presentadas en campo (Olea, 2015).

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, como se observa en la Figura 2.18. 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 (ASTM D4435-84, 1998)

FIGURA 2.18 ENSAYO PULL OUT EN ROCAS, ASTM D4435-84 (1998)



2.3.2.2. CÓDIGO CEB FIP 90

El Comité Euro-internacional du Betum simplifica la relación de la tensión de adherencia local – deslizamiento de la barra, a partir de los ensayos experimentales realizados e idealiza el diagrama, separando en cuatro tramos, claramente identificados, para facilitar los cálculos y poder comparar con los resultados obtenidos, principalmente al realizar el ensayo Beam test (CEB-FIP, 1996). Se menciona que los valores son estadísticos, y únicamente consideran si existe confinamiento y si las condiciones de adherencia son buenas o malas, y no se toma en cuenta los otros factores expuestos en el Capítulo 2.2.

El diagrama es no-lineal, y cada tramo tiene una ecuación propia con los parámetros antes mencionados. El primer tramo es el de adherencia ideal, es decir las corrugas están unidas al hormigón y aparecen las primeras fisuras internas, o llamada microfisuración. El segundo tramo es una función constante u horizontal, correspondiente a la tensión máxima de adherencia, el mismo que aparece cuando existe confinamiento, pasivo o activo. El tercer tramo es el descenso de la curva, como consecuencia de las macrofisuras, es decir la tensión de adherencia disminuye a medida que aumenta el deslizamiento. El cuarto tramo existe cuando se tiene armadura transversal, o confinamiento activo, se denomina adherencia residual y es de forma horizontal o constante. En el diagrama Tensión de Adherencia – Deslizamiento Relativo del ensayo Pull Out no se observa el cuarto tramo, porque no existe armadura transversal. En este caso el gráfico se asimila a la Figura 2.5, Figura 2.7 y Figura 2.9.

Las constantes S_1 , S_2 , S_3 , que son los límites de cada tramo, y la constante “ α ” dependen del confinamiento y de la adherencia, mientras que τ_{max} y τ_f están en función de la resistencia a la compresión del hormigón ($f'c$), que se pueden obtener de la Tabla 2.1. Las ecuaciones para cada tramo se detallan a continuación de la tabla.

TABLA 2.1 PARÁMETROS Y CONSTANTES PARA DIFERENTES TIPOS DE BARRAS DE ACERO, CEB – FIP (1996).

Condic. de confinam.	Condic. de adheren.	S1 (mm)	S2 (mm)	S3 (mm)	α	τ_{\max} (MPa)	τ_f (MPa)	Observaciones
Barras corrugadas								
Hormigón no confinado	Buenas	0,6	0,6	1,0	0,4	$2,0\sqrt{f_c}$	$0,15 \tau_{\max}$ $0,30\sqrt{f_c}$	S1 = S2
	Otras	0,6	0,6	2,5	0,2	$1,0\sqrt{f_c}$	$0,15 \tau_{\max}$ $0,15\sqrt{f_c}$	S1 = S2
Hormigón confinado	Buenas	1	3	Distan. libre entre corrug.	0,4	$2,5\sqrt{f_c}$	$0,40 \tau_{\max}$ $1,0\sqrt{f_c}$	S3 depende de la barra
	Otras	1	3	Distan. libre entre corrug.	0,4	$1,25\sqrt{f_c}$	$0,40 \tau_{\max}$ $0,50\sqrt{f_c}$	S3 depende de la barra

Tramo I

$$\tau = \tau_{\max} * \left(\frac{S}{S_1}\right)^\alpha \quad (2.3)$$

Tramo II

$$\tau = \tau_{\max} \quad (2.4)$$

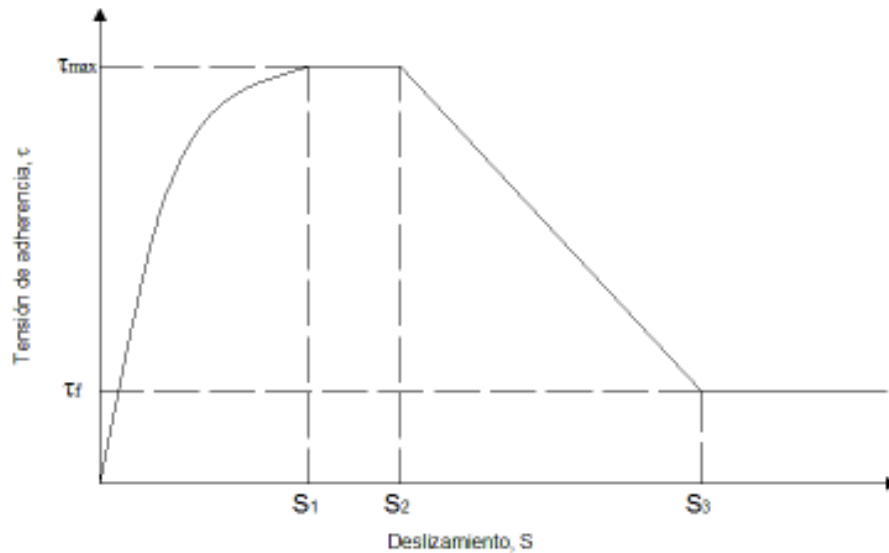
Tramo III

$$\tau = \tau_{\max} - (\tau_{\max} - \tau_f) * \left(\frac{S-S_2}{S_3-S_2}\right) \quad (2.5)$$

Tramo IV

$$\tau = \tau_f \quad (2.6)$$

FIGURA 2.19 DIAGRAMA IDEALIZADO DE TENSIÓN DE ADHERENCIA – DESPLAZAMIENTO, CEB-FIP (1996).



El código considera una condición de "confinado" si el recubrimiento de la varilla es mayor a cinco veces el diámetro y la separación entre las barras es diez veces el diámetro. Caso contrario, si el recubrimiento es igual o menor al diámetro de la varilla, se entiende "sin confinar", de igual forma si la armadura transversal es la mínima, y no soporta grandes esfuerzos de compresión.

El moldeado, la compactación, la cantidad de aire en el hormigón fresco, y su posterior proceso de curado son los parámetros que influyen en las condiciones de adherencia, si son buenas o malas.

CAPÍTULO 3

ENSAYOS – PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1. ENSAYOS EN EL ACERO

El acero es uno de los materiales más utilizados dentro de la construcción, y debe cumplir ciertas especificaciones. En el presente capítulo serán detallados los ensayos realizados para validar las propiedades del acero como fluencia y dureza, y también el método y norma utilizados para la oxidación acelerada, que es el factor principal de estudio dentro de la capacidad de adherencia.

3.1.1. TRACCIÓN DEL ACERO

Este ensayo es fundamental para determinar las propiedades físicas del acero porque permite calificar con facilidad a las varillas, tanto con su ductilidad como su resistencia, por esa razón es uno de los más utilizados.

El ensayo de tracción genera un diagrama que relaciona esfuerzo – deformación similar al que se observa en la Figura 3.20, que permite establecer las zonas de elasticidad, plasticidad y ahorcamiento, y también las medidas límites como el esfuerzo de fluencia y esfuerzo de rotura, valores que son utilizados en el diseño estructural.

El ensayo se realiza para comprobar los esfuerzos de fluencia y rotura especificados por el fabricante, y observar si los valores cambian con los distintos estados de oxidación. De acuerdo a la norma INEN 109 la prueba de tracción se efectúa en la máquina de ensayos universal, la longitud de la probeta no es proporcional a su sección transversal, y para todos los casos se tomó 70 centímetros, por la facilidad para marcar la longitud inicial (L_0) y la ejecución del ensayo (INEN 109, 2009). Se realizó tres ensayos por cada uno de los cinco estados de oxidación: 0 horas; 50 horas; 100 horas; 200 horas y 300 horas.

FIGURA 3.20 DIAGRAMA TÍPICO ESFUERZO – DEFORMACIÓN OBTENIDO EN EL ENSAYO A TRACCIÓN DEL ACERO, SÁNCHEZ Y VILLAFUERTE (2011).

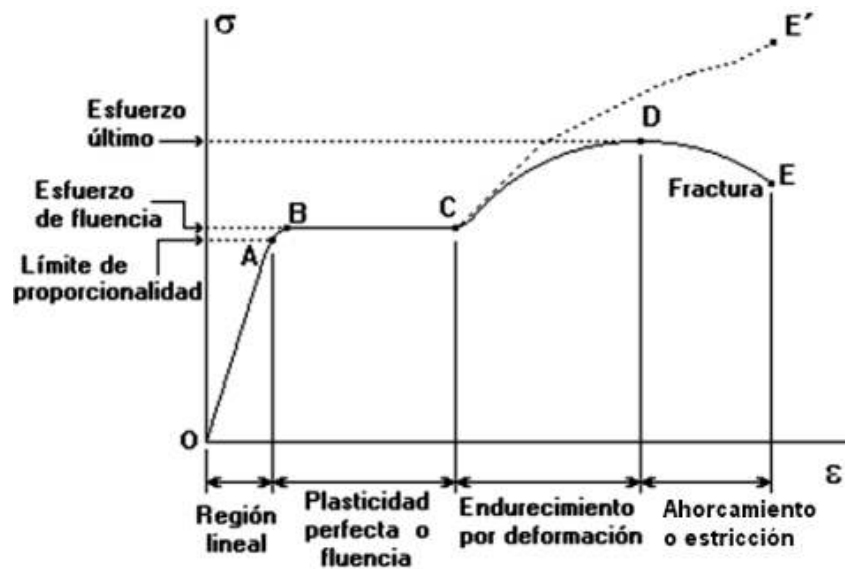


FOTO 3.1 MÁQUINA DE ENSAYOS UNIVERSAL – LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA - EPN



FOTO 3.2 PROBETAS PARA ENSAYO DE TRACCIÓN



FOTO 3.3 EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DEL ACERO



3.1.2. DUREZA ROCKWELL B

El ensayo ayuda a medir en forma rápida y no destructiva la dureza en materiales blandos y duros, una propiedad mecánica que indica la mayor o menor resistencia de un cuerpo a ser rayado o penetrado por otro (Sanchez y Villafuerte, 2011).

La dureza Rockwell se calcula en base a la profundidad de penetración de un cuerpo con forma cónica, esférica o piramidal en el material a ensayarse, la incrustación del indentador produce una fuerza durante un determinado tiempo en forma discontinua, es decir hay una carga inicial y posterior una carga adicional (Sánchez y Villafuerte, 2011). El valor de la dureza se obtiene directo de la máquina, en forma analítica o digital, al suprimir la carga aplicada en la probeta.

El ensayo se realiza bajo la norma ASTM E-18, en la máquina de ensayos de dureza del Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la EPN que se observa en la Fotografía 3.5, la escala comparativa será de tipo B, porque es la indicada para materiales blandos con $HB < 200$, con los valores obtenidos se puede validar el acero que se utiliza en el ensayo Pull Out. El número de dureza en la escala Rockwell B obtenido de la profundidad de la huella, es expresado como un símbolo de escala, y debe estar dentro de los rangos establecidos en la Tabla 3.1.

FOTO 3.4 PROBETAS PARA ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL



TABLA 3.2 VALORES DE DUREZA EN ESCALA ROCKWELL B PARA DISTINTAS RESISTENCIAS A TRACCIÓN, INGEMECÁNICA (2013)

Características Mecánicas				
AISI	Resistencia a la tracción	Límite Elástico	Dureza	
	Kg/mm ²	Kg/mm ²	HR Máx.	Brinell Máx.
201	70-80	30	95	201
301	52-75	21	88	185
302	52-70	21	88	183
302 B	55-75	21	88	183
303	52-70	21	90	180
304	50-70	21	88	183
304 L	50-65	18	88	183
304 H	75	30	92	183
304 LN	75	30	92	202
305	50-70	20	88	183
308	50-70	21	88	183
309	50-75	25	95	217
309 S	50-75	25	95	217
310	50-75	25	95	217
310 S	50-75	25	95	217
314	50-75	25	95	217
316	50-75	21	95	217
316 L	50-70	18	95	217
3016 N	80	35	95	217
316 LN	75	30	95	217
316 Ti	50-78	25	95	217
317	55-75	25	90	217
317 L	80	35	95	217
321	55-75	25	88	183
321 H	75	30	95	217
347	55-75	25	92	201
348	55-75	25	92	201
403-410 S	45-60	24	90	183
405	42-53	25	88	183
410	45-88	30	95	217
416	45-74	24	98	215
420	55-77	33	95	220
430	45-62	25	90	185
430 F	45-63	25	-	185
431	84-92	65	-	270
440 A	65-80	30	95	-
440 B	75-85	40	-	-
446	62-60	31	80	185

En el procedimiento del ensayo se utiliza un durómetro que posee como indentador una bola de acero de 1/16 de pulgada, y genera una carga de aplicación de 100Kgf. La carga inicial al comenzar el ensayo tiene como objetivo eliminar la rugosidad de la superficie, ubicar correctamente el dial de lectura y establecer el punto de inicio de la penetración. La segunda carga debe llegar al valor límite entre tres y seis segundos, se aplica de manera uniforme y sin vibraciones. La carga se mantiene por cinco segundos y se procede a leer en número de dureza en escala Rockwell B (HR).

Las probetas deben que ser preparadas, dos de sus caras tienen que ser paralelas entre sí, se aconseja limpiar, aplanar y pulir. El número de testigos es de cinco por cada estado de oxidación y se toman un valor en cada uno, todas las probetas tienen una longitud de 10 centímetros.

FOTO 3.5 DURÓMETRO PARA ENSAYO ROCKWELL



3.1.3. OXIDACIÓN

La oxidación es la variable fundamental del presente estudio experimental, porque las varillas utilizadas como refuerzo se encuentran expuestas a las condiciones

ambientales, principalmente lluvia y viento, que producen corrosión en el acero, generando una capa de óxido que afecta directamente a la capacidad de adherencia entre las barras y el hormigón.

El estado superficial de oxidación que se produce por distintos agentes agresivos se mide de acuerdo a la capa de óxido que se genera alrededor de la barra. Para determinar si las varillas están ligeramente oxidadas o severamente oxidadas, se limpia la capa de óxido y se mide el nuevo diámetro efectivo, para encontrar cuántas micras se han perdido en la oxidación (Barbera, 1982).

El proceso de oxidación acelerada se realiza mediante la Cámara de Niebla Salina, marca Q-FOG, modelo CCT600, del Centro de Investigación Aplicada a Polímeros (CIAP) de la EPN (Foto 3.6). El ensayo de oxidación se realiza bajo la norma ASTM B-117, se escogen cuatro diferentes estados de oxidación superficial, que dependen del número de horas que permanecen las barras dentro de la cámara: 50 horas, 100 horas, 200 horas, 300 horas, y la quinta condición es la no oxidada.

FOTO 3.6 CÁMARA DE NIEBLA SALINA



La preparación de la solución es con agua destilada y cloruro de sodio 90% de pureza, en una concentración del 5%, es decir 500 gramos de sal en 10 litros de agua destilada. Se aclara que la oxidación producida dentro de la cámara en las distintas horas de exposición, no se pueden comparar con un determinado tiempo de exposición a la intemperie, porque no se tienen las mismas condiciones en el ambiente que dentro de la cámara (ASTM B-117, 2009). Para poder relacionar los datos con el medio, se realiza la medición de la pérdida de micras, registrando que 10 micras equivalen a una barra ligeramente oxidada y 40 micras o más a una barra severamente oxidada.

Los valores del número de micras perdidas y el porcentaje que disminuye respecto al diámetro nominal inicial de la barra se obtienen de tres probetas de longitud seis centímetros para cada estado superficial de oxidación, la medición se realiza mediante micrómetros, marca SPI, modelo 13-101-1, del Laboratorio de Ingeniería Mecánica, ver Foto 3.8. Los testigos no tienen corrugas y se realizan tres mediciones, en la parte superior, media e inferior.

FOTO 3.7 VARILLAS PARA ENSAYO DE OXIDACIÓN ACELERADA Y PROBETAS PARA MEDICIÓN DE PERDIDA DE MICRAS



FOTO 3.8 MICRÓMETRO MARCA SPI – 13-101-1



FOTO 3.9 EN CÁMARA SALINA OXIDACIÓN ACELERADA DE LAS VARILLAS A 50 HORAS



FOTO 3.10 MEDICIÓN DE PERDIDA DE MICRAS

TABLA 3.3 DIÁMETRO REAL DE LAS PROBETAS PARA Φ 10 Y Φ 12

Probeta	Diámetro (mm)	
	Nominal	Real
1	10	9.510
2	10	9.510
3	10	9.510
4	10	9.510
5	10	9.508
6	10	9.510
7	10	9.512
8	10	9.510
9	10	9.510
10	10	9.510
11	10	9.510
12	10	9.510

Probeta	Diámetro (mm)	
	Nominal	Real
1	12	11.657
2	12	11.659
3	12	11.664
4	12	11.663
5	12	11.661
6	12	11.661
7	12	11.669
8	12	11.660
9	12	11.666
10	12	11.667
11	12	11.662
12	12	11.661

3.2. ENSAYOS EL HORMIGÓN

El hormigón puede ser considerado una roca artificial y sus propiedades mecánicas son factores que influyen en la capacidad de adherencia acero-hormigón, principalmente su resistencia a la compresión y a la tracción. Durante el

proceso constructivo se pueden controlar las características de resistencia, con una correcta dosificación, mano de obra y curado.

Las probetas destinadas para el ensayo Pull Out están compuestas por hormigón de resistencia a la compresión igual a 250 [Kg/cm²].

3.2.1. DOSIFICACIÓN

El proporcionamiento de los materiales que componen la mezcla, se denomina dosificación, que tiene como objetivo lograr una composición homogénea, consistente y trabajable que alcance sus características de resistencia y durabilidad consideradas en su diseño (Lara, 2010).

La dosificación depende de la calidad y características propias de los materiales que componen el hormigón, cemento, agua y agregados, que son los que otorgan la resistencia del hormigón, se puede considerar el uso de aditivos. Las condiciones ambientales a las cuales va a estar expuesta la mezcla, para evitar un desgaste pronto y excesivo, también influyen al momento de escoger el tipo y cantidades de los elementos constitutivos del hormigón.

En los agregados se realizan ensayos de laboratorio normalizados para determinar las características del material, y verificar si cumple con las especificaciones requeridas. En cuanto al agua y cemento no se realiza estudios profundos, y se toma como datos los entregados por el fabricante, en el caso del cemento. Los resultados obtenidos de las pruebas en laboratorio se utilizan para diseñar un hormigón de resistencia a la compresión 250 [Kg/cm²] a 28 días con curado permanente en una temperatura entre 16° y 23°, mediante el método brasileño FK Antia.

3.2.1.1. AGREGADOS – ENSAYOS

Los agregados, fino y grueso, provienen de la cantera de la empresa Holcim ubicada en Pifo, en el cantón Quito. Los materiales se someten a una serie de ensayos normalizados para determinar sus propiedades y verificar que cumplan

con los requisitos que exige la norma INEN 872 o ASTM C33. Las características determinadas son: límite de gradación (granulometría), pesos específicos, resistencia a la abrasión.

A continuación, se detalla brevemente los ensayos realizados para obtener los datos necesarios para elaborar el hormigón, según las normas INEN y ASTM.

3.2.1.1.1. GRANULOMETRÍA

El objetivo del análisis granulométrico es determinar el tamaño máximo de las partículas que componen el agregado y sus porcentajes del peso total retenidos en cada tamiz. Los tamices tienen aberturas especificadas, se colocan en una serie descendente de acuerdo a lo establecido en la norma INEN 696 o ASTM C136.

Los datos obtenidos del porcentaje retenido acumulado se utilizan para calcular el módulo de finura (MF), para los agregados grueso y fino. La serie de tamices necesarios para determinar el módulo de finura se encuentra en la Tabla 3.4.

TABLA 3.4 SERIE DE ABRAMS DE TAMICES PARA EL MÓDULO DE FINURA, MONROY Y LUNA (1985).

SERIE DEL MÓDULO DE FINURA (DUFF ABRAMS)										
Tamiz N°	3"	1 1/2"	3/4"	3/8"	4	8	16	30	50	100
Abertura (mm)	75	38	19	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15

En los ensayos de agregados grueso y fino se seleccionan muestras representativas de 25 [Kg] y 500 [g] respectivamente, se tamizan y se procede al cálculo del porcentaje retenido respecto al peso y el módulo de finura con la Ecuación 3.1.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido en los tamices en la serie de Abrams}}{100} \quad (3.1)$$

Los resultados y el cálculo del MF se observa en las Tablas 3.5 y 3.6.

TABLA 3.5 GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO GRUESO

DESIGNACION DE TAMIZ STANDARD	PESO RETENIDO (gr)		PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASANDO
	PARCIAL	ACUMULADO		
3"				
2 1/2"				
2"	0	0	0	
1 1/2"	0	0	0	100
1"	419	419	2	98
3/4"	9159	9578	38	62
1/2"	12760	22338	90	10
3/8"	1831	24169	97	3
No.4	673	24842	100	0
PASA No.4	50	50		0

MÓDULO DE FINURA

7,35

FOTO 3.11 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO



TABLA 3.6 GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO

DESIGNACION DE TAMIZ STANDARD	PESO RETENIDO (g)		PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASANDO
	PARCIAL	ACUMULADO		
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"	0	0	0	100
3/8"	0	0	0	100
No.4	2	2	0	100
PASA No.4				
No.8	130	131	32	68
No.10				
No.16	118	249	61	39
No.30	76	326	79	21
No.40				
No.50	53	379	92	8
No.60				
No.80				
No.100	31	409	100	0
PASA No.100	1	1		0
No.200				
PASA No. 200				

MÓDULO DE FINURA

3,64

FOTO 3.12 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO



3.2.1.1.2. PESOS ESPECÍFICOS

La relación entre la masa y el volumen que ocupa el agregado, grueso o fino, se define como peso específico, y dependiendo del método de diseño se puede utilizar el peso específico seco, peso específico saturado en superficie seca (SSS) y peso específico aparente.

Los ensayos son normalizados, para el agregado grueso es la norma ASTM C127 y para el agregado fino la norma ASTM 128. Los valores del peso específico generalmente se encuentran en el rango de 2,4 [Kg/m³] y 2,9 [Kg/m³]. Las muestras utilizadas para los ensayos deben ser saturadas 24 horas y los procedimientos y equipos que se utilizan los detalla la norma INEN 857.

La capacidad de absorción es la cantidad de agua que pueden absorber los agregados si se encuentran saturados por un período igual o mayor a 24 horas.

FOTO 3.13 ENSAYOS PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS



TABLA 3.7 PESOS ESPECÍFICOS Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

		ENSAYO No 1	ENSAYO No 2	PROMEDIO
PESO DE MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE (g)	B	10000,1	10000,2	
PESO MUESTRA SUMERGIDA EN AGUA (g)	C	5850	5810	
PESO DE LA MUESTRA SECA (g)	A	9357,1	9341,9	
PESO ESPECÍFICO BASE SECA (Kg/m^3)	$\frac{A}{B-C}$	2,255	2,229	2,242
PESO ESPECIFICO S.S.S. (Kg/m^3)	$\frac{B}{B-C}$	2,410	2,387	2,398
PESO ESPECIFICO APARENTE (Kg/m^3)	$\frac{A}{A-C}$	2,668	2,645	2,657
ABSORCION (%)	$\frac{B-A}{A} \times 100$	6,87	7,05	6,96

FOTO 3.14 MUESTRAS SATURADAS POR 24 HORAS

TABLA 3.8 PESOS ESPECÍFICOS Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

		ENSAYO No 1	ENSAYO No S	PROMEDIO
VOLUMEN DE LA PROBETA EN (cm ³)	V	1000	1000	
PESO DE LA PROBETA (g)		247,8	216,8	
PESO DE MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE (g)	P	500	500	
PESO MUESTRA + AGUA + PROBETA (g)		1545,5	1516,2	
PESO DEL AGUA (g)	W	797,7	799,4	
PESO DE LA MUESTRA SECA (g)	A	472	478	
PESO ESPECÍFICO BASE SECA (Kg/m ³)	$\frac{A}{V-W}$	2,334	2,382	2,358
PESO ESPECIFICO S.S.S. (Kg/m ³)	$\frac{P}{V-W}$	2,472	2,493	2,482
PESO ESPECIFICO APARENTE (Kg/m ³)	$\frac{A}{(V-W)-(P-A)}$	2,707	2,677	2,692
ABSORCION (%)	$\frac{P-A}{A} \times 100$	5,91	4,62	5,27

3.2.1.1.3. ABRASIÓN

La resistencia al desgaste en el agregado grueso indica la calidad del material, por lo tanto, la durabilidad del hormigón que va a constituir.

El ensayo se ejecuta bajo la norma ASTM C 131, y mide la dureza y resistencia de las partículas, sometidas a una carga de abrasión o un esfuerzo de desgaste,

mediante el uso de esferas de acero colocadas junto a la muestra, dentro de la Máquina de Los Ángeles. El número de revoluciones y esferas son normalizadas de acuerdo a la granulometría o tipo de gradación del agregado.

La abrasión se define como el porcentaje de masa retenida en el tamiz #12 después de efectuado el ensayo, con respecto a la masa inicial.

FOTO 3.15 MÁQUINA DE LOS ÁNGELES Y ENSAYO DE ABRASIÓN



TABLA 3.9 ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO

ABRASIÓN		
Tipo de gradación		B
Número de esferas		12
Peso inicial (g)	B	5000.2
Peso retenido en el tamiz #12 después de 100 revoluciones (g)	C	4683.5
Peso retenido en el tamiz #12 después de 500 revoluciones (g)	D	3627.4
Porcentaje de desgaste	$\frac{B-D \times 100}{B}$	27.45
Coefficiente de uniformidad	$\frac{B - C}{B - D}$	0.23

3.2.1.1.4. DOSIFICACIÓN – MÉTODO FK ANTIA

Al igual que los otros métodos de dosificación, el punto de inicio es la resistencia a la compresión del hormigón transcurridos 28 días desde su fundición. En la elaboración de las probetas para el ensayo Pull Out se utiliza un hormigón de $f'c = 250$ [Kg/cm²].

El primer parámetro a considerar es la relación agua/cemento, cuyo valor se obtiene de la Tabla 3.9 en función a su $f'c$, el mismo que debe ser aumentado aproximadamente en 50 [Kg/cm²] a la resistencia que se desea obtener, por influencia de diversos factores que afectan durante la construcción en campo. La relación agua/cemento influye en la tensión de adherencia, como se explica en el Capítulo 2.

TABLA 3.10 RELACIÓN AGUA/CEMENTO, MUÑOZ (2015).

RELACION AGUA CEMENTO	0,33	0,45	0,55	0,66	0,78
Peso de agua en Kg/saco de cemento de 50 Kg	17	22,5	28	33,5	39,5
Resistencia media a la compresión a 7 días en Kg/cm ²	246	211	179	151	125
Resistencia media a la compresión a 28 días en Kg/cm ²	369	316	268	226	187

La cantidad de agua que se debe utilizar en la mezcla, está en función al tamaño máximo de las partículas del agregado, para el material de la cantera de Holcim es 19 [mm] o las partículas retenidas por el tamiz 3/4".

TABLA 3.11 CANTIDAD DE AGUA, MUÑOZ (2015).

Tamaño máximo del agregado grueso en mm	13	19	25	38
Litros de agua por m³ de hormigón	213	199	193	181

Con el valor de la relación agua/cemento y la cantidad de agua se puede calcular la cantidad de cemento con la Ecuación 3.2.

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{Cantidad de agua}}{\text{Relacion agua/cemento}} \quad (3.2)$$

Las cantidades de agua en litros y de cemento en kilogramos tienen que ser expresadas como volumen absoluto (V.A.) en un metro cúbico de hormigón, para encontrar estos valores se divide las cantidades de agua y cemento para su peso específico. El volumen absoluto de los agregados se obtiene con la Ecuación 3.3.

$$V. A. agregados = 1 - V. A. cemento - V. A. agua \quad (3.3)$$

El módulo de finura ideal se define como el promedio del módulo de finura máximo y mínimo, datos que están en función del tamaño máximo del agregado, y se obtienen de la Tabla 3.12.

TABLA 3.12 MÓDULO DE FINURA MÁXIMO Y MÍNIMO, MUÑOZ (2015).

Tamaño máximo del agregado grueso	MÓDULO DE FINURA	
	MÍNIMO	MÁXIMO
3/8" (10 mm)	3,3	3,7
1/2" (13 mm)	4,5	5,0
3/4" (19 mm)	4,8	5,3
1" (25 mm)	5,0	5,5
1 1/4" (32 mm)	5,1	5,7
1 1/2" (38 mm)	5,4	6,0
3" (76 mm)	5,9	6,5
6" (152 mm)	6,5	7,0

El porcentaje de arena dentro de los agregados se calcula mediante la Ecuación 3.4. El volumen absoluto de la arena es el porcentaje de arena multiplicado por el volumen absoluto de los agregados, mientras que el volumen absoluto del ripio es la diferencia entre el volumen absoluto de los agregados y la arena.

$$\% \text{ Arena} = \frac{MFR - MFI}{MFR - MFA} \quad (3.4)$$

Donde:

MFR = Modulo de finura del ripio

MFA = Modulo de finura de la arena

MFI = Modulo de finura ideal

La dosificación al volumen, o en parihuelas, no es muy precisa, por esa razón se dosifica al peso en kilogramos, el material debe estar seco. El volumen absoluto de cada elemento constitutivo del hormigón por su respectivo peso específico

(cemento y agua) y peso específico aparente (arena y ripio) determina la cantidad de kilogramos necesarios para elaborar un metro cúbico de hormigón.

TABLA 3.13 DOSIFICACIÓN AL PESO – MÉTODO FK ANTIA

MÉTODO FK ANTIA		
DATOS	f_c (Kg/cm^2)	250
	TMN (mm)	19
	MF arena	3,64
	MF ripio	7,35
	MFI	5,05
Relación Agua/Cemento		0,45
CANTIDAD	Agua (litros)	199
	Cemento (Kg)	442,22
	Agregados (m^3)	0,658
Porcentaje de arena		0,62
VOLUMEN ABSOLUTO	Arena (m^3)	0,408
	Ripio (m^3)	0,250
	Cemento (m^3)	0,143
	Agua (m^3)	0,199
PESO	Agua (litros)	199
	Cemento (Kg)	442,22
	Arena (Kg)	1098,71
	Ripio (Kg)	664,80
	Total (Kg)	2404,74

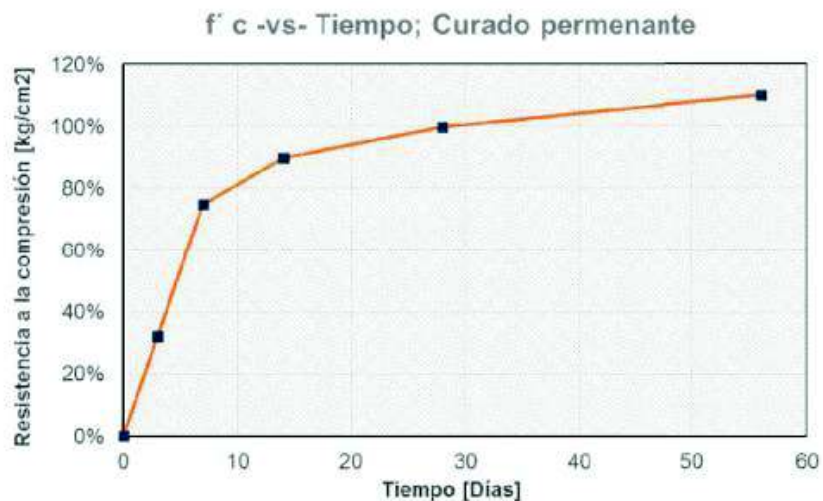
3.2.2. COMPRESIÓN SIMPLE EN EL HORMIGÓN

Después de atravesar su etapa de fraguado y transcurrido 28 días, el hormigón endurecido alcanza su resistencia representativa que es utilizada para el diseño. Esta característica de resistencia es sumamente importante, porque de ella depende la dosificación.

El hormigón aumenta su resistencia a medida que avanza el tiempo, y a partir del día 28, el valor aumenta lentamente o en forma asintótica que se evidencia con un

ensayo posterior a 56 días, como muestra la Figura 3.21. Las unidades más utilizadas en el medio constructivo ecuatoriano para medir la resistencia son Kg/cm² y MPa.

FIGURA 3.21 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EN EL TIEMPO, LUNA (2014).



El objetivo del ensayo es comprobar si las probetas (cilindros) alcanzan la resistencia escogida en el proceso de dosificación a los 28 días. En obras es importante conocer el crecimiento de la resistencia a compresión del hormigón, por ese motivo se realizan ensayos a 3, 7, 14, 21 días para controlar que la mezcla alcance su resistencia a 28 días y continuar con los trabajos de construcción, evitando el derrocamiento de elemento o estructura (IMCYC, 2006).

Los cilindros tomados como especímenes tienen medidas de altura y diámetro normalizados, son moldeados y curados, y se debe tener un mínimo de dos muestras para comparar los resultados. Previo al ensayo, en el laboratorio se debe medir el peso de los cilindros, sus dimensiones y comprobar que las caras sean paralelas y que no existan irregularidades. El ensayo de compresión aplica una carga axial en una de las caras del cilindro, con una velocidad constante de $0,25 \pm 0,05$ [MPa/s], hasta la falla del espécimen (Imbaquingo, 2012), todo bajo la norma NTE INEN 1573 o ASTM C39-05.

Se destina para el ensayo de compresión tres cilindros, fabricados en moldes de dimensiones 6" de diámetro y 12" de altura. La ejecución de las pruebas se realiza en el Laboratorio de Materiales, Suelos y Rocas (LEMSUR) en la máquina de compresión. La variación de los resultados se debe al asentamiento, se necesita un hormigón un poco más fluido.

TABLA 3.14 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES

DESCRIPCIÓN	FECHA FABRICA	FECHA ROTURA	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)			PESO (g)	CARGA (T)	RESISTENCIA (Kg/cm^2)
EPN - 1	11/08/2017	21/11/2017	15,10	30,0	29,9	30,0	12398,0	54,555	304,64
EPN - 2	11/08/2017	21/11/2017	15,10	30,1	30,2	30,2	12554,1	50,321	281,00
EPN - 3	11/08/2017	21/11/2017	15,15	30,5	30,4	30,5	12684,1	53,528	296,94
EPN - 4	23/08/2017	21/11/2017	15,10	30,2	30,0	30,1	12358,7	55,336	309,00
EPN - 5	23/08/2017	21/11/2017	15,15	30,0	30,0	30,0	12356,5	57,345	318,11
EPN - 6	23/08/2017	21/11/2017	15,15	30,0	29,9	30,0	12428,2	53,269	295,50
EPN - 7	25/08/2017	21/11/2017	15,15	30,0	30,1	30,0	12422,3	54,616	302,97
EPN - 8	25/08/2017	21/11/2017	15,10	30,5	30,4	30,3	12622,5	51,144	285,60
EPN - 9	25/08/2017	21/11/2017	15,00	30,0	30,1	30,0	12358,9	57,889	327,58
EPN - 10	26/09/2017	21/11/2017	15,05	30,2	30,3	30,0	12407,3	51,251	288,10
EPN - 11	26/09/2017	21/11/2017	15,10	30,1	30,2	30,0	12410,9	49,991	279,16
EPN - 12	26/09/2017	21/11/2017	15,15	30,0	30,1	29,9	12452,8	45,297	251,28
EPN - 13	27/09/2017	21/11/2017	15,15	30,0	30,0	30,0	12367,1	52,834	293,09
EPN - 14	27/09/2017	21/11/2017	15,15	30,1	30,2	30,1	12421,3	54,828	304,15
EPN - 15	27/09/2017	21/11/2017	15,05	30,0	30,1	30,0	12370,7	46,486	261,31

Foto 3.16 CILINDROS PARA ENSAYO A COMPRESIÓN



FOTO 3.17 EJECUCIÓN DE ENSAYO A COMPRESIÓN



FOTO 3.18 ENSAYO A COMPRESIÓN FINALIZADO – FALLA DEL ESPÉCIMEN



3.2.3. TRACCIÓN EN EL HORMIGÓN

El hormigón es un material que no resiste bien las cargas y esfuerzo de tracción, y la consecuencia es el agrietamiento o fisuración del hormigón, que deben ser controladas con las armaduras de refuerzo (acero), por esa razón la adherencia entre los dos materiales debe ser ideal, para permitir la transmisión de esfuerzos acero-hormigón y evitar la aparición de fisuras superficiales asociadas a distintos factores explicados en el Capítulo 2.

El valor de la resistencia a tracción no es considerado en el diseño estructural, por ser un valor bajo en comparación con su resistencia a compresión, sin embargo, estos valores delimitan el rango en el cual actúan los diferentes mecanismos de adherencia (química, fricción y acuanamiento).

Los ensayos experimentales establecidos para determinar la resistencia a tracción son: la tracción indirecta o tracción por compresión diametral y la tracción directa, poco utilizada por su dificultad de aplicación. Los valores de resistencia a la compresión o el módulo de rotura por flexión pueden ser utilizados en distintas ecuaciones empíricas para determinar el valor de la resistencia a la tracción.

Las magnitudes de resistencia a la tracción del hormigón utilizado en la fabricación de las probetas del ensayo Pull Out, se obtienen mediante las ecuaciones de Adam Neville, Burg y Ost, ACI y en el ensayo experimental de tracción indirecta de cinco cilindros correspondientes a cada estado de oxidación. Los valores serán correlacionados y demuestra el grado de confianza de las ecuaciones sugeridas por el INECYC 2009.

Adam Neville

$$f_{ct} = 0,3 * \sqrt[3]{f'c^2} \quad (3.5)$$

Burg y Ost

$$f_{ct} = 0,61 * \sqrt{f'c} \quad (3.6)$$

ACI 353 (1984)

$$f_{ct} = 0,5616 * \sqrt[3]{f'c^5} \quad (3.7)$$

El ensayo de tracción indirecta consiste en aplicar una carga a lo largo del eje longitudinal, colocando el cilindro en un aparato, que es un marco metálico y una placa superior de acero (Fotografía 3.19), para distribuir uniformemente los esfuerzos de tensión en la sección transversal, y provocar la falla o rotura del espécimen. En las probetas, previo al ensayo, se deben medir su longitud y su diámetro, al menos dos medidas de cada una, similar a lo realizado en el ensayo a compresión. La velocidad de aplicación de la carga es la mitad de la velocidad a compresión, es decir $0,10 \pm 0,05$ [MPa/s].

FOTO 3.19 MARCO METÁLICO PARA ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA



Los datos obtenidos de la tracción indirecta son mayores a los resultados de la tracción directa o tracción pura, aproximadamente entre un 16% a un 18%, pero la tracción por compresión diametral es el método más utilizado por su facilidad de

ejecución (Muñoz, 2015). El cálculo de la resistencia a tracción se realiza mediante la Ecuación 3.8.

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi L D} \quad (3.8)$$

Donde:

f_{ct} = Resistencia a la tracción

P = Carga aplicada hasta la falla

L = Longitud del cilindro

D = Diámetro del cilindro

FOTO 3.20 EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA



FOTO 3.21 FINALIZACIÓN DEL ENSAYO, FALLA DEL CILINDRO POR TRACCIÓN



TABLA 3.15 RESISTENCIA A TRACCIÓN, COMPARACIÓN CON FÓRMULAS EMPÍRICAS

DESCRIPCIÓN	FECHA FABRICA	HORAS DE OXIDACIÓN	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (Kg/cm^2)	CARGA (T)	RESISTENCIA TRACCIÓN (Kg/cm^2)	A. NEVILLE (Kg/cm^2)	ACI (Kg/cm^2)	BURG Y OST (Kg/cm^2)
EPN - 16	11/08/2017	0	15,15	30,10	312,81	23,51	32,82	13,82	13,67	10,79
EPN - 17	23/08/2017	50	15,15	30,13	307,54	24,85	34,66	13,67	13,54	10,70
EPN - 18	25/08/2017	100	15,10	30,03	305,38	24,37	34,21	13,60	13,49	10,66
EPN - 19	26/09/2017	200	15,10	30,13	272,84	18,57	25,97	12,62	12,67	10,08
EPN - 20	27/09/2017	300	15,10	30,20	286,18	18,94	26,44	13,03	13,01	10,32

3.3. ENSAYOS TIPO PULL OUT TEST

El factor de oxidación y su influencia en la adherencia es la variable principal del estudio experimental, y el ensayo que se utiliza para determinar los valores de tensión de adherencia y poder comparar los resultados de cada estado superficial

de oxidación es el llamado Pull Out. Con los resultados se establece el porcentaje que varía la adherencia, porque los valores dependen del diámetro y el anclaje, y para cada varilla, existen cambios en estos parámetros, como se explica en este Capítulo.

3.3.1. INTRODUCCIÓN

Los materiales que componen las estructuras de hormigón armado, durante su etapa de construcción se exponen a varios agentes agresivos que deterioran sus características propias, como también las cualidades en conjunto, específicamente la capacidad de transferir las fuerzas entre el acero y el hormigón, desencadenando fallas de fisuración que pueden afectar la seguridad estructural.

El acero es una aleación de hierro y carbono que posee una resistencia alta en comparación con otros materiales. Las varillas fabricadas de este material se oxidan y pueden variar sus propiedades como diámetro, dureza, resistencia, que unidas al hormigón afectan directamente a la tensión de adherencia, en forma positiva o negativa, por ese motivo es necesario cuantificar en porcentaje el daño en los materiales y el cambio en el fenómeno de adherencia.

Según lo revisado de la literatura, el ensayo óptimo para analizar la influencia de la oxidación en el fenómeno de adherencia es el propuesto por el Comité Euro-internacional du Betum (CEB), llamado Pull Out. Se dispone de cinco estados superficiales de oxidación distintos con barras de diámetro 10 y 12 milímetros.

3.3.2. PLANIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS

Las dimensiones de las probetas prismáticas son normalizadas por CEB en el año 1983, y en el presente estudio experimental únicamente se realiza una modificación respecto al recubrimiento, con la finalidad de utilizar el valor de recubrimiento típico de las construcciones en la región costa del Ecuador, sector donde existe mayor corrosión por efectos ambientales.

Los datos registrados son: la carga aplicada en el extremo activo y el deslizamiento de la barra, en caso de existir rotura se registra, pero es poco probable porque el recubrimiento es mayor 3 veces el diámetro de la barra, evitando que se produzca algún tipo de falla, según lo explicado en el Capítulo 2.

3.3.2.1. GEOMETRÍA

De acuerdo con la norma, las probetas son cúbicas, con una arista de 200 [mm], y un recubrimiento de 5 [cm], que se utiliza en la región costa.

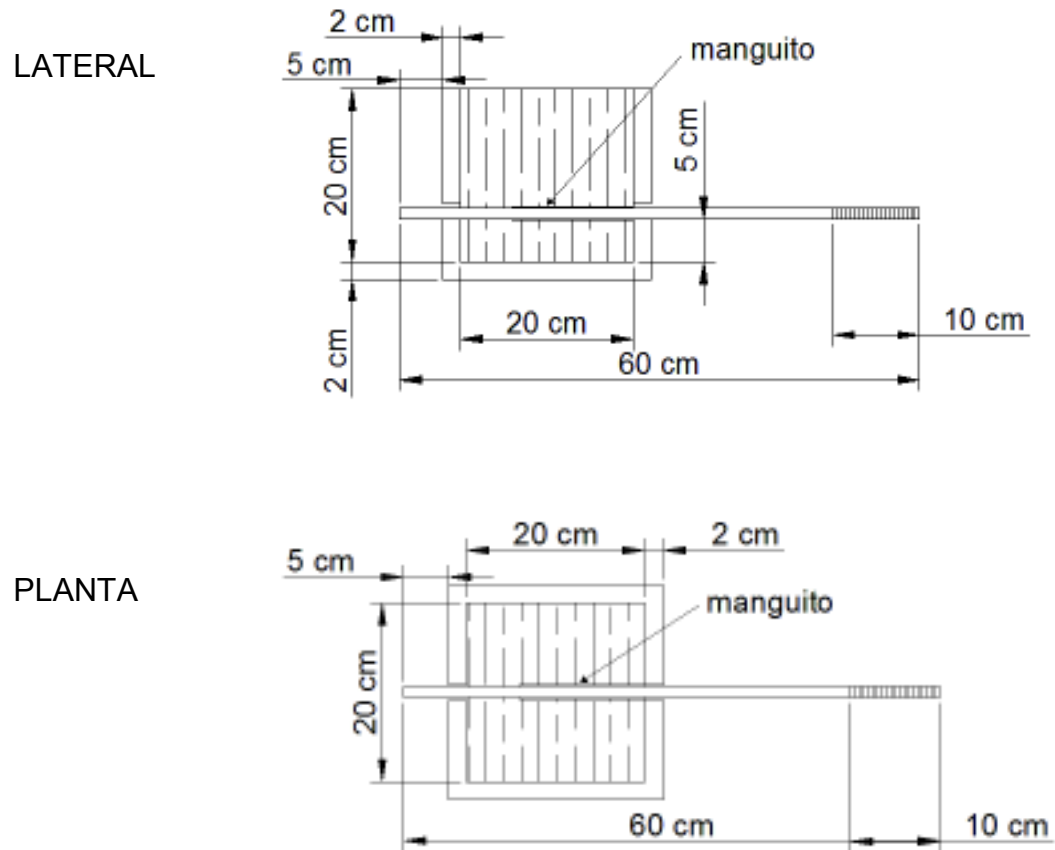
Para la fabricación de las probetas se diseña un encofrado de madera, individual para cada una, el espesor de las paredes y la base del encofrado es 2 [cm], como se observa en la Foto 3.22. El muestreo se efectúa de igual manera que los cilindros según la Norma INEN 1763.

La zona de adherencia tiene una longitud de 5ϕ localizada en el extremo pasivo. En la longitud restante de la varilla se coloca un manguito de plástico, con un diámetro ligeramente más grande que la barra, con el fin de evitar la unión del acero y el hormigón en esa zona.

FOTO 3.22 ENCOFRADO Y MANGUITO PARA ELABORAR LAS PROBETAS DEL ENSAYO PULL OUT



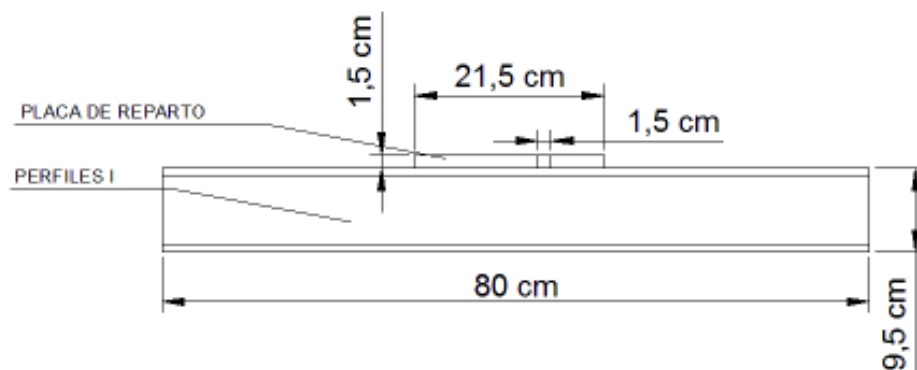
FIGURA 3.22 GEOMETRÍA Y DIMENSIONES DEL ENCOFRADO



En la etapa de fundición se debe evitar el desplazamiento de la varilla y del manguito de plástico, por ello se coloca un relleno en los orificios del encofrado, preferentemente algún tipo de masilla. El desencofrado se realiza transcurridas 24 horas, e inmediatamente se comienza el proceso de curado hasta que las probetas alcancen una edad de 28 días para efectuar el ensayo Pull Out.

Para el ensayo se necesita una mesa que soporte la fuerza aplicada en el extremo activo, localizado en la parte inferior. El diseño de la mesa consta de 2 secciones tipo H que soportan una placa metálica rectangular de 21,5 [cm] x 31,5 [cm], de 2 [cm] de espesor que garantiza el reparto uniforme de la tensión en la superficie. En la Figura 3.23 se observa las dimensiones de la mesa.

FIGURA 3.23 DISEÑO DE LA MESA PARA ENSAYO PULL OUT LATERAL



PLANTA

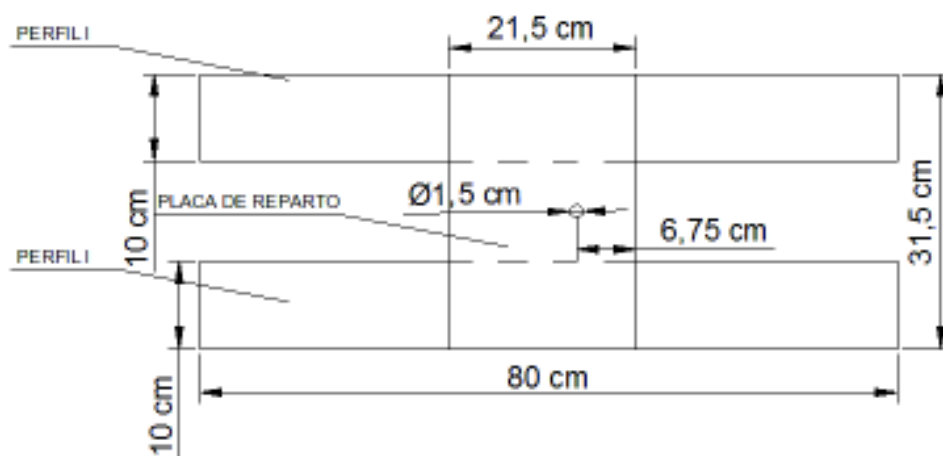


FOTO 3.23 MESA PARA ENSAYO PULL OUT



3.3.2.2. DIRECCIÓN DEL HORMIGONADO

Debido a la disposición del ensayo y el diseño de los encofrados, el hormigonado es de manera transversal o perpendicular a la aplicación de la carga. El ángulo es de 0° , comprendido entre 0° y 45° , para tener una mejor adherencia la ubicación de la barra es en la mitad inferior de la probeta de acuerdo a la bibliografía expuesta en el Capítulo 2, ver Fotografía 3.24.

FOTO 3.24 PROBETAS FUNDIDAS PARA ENSAYO PULL OUT



3.3.2.3. SERIE DE ENSAYOS

Los ensayos se realizan en cinco series distintas en los que varía únicamente el diámetro de la barra. El número de probetas que se elaboran por cada diámetro es de siete, para descartar los resultados más dispersos, debido a algún tipo de falla. Se realiza el hormigonado al mismo tiempo de los 14 cubos, aparte se toman 7 cilindros como testigos para verificar en el laboratorio la resistencia, como se explica en el inciso 3.2.2.

SERIE 1

La primera serie tiene 14 probetas, en las que sus varillas no han sido expuestas a ningún proceso de oxidación acelerada, es decir son barras nuevas. La longitud de adherencia es de 50 [mm] y 60 [mm] para las varillas de 10 [mm] y 12 [mm] respectivamente.

TABLA 3.16 DATOS PROBETAS SERIE 1 – PULL OUT TEST

Probeta	Diametro Nominal (mm)	Horas de oxidación	Longitud Adherente (mm)	Peso (g)	Dimensiones (cm)			Densidad (T/m^3)
EPN - Φ 10 - 8	10	0	50	18300	19,9	19,9	20,1	2,30
EPN - Φ 10 - 9	10	0	50	18200	20,1	19,8	19,9	2,30
EPN - Φ 10 - 10	10	0	50	18400	19,8	20,0	20,0	2,32
EPN - Φ 10 - 11	10	0	50	18350	19,8	20,0	20,0	2,32
EPN - Φ 10 - 12	10	0	50	18350	19,9	19,9	20,0	2,32
EPN - Φ 10 - 13	10	0	50	18300	20,0	20,0	20,0	2,29
EPN - Φ 10 - 14	10	0	50	18250	20,1	20,0	20,0	2,27
EPN - Φ 12 - 8	12	0	60	18550	20,1	20,1	20,0	2,30
EPN - Φ 12 - 9	12	0	60	18550	20,1	20,0	20,0	2,31
EPN - Φ 12 - 10	12	0	60	18600	20,0	20,0	20,0	2,33
EPN - Φ 12 - 11	12	0	60	18450	20,0	20,0	20,1	2,29
EPN - Φ 12 - 12	12	0	60	18550	19,9	20,0	20,0	2,33
EPN - Φ 12 - 13	12	0	60	18600	20,0	20,0	20,1	2,31
EPN - Φ 12 - 14	12	0	60	18500	20,1	20,0	20,1	2,29

SERIE 2

La segunda serie corresponde a 14 probetas que tienen embebidas varillas expuestas a 50 horas de oxidación. La longitud adherente para las barras de diámetro 10 [mm] es 50 [mm] y 12 [mm] es 60 [mm], correspondiente a 5ϕ .

TABLA 3.17 DATOS PROBETA SERIE 2 – PULL OUT TEST

Probeta	Diametro Nominal (mm)	Horas de oxidación	Longitud Adherente (mm)	Peso (g)	Dimensiones (cm)			Densidad (T/m^3)
EPN - Φ 10 - 1	10	50	50	18400	20,0	20,0	19,9	2,31
EPN - Φ 10 - 2	10	50	50	18350	20,0	19,9	19,9	2,32
EPN - Φ 10 - 3	10	50	50	18450	20,1	19,8	20,0	2,32
EPN - Φ 10 - 4	10	50	50	18500	19,9	20,0	20,0	2,32
EPN - Φ 10 - 5	10	50	50	18450	20,1	20,0	19,9	2,31
EPN - Φ 10 - 6	10	50	50	18300	19,8	19,9	19,9	2,33
EPN - Φ 10 - 7	10	50	50	18350	19,9	20,0	20,1	2,29
EPN - Φ 12 - 1	12	50	60	18600	20,1	20,0	20,0	2,31
EPN - Φ 12 - 2	12	50	60	18550	20,0	20,2	19,9	2,31
EPN - Φ 12 - 3	12	50	60	18650	20,0	20,1	20,0	2,32
EPN - Φ 12 - 4	12	50	60	18500	20,0	20,2	20,1	2,28
EPN - Φ 12 - 5	12	50	60	18500	19,9	20,0	20,1	2,31
EPN - Φ 12 - 6	12	50	60	18600	20,2	20,2	20,0	2,28
EPN - Φ 12 - 7	12	50	60	18550	20,0	20,0	20,0	2,32

SERIE 3

La tercera serie, al igual que las anteriores tiene 14 probetas, y sus varillas han sido expuestas a 100 horas de oxidación. Los datos se observan en la Tabla 3.18.

SERIE 4

En la cuarta serie son 14 probetas, las varillas embebidas fueron expuestas a 200 horas de oxidación. La longitud de adherencia y otros datos se encuentran en la Tabla 3.19.

SERIE 5

La última serie consta de 14 probetas, que tienen embebidas varillas sometidas a 300 horas de oxidación acelerada. La longitud de adherencia es de 50 [mm] y 60 [mm] para las varillas de 10 [mm] y 12 [mm] como lo muestra la Tabla 3.20.

TABLA 3.18 DATOS PROBETA SERIE 3 – PULL OUT TEST

Probeta	Diametro Nominal (mm)	Horas de oxidación	Longitud Adherente (mm)	Peso (g)	Dimensiones (cm)			Densidad (T/m^3)
EPN - Φ 10 - 22	10	100	50	18350	19,9	19,9	19,9	2,33
EPN - Φ 10 - 23	10	100	50	18200	19,8	20	19,9	2,31
EPN - Φ 10 - 24	10	100	50	18250	20	20	19,8	2,30
EPN - Φ 10 - 25	10	100	50	18200	19,8	19,9	20,0	2,31
EPN - Φ 10 - 26	10	100	50	18150	19,9	20,1	19,8	2,29
EPN - Φ 10 - 27	10	100	50	18250	19,8	19,9	19,9	2,33
EPN - Φ 10 - 28	10	100	50	18200	20	20,0	19,9	2,29
EPN - Φ 12 - 22	12	100	60	18500	20,1	20,0	20,1	2,29
EPN - Φ 12 - 23	12	100	60	18450	20,0	20,0	20,0	2,31
EPN - Φ 12 - 24	12	100	60	18550	20,2	20,0	20,0	2,30
EPN - Φ 12 - 25	12	100	60	18400	19,9	20,0	20,2	2,29
EPN - Φ 12 - 26	12	100	60	18600	20,0	20,1	20,1	2,30
EPN - Φ 12 - 27	12	100	60	18650	20,1	19,9	20,1	2,32
EPN - Φ 12 - 28	12	100	60	18500	20,0	20,0	19,9	2,32

TABLA 3.19 DATOS PROBETA SERIE 4 – PULL OUT TEST

Probeta	Diametro Nominal (mm)	Horas de oxidación	Longitud Adherente (mm)	Peso (g)	Dimensiones (cm)			Densidad (T/m^3)
EPN - Φ 10 - 15	10	200	50	18200	19,9	19,8	20,0	2,31
EPN - Φ 10 - 16	10	200	50	18400	19,9	19,9	19,9	2,33
EPN - Φ 10 - 17	10	200	50	18200	19,8	20	20,0	2,30
EPN - Φ 10 - 18	10	200	50	18350	19,8	20,0	20,2	2,29
EPN - Φ 10 - 19	10	200	50	18350	20,0	20,0	19,8	2,32
EPN - Φ 10 - 20	10	200	50	18300	20,0	20,0	20,0	2,29
EPN - Φ 10 - 21	10	200	50	18250	20	19,9	19,9	2,30
EPN - Φ 12 - 15	12	200	60	18500	20,2	20,0	20,2	2,27
EPN - Φ 12 - 16	12	200	60	18500	20,1	20,0	20,0	2,30
EPN - Φ 12 - 17	12	200	60	18600	20,0	20,0	20,1	2,31
EPN - Φ 12 - 18	12	200	60	18550	20,1	19,9	19,9	2,33
EPN - Φ 12 - 19	12	200	60	18450	19,9	20,1	20,0	2,31
EPN - Φ 12 - 20	12	200	60	18600	20,0	20,0	20,1	2,31
EPN - Φ 12 - 21	12	200	60	18550	20,1	20,1	20,1	2,28

TABLA 3.20 DATOS PROBETA SERIE 5 – PULL OUT TEST

Probeta	Diametro Nominal (mm)	Horas de oxidación	Longitud Adherente (mm)	Peso (g)	Dimensiones			Densidad (T/m^3)
					(cm)			
EPN - Φ 10 - 29	10	300	50	18200	19,9	19,9	20,0	2,30
EPN - Φ 10 - 30	10	300	50	18350	19,9	19,8	19,9	2,34
EPN - Φ 10 - 31	10	300	50	18150	20,0	19,7	19,9	2,31
EPN - Φ 10 - 32	10	300	50	18150	20,0	20,1	19,8	2,28
EPN - Φ 10 - 33	10	300	50	18250	19,8	20,1	19,9	2,30
EPN - Φ 10 - 34	10	300	50	18200	19,9	20,0	20,0	2,29
EPN - Φ 10 - 35	10	300	50	18100	19,8	20,1	20,0	2,27
EPN - Φ 12 - 29	12	300	60	18400	20,1	20,1	20,0	2,28
EPN - Φ 12 - 30	12	300	60	18350	19,9	20,0	20,0	2,31
EPN - Φ 12 - 31	12	300	60	18450	19,9	19,9	20,1	2,32
EPN - Φ 12 - 32	12	300	60	18400	20,0	20,0	20,0	2,30
EPN - Φ 12 - 33	12	300	60	18500	20,1	20,0	20,0	2,30
EPN - Φ 12 - 34	12	300	60	18500	20,0	20,1	19,9	2,31
EPN - Φ 12 - 35	12	300	60	18450	20,2	20,0	20,0	2,28

3.3.2.4. EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

El ensayo Pull Out se realiza en el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV). Para la ejecución, la probeta se coloca sobre la mesa metálica diseñada para el efecto, y el conjunto se ubica sobre uno o dos soportes cúbicos para poder montar el gato hidráulico hueco, la celda de carga y dos placas para distribuir la carga en la parte inferior o extremo activo. En el extremo pasivo se ubican un captador de deformación, LVDT por sus siglas en inglés Linear Variable Differential Transformer, en español Transformador Diferencial de Variación Lineal. La Foto 3.25 indica el montaje del ensayo Pull Out.

De acuerdo a la norma, la velocidad teórica en el ensayo Pull Out, calculada a partir de la Ecuación 2.2 es: en la barra de diámetro 10 [mm] la velocidad es de 50 [N/s], mientras que en la barra de 12 [mm] de diámetro la velocidad es 72 [N/s].

FOTO 3.25 MONTAJE DEL ENSAYO PULL OUT TEST

En la Figura 3.24 se puede observar las medidas en centímetros de los equipos que se utilizan en el ensayo Pull Out. Durante el ensayo la celda de carga, que posee una capacidad de 10 toneladas, registra la carga aplicada, mientras que el captador, de precisión de 0,0001 [mm] registra el desplazamiento de la varilla respecto al hormigón en el extremo pasivo.

FIGURA 3.24 EQUIPOS PARA ENSAYO PULL OUT

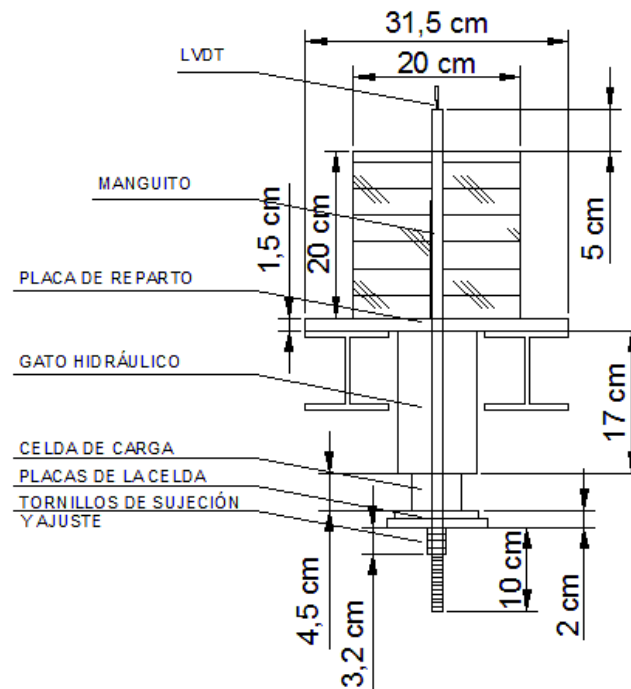


FOTO 3.26 CAPTADOR DE DEFORMACIÓN LVDT



El ensayo finaliza cuando el diagrama de tensión de adherencia – deslizamiento aparece el tercer tramo, es decir, el descenso de la tensión de adherencia, con la finalidad de evitar dañar el LVDT y que se rompa la rosca.

3.3.3. RESULTADOS

En este Capítulo los resultados de los ensayos en el acero y de tipo Pull Out se presentan procesados, para su posterior comparación y análisis. Los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio se encuentran en los Anexos.

3.3.3.1. TRACCIÓN EN EL ACERO

El ensayo a tracción tiene como finalidad determinar el límite de fluencia y límite de rotura del acero, como características de resistencia (esfuerzo) y visualizar si estos parámetros varían en función del estado superficial de oxidación. Los resultados de la Tabla 3.21 muestran la resistencia de tres probetas de 70 centímetros ensayadas para cada una de las opciones de oxidación escogidas.

FIGURA 3.25 DIAGRAMAS DE ENSAYO A TRACCIÓN

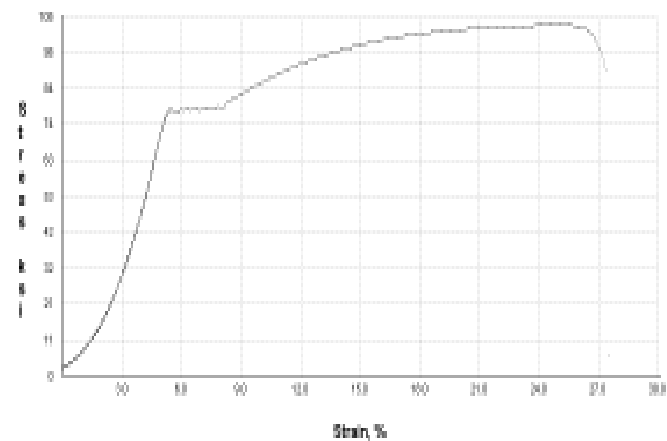
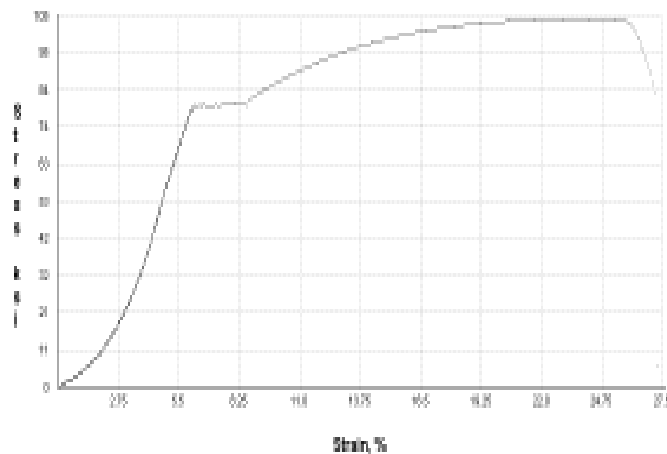


TABLA 3.21 ESFUERZOS DE FLUENCIA Y ROTURA EN LAS VARILLAS

OXIDACIÓN	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	ESFUERZOS		ESFUERZOS		PROMEDIO	
		FLUENCIA (MPa)	ROTURA (MPa)	FLUENCIA (Kg/cm ²)	ROTURA (Kg/cm ²)	FLUENCIA (Kg/cm ²)	ROTURA (Kg/cm ²)
0 HORAS	10	551,6	647,9	5624,75	6606,74	5613	6617
	10	552,3	649,6	5631,89	6624,08		
	10	547,4	649,1	5581,93	6618,98		
	12	444,7	642,7	4534,68	6553,72	4633	6539
	12	458,5	640,7	4675,40	6533,32		
	12	459,9	640,3	4689,67	6529,24		
50 HORAS	10	529,5	620,2	5399,40	6324,28	5385	6403
	10	527,4	627,5	5377,98	6398,72		
	10	527,4	636,0	5377,98	6485,40		
	12	465,4	637,6	4745,76	6501,71	4753	6495
	12	465,4	637,6	4745,76	6501,71		
	12	467,5	635,6	4767,17	6481,32		
100 HORAS	10	534,3	638,3	5448,34	6508,85	5475	6520
	10	533,0	637,2	5435,09	6497,63		
	10	543,3	642,8	5540,12	6554,74		
	12	458,5	632,0	4675,40	6444,61	4666	6466
	12	455,7	633,6	4646,85	6460,92		
	12	458,5	636,8	4675,40	6493,55		
200 HORAS	10	533,0	635,5	5435,09	6480,30	5425	6511
	10	527,4	639,4	5377,98	6520,07		
	10	535,7	640,6	5462,62	6532,30		
	12	444,7	621,8	4534,68	6340,60	4593	6369
	12	451,6	624,6	4605,04	6369,15		
	12	455,1	627,3	4640,73	6396,68		
300 HORAS	10	527,4	625,8	5377,98	6381,38	5366	6399
	10	534,3	638,9	5448,34	6514,97		
	10	517,1	617,9	5272,95	6300,83		
	12	444,7	626,5	4534,68	6388,52	4535	6389
	12	442,6	624,6	4513,26	6369,15		
	12	446,8	628,5	4556,09	6408,92		

Los resultados del ensayo muestran que el límite de fluencia sobrepasa los 4200 [Kg/cm²], pero de acuerdo al fabricante y sus especificaciones técnicas, el rango del esfuerzo de fluencia está entre 4200 [Kg/cm²] y 5400 [Kg/cm²]. La resistencia a la tracción, definida por el esfuerzo de fluencia, de acuerdo al fabricante tiene un valor mínimo de 5500 [Kg/cm²].

Con respecto a la variación que existe entre los valores de resistencia a la fluencia y la rotura de las varillas con distintos grados de oxidación, se tiene que el porcentaje de cambio en los esfuerzos es muy pequeño, menor al 5%, respecto

a las varillas sin oxidar, por ello se puede despreciar esta variable dentro de los factores que influyen en la adherencia. Los datos describen una función constante, prácticamente horizontal como se observa en las Figuras 3.26 y 3.27.

TABLA 3.22 PORCENTAJES DE VARIACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE FLUENCIA Y ROTURA PARA VARILLAS DE DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

HORAS DE OXIDACIÓN	ESFUERZO DE FLUENCIA (Kg/cm^2)	VARIACION DEL ESF. FLUENCIA (%)	ESFUERZO DE ROTURA (Kg/cm^2)	VARIACION DEL ESF. ROTURA (%)
0	5613	0	6616,60	0
50	5385	-4,06	6402,80	-3,23
100	5475	-2,46	6520,41	-1,45
200	5425	-3,34	6510,89	-1,60
300	5366	-4,39	6399,06	-3,29

FIGURA 3.26 DIAGRAMA ESFUERZO DE FLUENCIA – HORAS DE OXIDACIÓN, DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

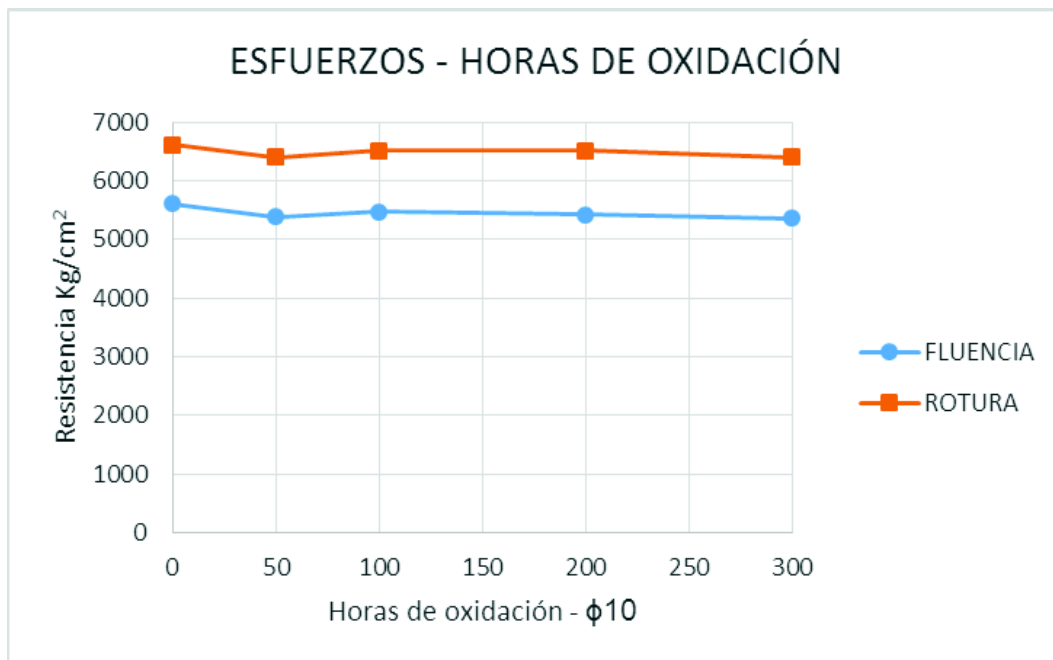
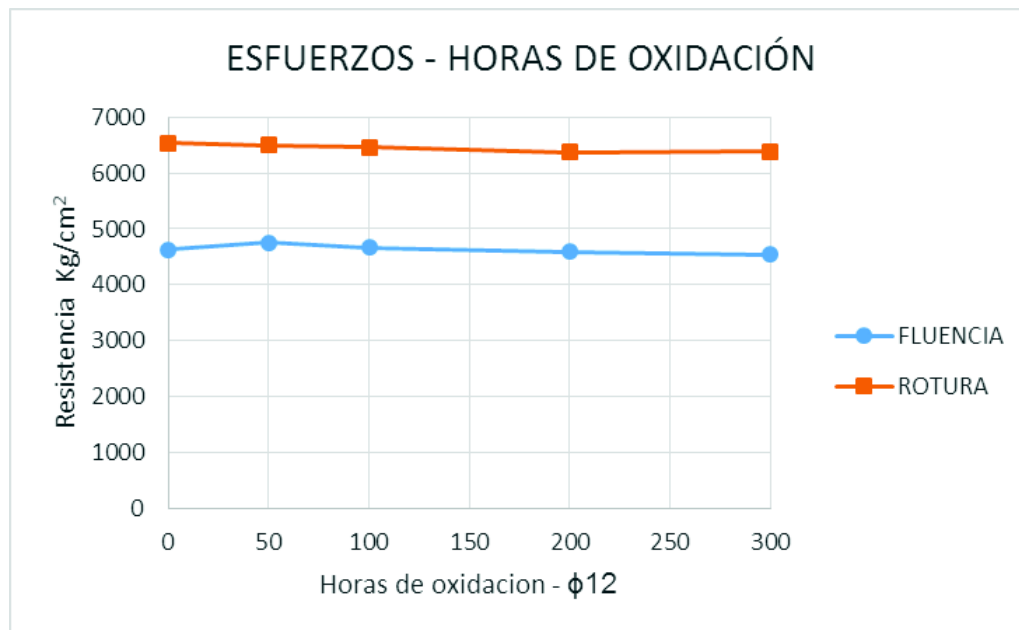


TABLA 3.23 PORCENTAJES DE VARIACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE FLUENCIA Y ROTURA PARA VARILLAS DE DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

HORAS DE OXIDACIÓN	ESFUERZO DE FLUENCIA (Kg/cm ²)	VARIACION DEL ESF. FLUENCIA (%)	ESFUERZO DE ROTURA (Kg/cm ²)	VARIACION DEL ESF. ROTURA (%)
0	4633	0	6539	0
50	4753	2,58	6495	-0,67
100	4666	0,70	6466	-1,11
200	4593	-0,86	6369	-2,60
300	4535	-2,13	6389	-2,29

FIGURA 3.27 DIAGRAMA ESFUERZO DE FLUENCIA – HORAS DE OXIDACIÓN, DIÁMETRO 12 MILÍMETROS



3.3.3.2. ROCKWELL B

La dureza en escala Rockwell B es un indicador de la capacidad de un material a ser rayado, y de acuerdo a la Tabla 3.2, el acero que se utiliza en el ensayo es del tipo 303, que posee como límite máximo de dureza HR el valor de 90 y el límite máximo de dureza HB es 180, cumpliendo con los requisitos de la norma.

En la ejecución del ensayo se toma una medida en cada probeta para poder realizar un promedio entre los valores obtenidos, los resultados se encuentran en la Tabla 3.24.

TABLA 3.24 DUREZA DEL ACERO SEGÚN LA ESCALA ROCKWELL B

HORAS DE OXIDACIÓN	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	MEDICIONES EN ESCALA ROCKWELL B					PROMEDIO
		1	2	3	4	5	
0	10	86.5	86.0	86.0	86.0	86.5	86.2
	12	89.5	91.0	90.5	90.0	90.0	90.2
50	10	78.5	83.5	84.5	83.0	83.0	82.5
	12	82.0	88.0	80.0	79.5	88.0	83.5
100	10	69.0	73.0	63.5	73.5	73.0	70.4
	12	73.0	76.5	79.5	72.0	74.0	75.0
200	10	63.0	59.0	72.0	74.0	67.5	67.1
	12	71.0	71.5	71.5	56.5	69.5	68.0
300	10	80.0	76.0	78.0	79.5	81.0	78.9
	12	74.0	83.0	81.0	78.5	87.5	80.8

3.3.3.3. OXIDACIÓN ACELERADA

La oxidación acelerada se realiza mediante la Cámara de Niebla Salina, bajo la norma ASTM B-117. Se escoge este método por la facilidad de ejecución y la normativa existente. Otra forma de oxidar el metal es mediante descargas eléctricas, pero la falta de recursos necesarios, no se permite aplicar el procedimiento.

Después de limpiar las probetas que se expusieron al proceso de oxidación, se mide el nuevo diámetro con un micrómetro, y se calcula el número de micras perdidas y el porcentaje que se pierde con respecto al diámetro inicial. Los valores se encuentran en la Tabla 3.25.

TABLA 3.25 PÉRDIDA DEL DIÁMETRO POR PROCESO DE OXIDACIÓN ACELERADA

OXIDACIÓN	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	DIÁMETRO INICIAL (mm)	DIÁMETRO FINAL (mm)	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (mm)	PROMEDIO (micras)	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (%)	PROMEDIO (%)
50 HORAS	10	9,512	9,504	0,008	6,333	0,0841043	0,067
	10	9,510	9,504	0,006		0,0630915	
	10	9,510	9,505	0,005		0,0525762	
	12	11,669	11,659	0,010	7,667	0,0856971	0,066
	12	11,660	11,653	0,007		0,0600343	
	12	11,666	11,660	0,006		0,0514315	
100 HORAS	10	9,510	9,499	0,011	10,333	0,1156677	0,109
	10	9,510	9,500	0,010		0,1051525	
	10	9,510	9,500	0,010		0,1051525	
	12	11,667	11,653	0,014	10,667	0,1199966	0,091
	12	11,662	11,652	0,010		0,0857486	
	12	11,661	11,653	0,008		0,0686048	
200 HORAS	10	9,510	9,485	0,025	28,000	0,2628812	0,294
	10	9,510	9,480	0,030		0,3154574	
	10	9,510	9,481	0,029		0,3049422	
	12	11,657	11,634	0,023	23,000	0,1973063	0,197
	12	11,659	11,638	0,021		0,1801184	
	12	11,664	11,639	0,025		0,2143347	
300 HORAS	10	9,510	9,459	0,051	50,333	0,5362776	0,529
	10	9,508	9,461	0,047		0,4943206	
	10	9,510	9,457	0,053		0,5573081	
	12	11,663	11,624	0,039	40,333	0,3343908	0,346
	12	11,661	11,621	0,040		0,3430238	
	12	11,661	11,619	0,042		0,3601749	

Para 50 horas y 100 horas de oxidación, la pérdida porcentual de micras es similar para los dos diámetros y el número de micras perdidas tienen un valor máximo de 10, que indica que las varilla están ligeramente oxidadas (Barbera, 1983).

En 200 horas de oxidación, los valores de micras perdidas son distintos, pero en los dos diámetros analizados, las varillas de 10 y 12 milímetros, se encuentran medianamente oxidadas, con una diferencia porcentual de 0,097% entre ellas (Barbera, 1983).

Para 300 horas de oxidación, las varillas se encuentran severamente oxidadas, y su diferencia en porcentaje entre $\phi 10$ y $\phi 12$ es de 0.183% (Barbera, 1983). La Figura 3.29 muestra el diagrama pérdida de diámetro – horas de oxidación.

FIGURA 3.28 DIAGRAMA DE PÉRDIDA PORCENTUAL DEL DIÁMETRO EN FUNCIÓN DE LAS HORAS DE EXPOSICIÓN AL PROCESO DE OXIDACIÓN ACELERADA

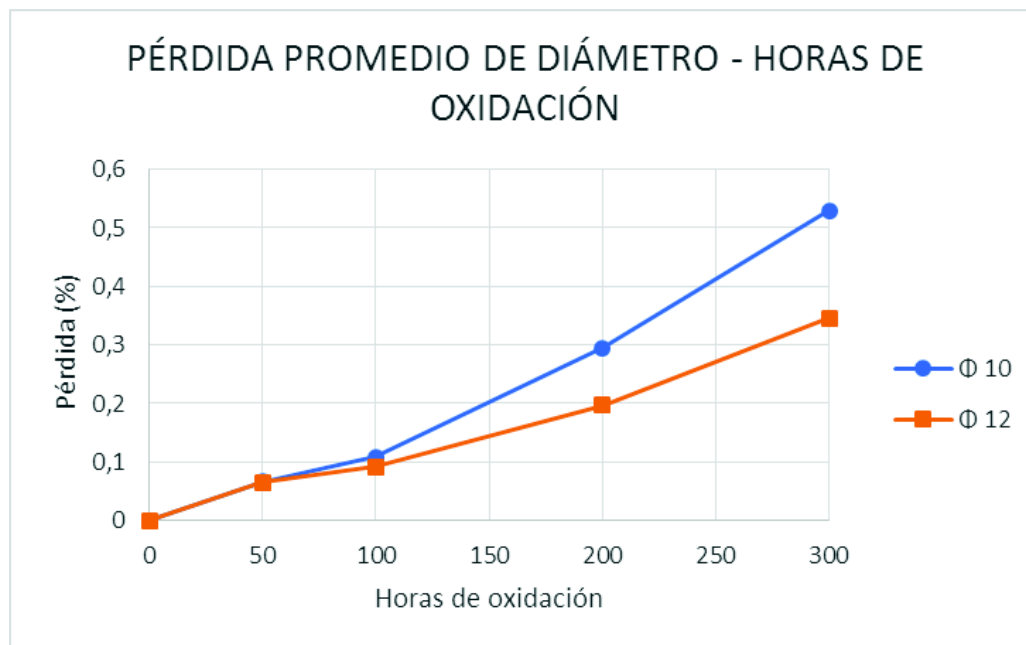
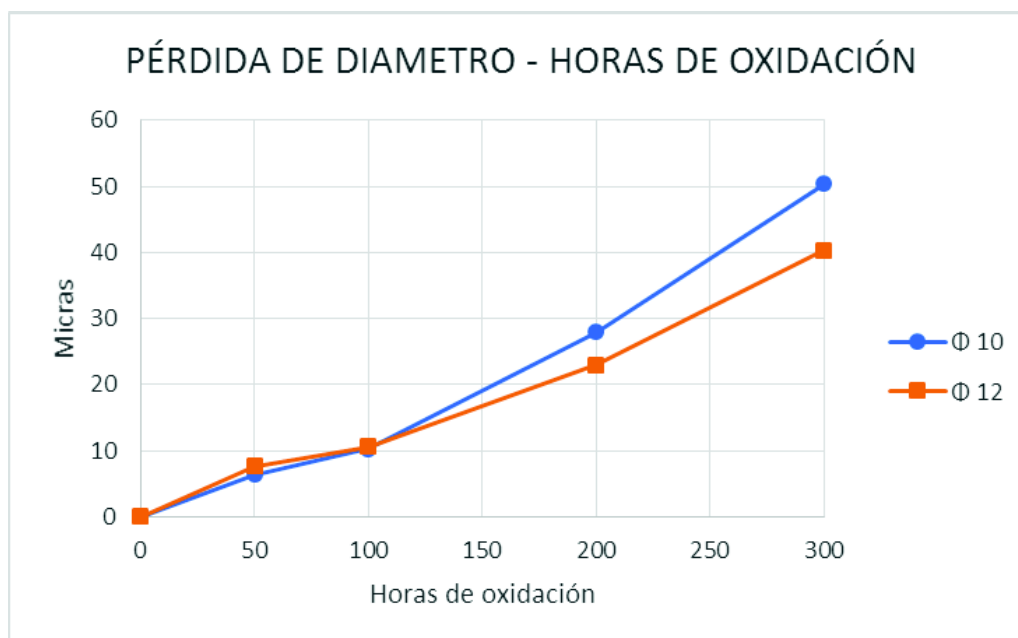


FIGURA 3.29 DIAGRAMA DE PÉRDIDA DE MICRAS EN FUNCIÓN DE LAS HORAS DE EXPOSICIÓN AL PROCESO DE OXIDACIÓN ACELERADA



3.3.3.4. PULL OUT

Los datos que se obtiene del Pull Out Test 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 mediante la Ecuación 3.9, cuya validez es únicamente con longitudes de adherencia pequeñas entre 3ϕ y 5ϕ .

$$\tau = \frac{Ce}{\pi * \phi * la} \quad (3.9)$$

Donde:

τ = Tensión de adherencia

Ce = Carga aplicada en el ensayo [Kg]

ϕ = Diámetro de la varilla en [cm]

la = Longitud de adherencia en [cm]

El parámetro $\pi * \phi * la$ se conoce como área de adherencia o área adherente, y es propia del tipo de barra.

La tensión de adherencia corresponde a un desplazamiento específico de la barra, por tal razón se consideran los valores de tensión para 0,01 [mm], 0,1 [mm], 0,4 [mm], 0,7 [mm] y 1,0 [mm] y poder evidenciar la variación de la tensión local de adherencia – desplazamiento para los distintos estados superficiales de oxidación. La tensión de adherencia media también es un factor de análisis.

$$\tau_m = \frac{\tau_{0,01} + \tau_{0,1} + \tau_1}{3} \quad (3.10)$$

A continuación, se detalla los resultados de cada serie y se especifica los valores de las probetas que se utilizan en el análisis debido a la dispersión de datos generada en la ejecución del ensayo. En los anexos se observan todos los diagramas de cada ensayo, y porque se escogen únicamente los diagramas que se encuentran a continuación. Se debe aclarar que no se calcularon los valores de tensión media en las probetas en las cuales no se pudieron obtener los datos necesarios para aplicar la Ecuación 3.10.

SERIE 1

FIGURA 3.30 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

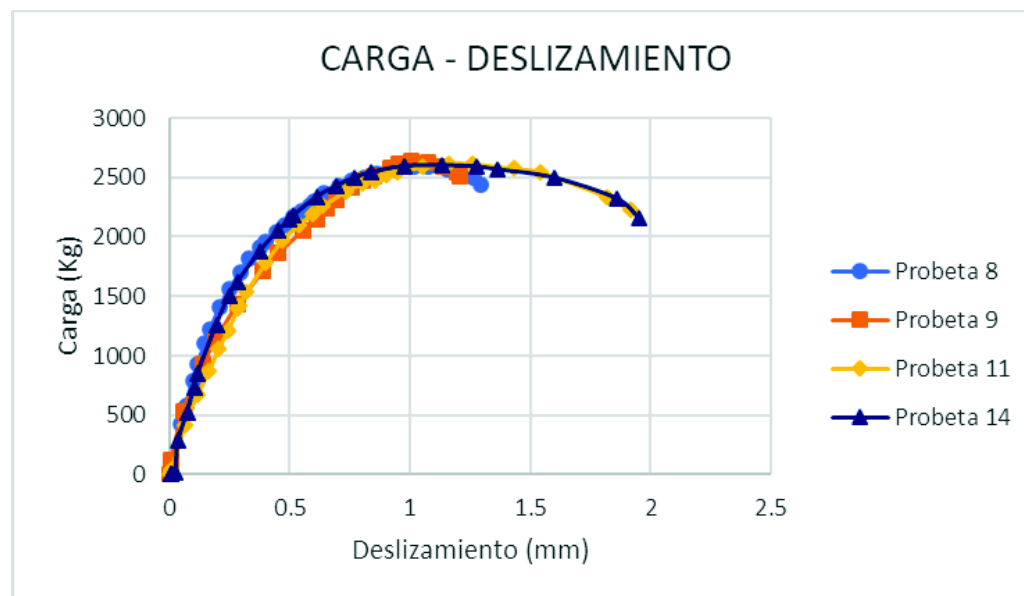


TABLA 3.26 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

PROBETA	HORAS DE OXIDACIÓN	DESPLAZAMIENTO (mm)	CARGA (Kg)	TENSIÓN DE ADHERENCIA (Kg/cm ²)	TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA (Kg/cm ²)
EPN - Φ 10 - 8	0 HORAS	0,01	127,73	8,13	74,94
		0,1	814,09	51,83	
		0,4	1966,54	125,19	
		0,7	2427,52	154,54	
		1	2589,79	164,87	
EPN - Φ 10 - 9	0 HORAS	0,01	127,89	8,14	74,24
		0,1	733,59	46,70	
		0,4	1736,74	110,56	
		0,7	2321,30	147,78	
		1	2636,93	167,87	
EPN - Φ 10 - 11	0 HORAS	0,01	58,39	3,72	68,37
		0,1	595,87	37,93	
		0,4	1783,25	113,53	
		0,7	2341,25	149,05	
		1	2567,48	163,45	
EPN - Φ 10 - 14	0 HORAS	0,01	206,61	13,15	74,60
		0,1	712,98	45,39	
		0,4	1933,76	123,11	
		0,7	2434,87	155,01	
		1	2595,91	165,26	

FIGURA 3.31 CARGA – DESPLAZAMIENTO PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

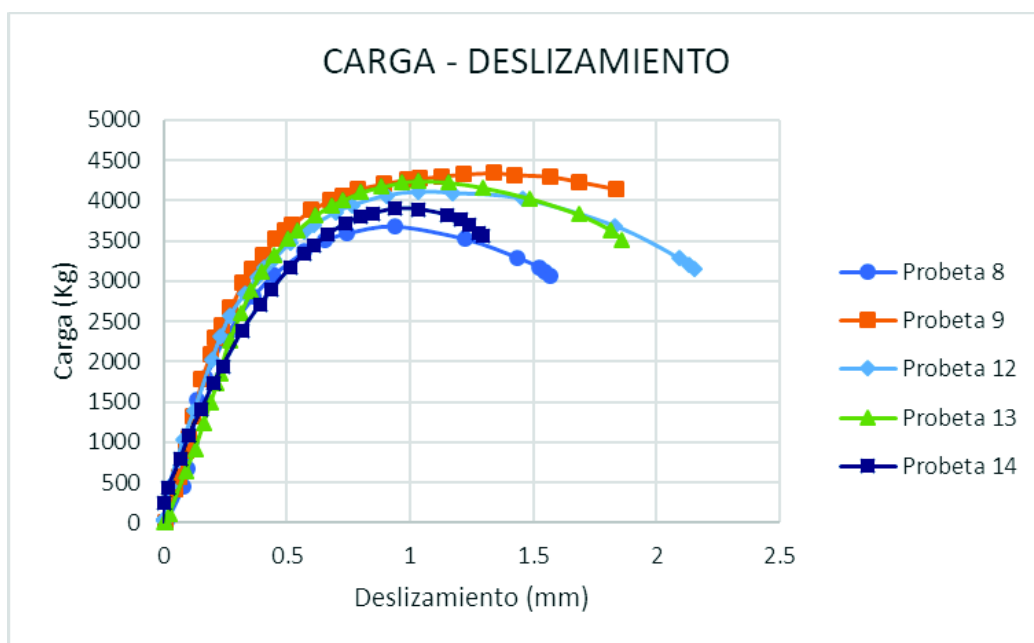


TABLA 3.27 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

PROBETA	HORAS DE OXIDACIÓN	DESPLAZAMIENTO	CARGA	TENSIÓN DE ADHERENCIA	TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA
		(mm)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
EPN - Φ12 - 8	0 HORAS	0,01	15,75	0,70	65,32
		0,1	774,49	34,24	
		0,4	2926,90	129,40	
		0,7	3547,02	156,81	
		1	3642,25	161,02	
EPN - Φ12 - 9	0 HORAS	0,01	39,99	1,77	78,14
		0,1	1003,15	44,35	
		0,4	3316,71	146,63	
		0,7	4024,46	177,92	
		1	4259,15	188,30	
EPN - Φ12 - 12	0 HORAS	0,01	132,74	5,87	79,90
		0,1	1193,04	52,74	
		0,4	3121,97	138,02	
		0,7	3853,39	170,36	
		1	4096,24	181,09	
EPN - Φ12 - 13	0 HORAS	0,01	35,20	1,56	73,36
		0,1	710,07	31,39	
		0,4	3115,10	137,72	
		0,7	3964,47	175,27	
		1	4233,10	187,14	
EPN - Φ12 - 14	0 HORAS	0,01	328,68	14,53	77,76
		0,1	1055,94	46,68	
		0,4	2737,65	121,03	
		0,7	3641,89	161,01	
		1	3892,06	172,07	

SERIE 2

FIGURA 3.32 CARGA – DESPLAZAMIENTO PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

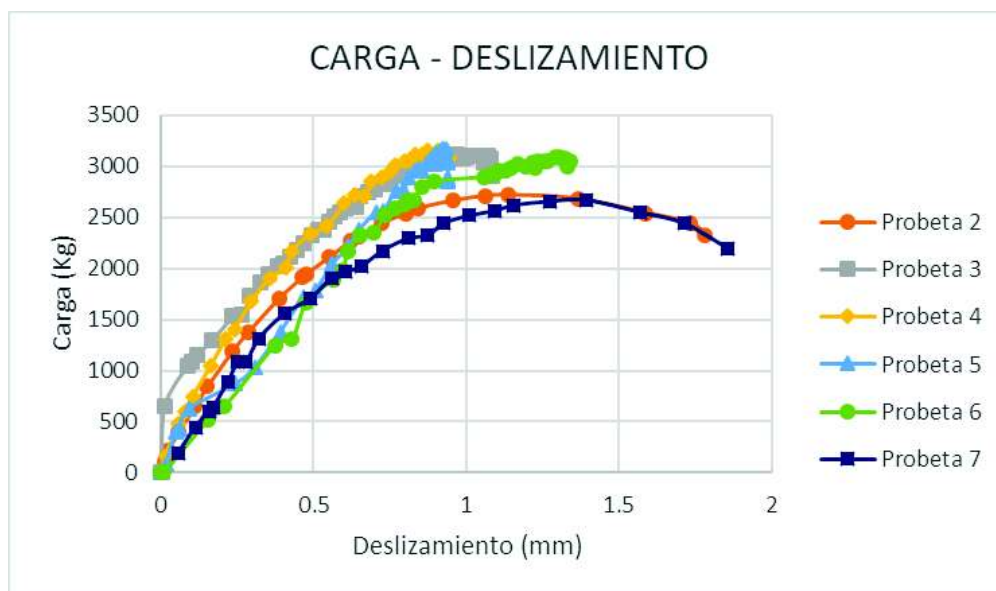


TABLA 3.28 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

PROBETA	HORAS DE OXIDACION	DESPLAZAMIENTO	CARGA	TENSIÓN DE ADHERENCIA	TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA
		(mm)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
EPN - Φ10 - 2	50 HORAS	0,01	77,20	4,91	71,19
		0,1	597,00	38,01	
		0,4	1740,93	110,83	
		0,7	2398,94	152,72	
		1	2680,46	170,64	
EPN - Φ10 - 3	50 HORAS	0,01	536,68	34,17	89,14
		0,1	574,42	36,57	
		0,4	2047,87	130,37	
		0,7	2772,90	176,53	
		1	3089,43	196,68	
EPN - Φ10 - 4	50 HORAS	0,01	93,92	5,98	----
		0,1	719,75	45,82	
		0,4	1985,12	126,38	
		0,7	2866,31	182,48	
		1			
EPN - Φ10 - 5	50 HORAS	0,01	50,20	3,20	----
		0,1	641,71	40,85	
		0,4	1418,07	90,28	
		0,7	2541,40	161,79	
		1			
EPN - Φ10 - 6	50 HORAS	0,01	35,38	2,25	68,83
		0,1	325,99	20,75	
		0,4	1279,98	81,49	
		0,7	2358,56	150,15	
		1	2882,17	183,48	
EPN - Φ10 - 7	50 HORAS	0,01	33,84	2,15	62,02
		0,1	380,82	24,24	
		0,4	1540,11	98,05	
		0,7	2115,36	134,67	
		1	2507,98	159,66	

FIGURA 3.33 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

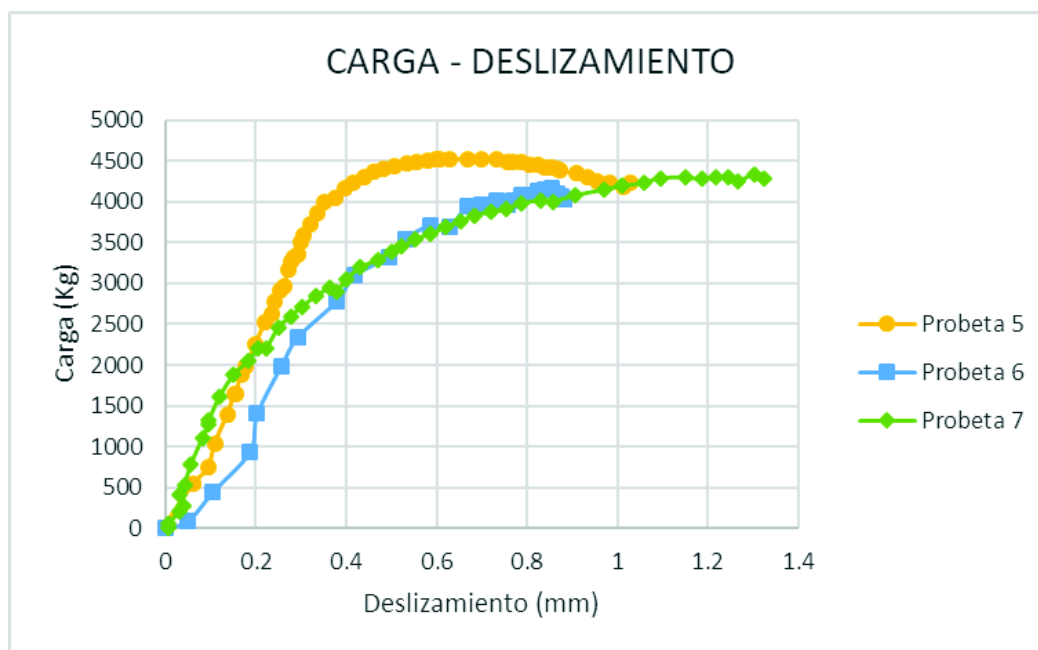


TABLA 3.29 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

PROBETA	HORAS DE OXIDACION	DESLIZAMIENTO	CARGA	TENSIÓN DE ADHERENCIA	TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA
		(mm)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
EPN - Φ12 - 5	50 HORAS	0,01	56,19	2,48	74,22
		0,1	856,10	37,85	
		0,4	4172,09	184,45	
		0,7	4524,43	200,02	
		1	4124,29	182,33	
EPN - Φ12 - 6	50 HORAS	0,01	22,43	0,99	70,32
		0,1	421,41	18,63	
		0,4	2947,32	130,30	
		0,7	3966,37	175,35	
		1	4327,83	191,33	
EPN - Φ12 - 7	50 HORAS	0,01	72,89	3,22	82,89
		0,1	1373,25	60,71	
		0,4	3049,12	134,80	
		0,7	3850,62	170,23	
		1	4178,40	184,73	

SERIE 3

FIGURA 3.34 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

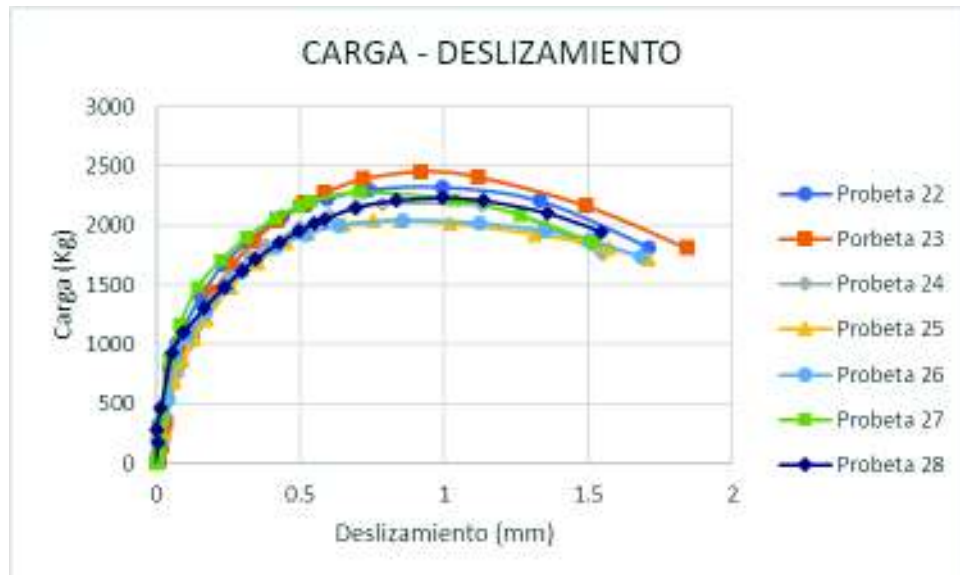


TABLA 3.30 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

PROBETA	HORAS DE OXIDACIÓN	DES LIZAMIENTO	CARGA	TENSIÓN DE ADHERENCIA	TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA
		(mm)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
EPN - Φ10 - 22	100 HORAS	0,01	326,09	20,76	72,76
		0,1	778,50	49,56	
		0,4	2008,72	127,88	
		0,7	2282,71	145,32	
		1	2324,01	147,95	
EPN - Φ10 - 23	100 HORAS	0,01	49,22	3,13	67,43
		0,1	690,86	43,98	
		0,4	1997,21	127,15	
		0,7	2377,99	151,39	
		1	2437,66	155,19	
EPN - Φ10 - 24	100 HORAS	0,01	92,70	5,90	62,94
		0,1	683,90	43,54	
		0,4	1857,34	118,24	
		0,7	2152,05	137,00	
		1	2189,56	139,39	
EPN - Φ10 - 25	100 HORAS	0,01	131,97	8,40	58,24
		0,1	594,45	37,84	
		0,4	1766,10	112,43	
		0,7	2021,89	128,72	
		1	2017,94	128,47	
EPN - Φ10 - 26	100 HORAS	0,01	230,63	14,68	63,61
		0,1	736,29	46,87	
		0,4	1790,14	113,96	
		0,7	2009,91	127,95	
		1	2030,74	129,28	
EPN - Φ10 - 27	100 HORAS	0,01	148,32	9,44	67,88
		0,1	825,26	52,54	
		0,4	2041,61	129,97	
		0,7	2279,45	145,11	
		1	2225,03	141,65	
EPN - Φ10 - 28	100 HORAS	0,01	378,36	24,09	72,52
		0,1	808,64	51,48	
		0,4	1809,83	115,22	
		0,7	2156,54	137,29	
		1	2230,38	141,99	

FIGURA 3.35 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

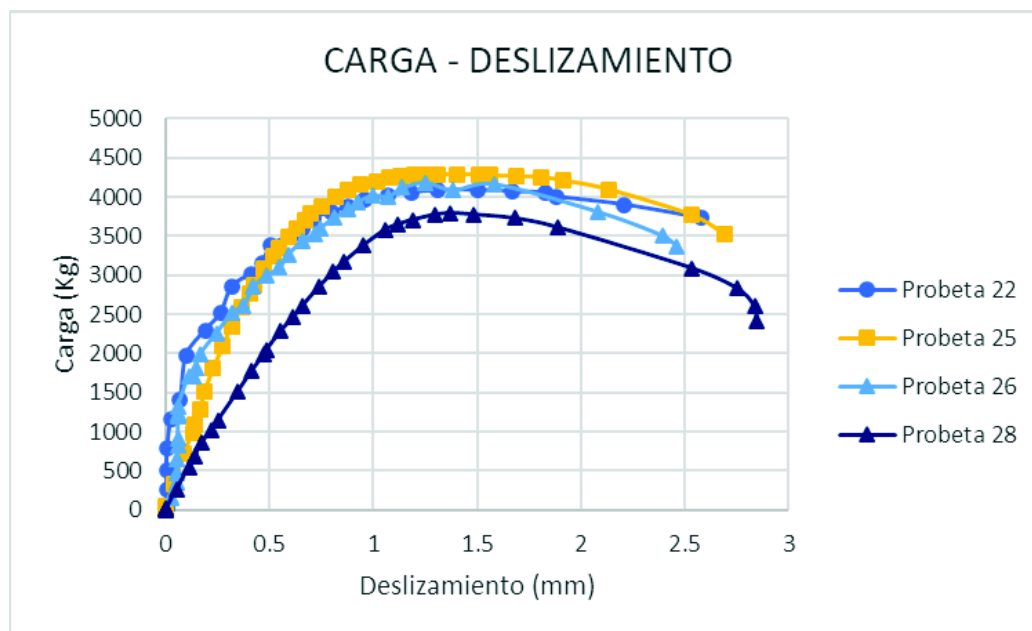


TABLA 3.31 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

PROBETA	HORAS DE OXIDACIÓN	DESLIZAMIENTO (mm)	CARGA (Kg)	TENSIÓN DE ADHERENCIA (Kg/cm ²)	TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA (Kg/cm ²)
EPN - Φ12 - 22	100 HORAS	0,01	770,50	34,06	98,86
		0,1	1957,47	86,54	
		0,4	2994,66	132,39	
		0,7	3693,11	163,27	
		1	3980,76	175,99	
EPN - Φ12 - 25	100 HORAS	0,01	71,23	3,15	74,48
		0,1	791,82	35,01	
		0,4	2749,12	121,54	
		0,7	3786,89	167,42	
		1	4191,15	185,29	
EPN - Φ12 - 26	100 HORAS	0,01	56,93	2,52	83,96
		0,1	1620,74	71,65	
		0,4	2729,04	120,65	
		0,7	3495,29	154,53	
		1	4019,54	177,70	
EPN - Φ12 - 28	100 HORAS	0,01	48,89	2,16	59,06
		0,1	486,35	21,50	
		0,4	1714,76	75,81	
		0,7	2732,61	120,81	
		1	3472,40	153,51	

SERIE 4

FIGURA 3.36 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

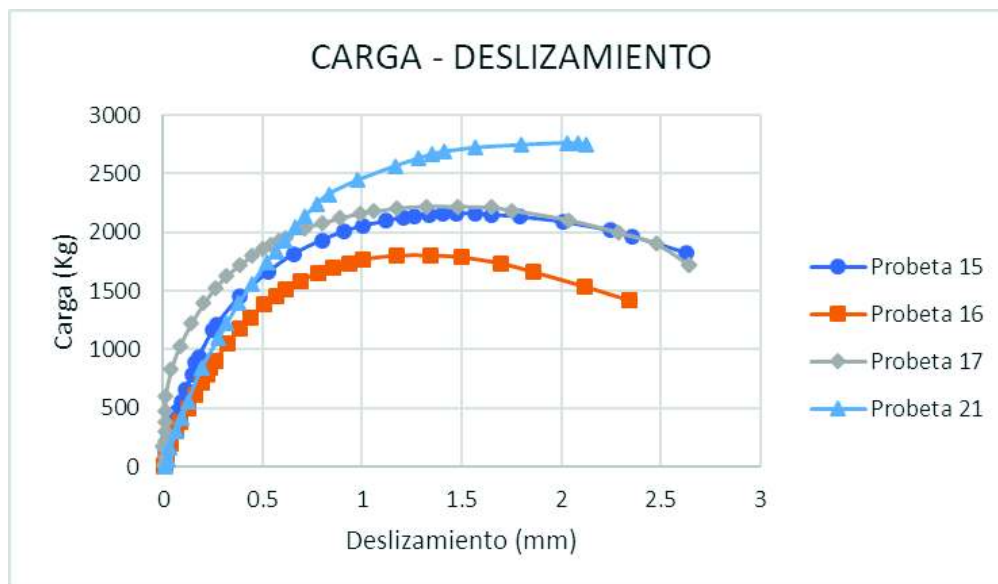


TABLA 3.32 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

PROBETA	HORAS DE OXIDACIÓN	DESLIZAMIENTO (mm)	CARGA (Kg)	TENSIÓN DE ADHERENCIA (Kg/cm ²)	TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA (Kg/cm ²)
EPN - Φ10 - 15	200 HORAS	0,01	132,34	8,42	58,85
		0,1	588,55	37,47	
		0,4	1470,46	93,61	
		0,7	1849,53	117,74	
		1	2052,17	130,65	
EPN - Φ10 - 16	200 HORAS	0,01	28,78	1,83	63,53
		0,1	1200,94	76,45	
		0,4	1736,74	110,56	
		0,7	1590,40	101,25	
		1	1764,05	112,30	
EPN - Φ10 - 17	200 HORAS	0,01	242,04	15,41	73,89
		0,1	1077,54	68,60	
		0,4	1736,75	110,56	
		0,7	2024,34	128,87	
		1	2162,44	137,67	
EPN - Φ10 - 21	200 HORAS	0,01			----
		0,1	428,11	27,25	
		0,4	1441,83	91,79	
		0,7	2110,04	134,33	
		1	2457,68	156,46	

FIGURA 3.37 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

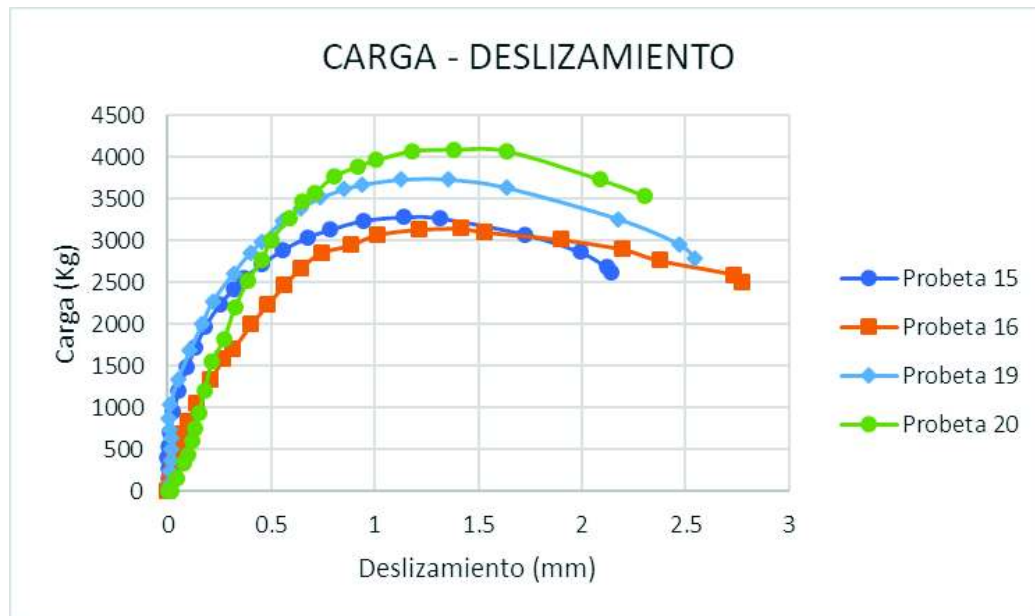


TABLA 3.33 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

PROBETA	HORAS DE OXIDACIÓN	DESLIZAMIENTO	CARGA	TENSIÓN DE ADHERENCIA	TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA
		(mm)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
EPN - Φ12 - 15	200 HORAS	0,01	717,43	31,72	81,11
		0,1	1531,02	67,69	
		0,4	2616,50	115,67	
		0,7	3062,98	135,41	
		1	3255,25	143,91	
EPN - Φ12 - 16	200 HORAS	0,01	92,35	4,08	59,08
		0,1	856,42	37,86	
		0,4	1988,79	87,92	
		0,7	2779,17	122,87	
		1	3060,30	135,29	
EPN - Φ12 - 19	200 HORAS	0,01	69,14	3,06	79,51
		0,1	1633,79	72,23	
		0,4	2857,69	126,34	
		0,7	3465,75	153,22	
		1	3692,77	163,26	
EPN - Φ12 - 20	200 HORAS	0,01	31,78	1,41	65,87
		0,1	476,21	21,05	
		0,4	2572,04	113,71	
		0,7	3555,31	157,18	
		1	3961,96	175,16	

SERIE 5

FIGURA 3.38 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

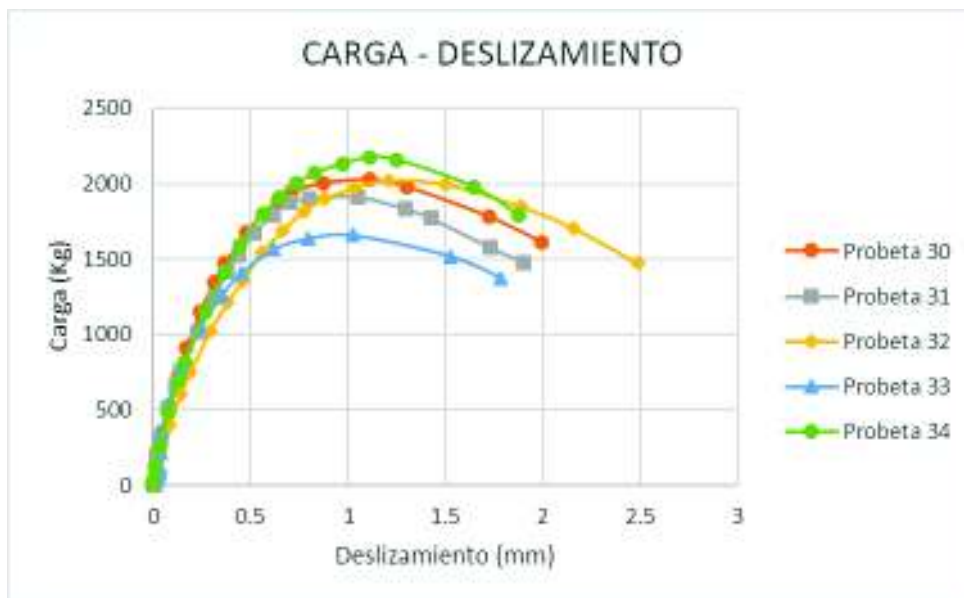


TABLA 3.34 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

PROBETA	HORAS DE OXIDACIÓN	DESPLAZAMIENTO	CARGA	TENSIÓN DE ADHERENCIA	TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA
		(mm)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
EPN - Φ10 - 30	300 HORAS	0,01	141,11	8,98	58,49
		0,1	595,32	37,90	
		0,4	1534,37	97,68	
		0,7	1939,02	123,44	
		1	2019,91	128,59	
EPN - Φ10 - 31	300 HORAS	0,01	9,16	0,58	53,63
		0,1	606,18	38,59	
		0,4	1450,51	92,34	
		0,7	1873,62	119,28	
		1	1912,15	121,73	
EPN - Φ10 - 32	300 HORAS	0,01	95,70	6,09	53,31
		0,1	459,34	29,24	
		0,4	1249,54	79,55	
		0,7	1732,99	110,33	
		1	1957,26	124,60	
EPN - Φ10 - 33	300 HORAS	0,01	26,26	1,67	48,97
		0,1	622,82	39,65	
		0,4	1334,24	84,94	
		0,7	1601,44	101,95	
		1	1658,58	105,59	
EPN - Φ10 - 34	300 HORAS	0,01	133,69	8,51	60,73
		0,1	585,69	37,29	
		0,4	1490,86	94,91	
		0,7	1963,82	125,02	
		1	2142,48	136,39	

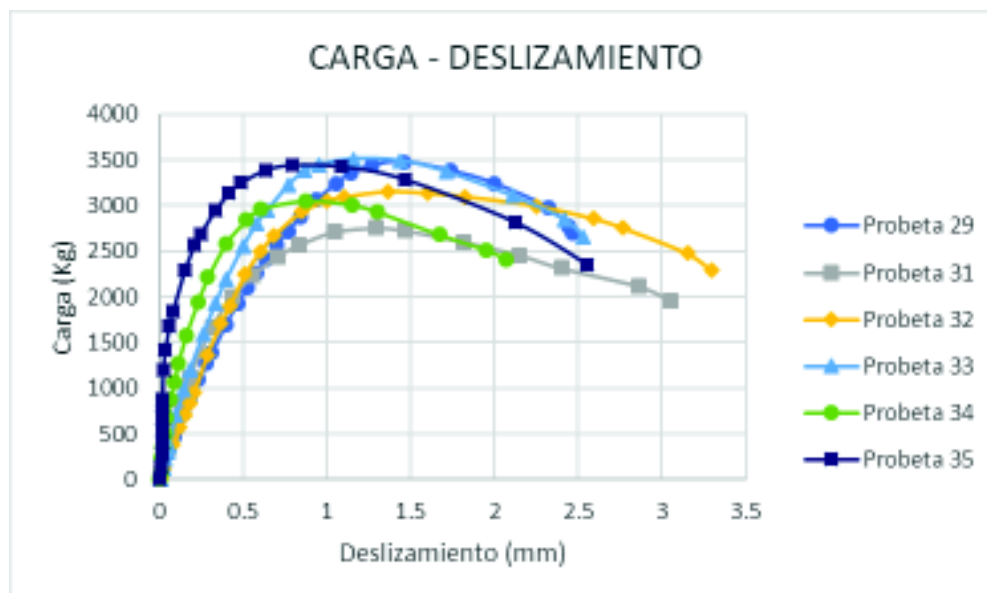
FIGURA 3.39 CARGA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

TABLA 3.35 ENSAYO PULL OUT – TENSIÓN DE ADHERENCIA Y TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA – DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

PROBETA	HORAS DE OXIDACIÓN	DES LIZAMIENTO	CARGA	TENSIÓN DE ADHERENCIA	TENSIÓN DE ADHERENCIA MEDIA
		(mm)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
EPN - Φ10 - 29	300 HORAS	0,01	63,16	2,79	55,19
		0,1	528,65	23,37	
		0,4	1716,47	75,88	
		0,7	2567,66	113,52	
		1	3153,25	139,40	
EPN - Φ10 - 31	300 HORAS	0,01	99,36	4,39	49,82
		0,1	600,88	26,56	
		0,4	1905,27	84,23	
		0,7	2436,40	107,71	
		1	2680,48	118,50	
EPN - Φ10 - 32	300 HORAS	0,01	44,70	1,98	52,62
		0,1	473,46	20,93	
		0,4	1837,46	81,23	
		0,7	2695,52	119,17	
		1	3052,83	134,96	
EPN - Φ10 - 33	300 HORAS	0,01	14,77	0,65	61,92
		0,1	730,08	32,28	
		0,4	2210,74	97,74	
		0,7	3075,67	135,97	
		1	3456,69	152,82	
EPN - Φ10 - 34	300 HORAS	0,01	289,02	12,78	66,49
		0,1	1191,93	52,69	
		0,4	2596,35	114,78	
		0,7	2993,87	132,36	
		1	3030,65	133,98	
EPN - Φ10 - 35	300 HORAS	0,01	160,41	7,09	82,01
		0,1	1977,80	87,44	
		0,4	3102,50	137,16	
		0,7	3408,84	150,70	
		1	3426,97	151,51	

3.3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los ensayos Pull Out y oxidación acelerada, que es el factor de estudio, son analizados en este Capítulo para determinar el porcentaje de influencia de la oxidación en la tensión de adherencia.

El proceso de oxidación acelerada genera en las varillas la pérdida de diámetro efectivo, que se mide inicialmente en micras. De acuerdo a la Tabla 3.25 los valores de micras perdidas entre los dos distintos diámetros 10 [mm] y 12 [mm] en el último estado superficial de oxidación tienen una diferencia de 15,666 micras, que tal motivo, se realiza un análisis separado de cada barra.

Para el análisis se elabora un diagrama Pérdida de diámetro en porcentaje vs Horas de oxidación acelerada, en el cual posteriormente se genera una regresión lineal para establecer una tendencia y una ecuación para $\phi 10$ y $\phi 12$ (Figura 3.40 y Figura 3.41), y con base a esto se propone una ecuación válida para cada barra. Se aclara que el porcentaje se calcula con respecto al diámetro real de las varillas (Tabla 3.3).

FIGURA 3.40 DIAGRAMA DE PÉRDIDA DE DIAMETRO PORCENTUAL VS HORAS DE OXIDACIÓN PARA DIAMETRO 10 MILÍMETROS



FIGURA 3.41 DIAGRAMA DE PÉRDIDA DE DIÁMETRO PORCENTUAL VS HORAS DE OXIDACIÓN PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS



Se aprecia que cada diagrama tiene su propia ecuación y que no se pueden relacionar entre sí, pero las dos graficas presentan una tendencia lineal. De los resultados se pueden establecer dos ecuaciones que permiten calcular la pérdida en porcentaje del diámetro respecto a su diámetro nominal inicial para un determinado número de horas de exposición en la Cámara de Niebla Salina, con una concentración del 5%, para cada varilla.

$$\text{Per}_{10} = 0,0016 * \text{Ho} \quad (3.11)$$

$$\text{Per}_{12} = 0,0011 * \text{Ho} \quad (3.12)$$

Donde:

Per_{10} = Pérdida de diámetro en varillas de 10 [mm] en %

Per_{12} = Pérdida de diámetro en varillas de 12 [mm] en %

Ho = Horas de exposición en Cámara de Niebla Salina

TABLA 3.36 PORCENTAJE TEÓRICO DE PÉRDIDA DE DIÁMETRO Y MICRAS PERDIDAS TEÓRICAS PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

HORAS DE OXIDACIÓN	DIÁMETRO INICIAL PROMEDIO (mm)	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE DIÁMETRO EFECTIVO		MICRAS PERDIDAS TEÓRICAS
		EXPERIMEN.	TEÓRICO	
50	9,511	0,067	0,080	7,609
100	9,510	0,109	0,160	15,216
200	9,510	0,295	0,320	30,432
300	9,509	0,575	0,480	45,645

TABLA 3.37 PORCENTAJE TEÓRICO DE PÉRDIDA DE DIÁMETRO Y MICRAS PERDIDAS TEÓRICAS PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

HORAS DE OXIDACIÓN	DIÁMETRO INICIAL PROMEDIO (mm)	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE DIÁMETRO EFECTIVO		MICRAS PERDIDAS TEÓRICAS
		EXPERIMEN.	TEÓRICO	
50	11,665	0,066	0,055	6,416
100	11,663	0,091	0,110	12,830
200	11,660	0,197	0,220	25,652
300	11,662	0,346	0,330	38,484

Basándose en los datos de las Tablas 3.36 y 3.37, se puede volver a clasificar los estados de oxidación superficial, por lo cual se tiene que: en 50 horas de oxidación las varillas se encuentran ligeramente oxidadas; 100 y 200 horas de oxidación las barras presentan un estado medianamente oxidadas; 300 horas de oxidación severamente oxidadas, todo lo anterior respecto al número de micras que teóricamente pierden las varillas.

En el apartado anterior se presentan los resultados de los ensayos Pull Out para los diámetros 10 [mm] y 12 [mm] en sus diferentes estados superficiales de oxidación. A continuación se realiza un promedio de los valores de la tensión de adherencia de las probetas utilizadas para poder observar si los valores aumentan o disminuyen en función de las horas de oxidación.

Los valores para calcular el promedio de tensión de adherencia son escogidos a partir del análisis estadístico, media (X) y desviación estándar (σ), con un nivel de confianza del 95,5%, es decir el rango se encuentra entre $X \pm 2\sigma$ (Walpole, Myers, Myers, Ye, 2007). La desviación estándar se calcula mediante la fórmula 3.13, correspondiente al análisis poblacional.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - X)^2}{n}} \quad (3.13)$$

Donde,

σ = Desviación estándar

X_i = Valores escogidos del ensayo

X = Media de los valores

n = Número total de valores escogidos

El cálculo de la media y la desviación estándar se realiza tomando los valores de las Tablas 3.26 a la 3.35, como se explica a continuación. El procedimiento es igual en todas las tablas, para el ejemplo se escogen los valores de la Tabla 3.33 para un deslizamiento de 0,7 [mm].

$$X = \frac{135,41 + 122,87 + 153,22 + 157,18}{4}$$

$$X = 142,170 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(135,41-142,17)^2+(122,87-142,17)^2+(153,18-142,17)^2+(157,18-142,17)^2}{4}}$$

$$\sigma = 13,84 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

En las Tablas 3.38 y 3.40 se encuentran los valores promedio (media) de la tensión de adherencia para cada deslizamiento escogido: 0,01 [mm], 0,1 [mm], 0,4 [mm], 0,7 [mm] y 1,0 [mm], mientras que la desviación estándar se observa en las Tablas 3.39 y 3.41. En las Figuras 3.42 y 3.43 se observan los diagramas de Tensión de adherencia promedio vs Deslizamiento.

TABLA 3.38 TENSIONES DE ADHERENCIA PROMEDIO PARA CADA ESTADO DE OXIDACIÓN

DIÁMETRO (mm)	DESLIZAMIENTO (mm)	TENSIÓN DE ADHERENCIA (Kg/cm ²)				
		0 HORAS	50 HORAS	100 HORAS	200 HORAS	300 HORAS
10	0,01	10,531	3,699	6,720	8,555	5,168
10	0,1	45,463	34,374	46,545	44,440	36,534
10	0,4	118,097	116,406	112,508	104,306	89,885
10	0,7	151,594	164,733	144,778	126,983	116,004
10	1	165,364	177,617	148,376	141,590	123,382

FIGURA 3.42 TENSIÓN DE ADHERENCIA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 10 MILÍMETROS

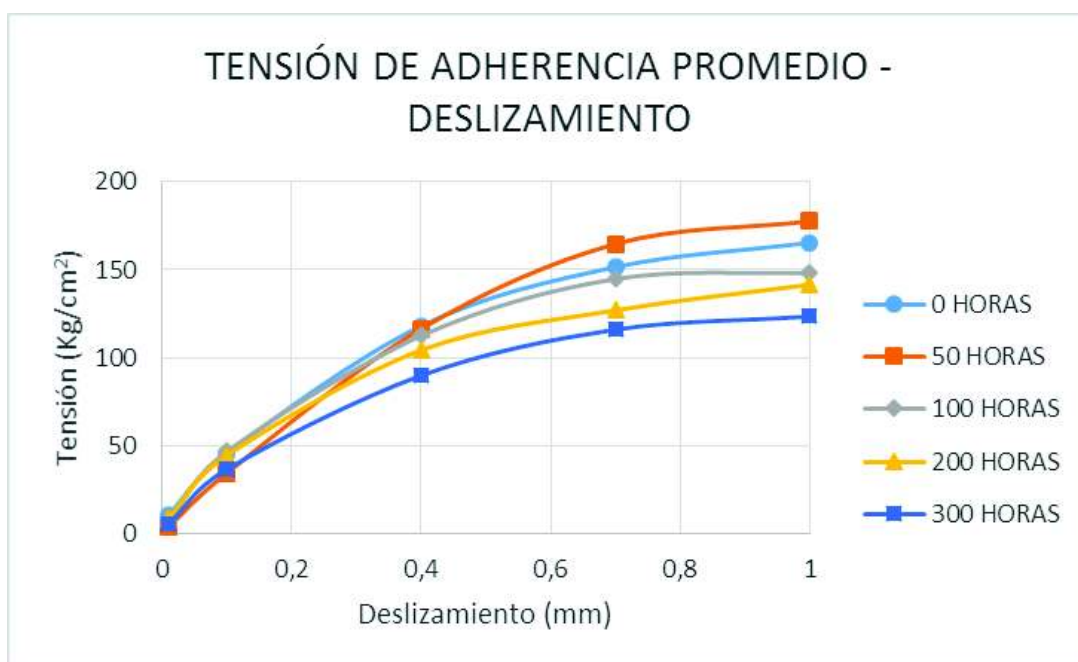


TABLA 3.39 DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA CADA ESTADO DE OXIDACIÓN

DIÁMETRO (mm)	DESLIZAMIENTO (mm)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)				
		0 HORAS	50 HORAS	100 HORAS	200 HORAS	300 HORAS
10	0,01	3,469	11,438	7,216	5,543	3,459
10	0,1	4,968	8,937	4,793	20,593	3,729
10	0,4	6,187	17,998	11,882	8,955	6,684
10	0,7	3,216	16,190	14,562	12,645	8,684
10	1	1,597	13,863	16,651	15,809	10,172

TABLA 3.40 TENSIONES DE ADHERENCIA PROMEDIO PARA CADA ESTADO DE OXIDACIÓN

DIÁMETRO (mm)	DESLIZAMIENTO (mm)	TENSIÓN DE ADHERENCIA (Kg/cm ²)				
		0 HORAS	50 HORAS	100 HORAS	200 HORAS	300 HORAS
12	0,01	4,884	2,233	2,609	2,848	4,063
12	0,1	41,882	39,063	42,720	43,715	38,960
12	0,4	134,560	149,849	124,860	110,911	80,450
12	0,7	168,273	181,870	161,738	142,170	113,465
12	1	177,925	186,131	169,068	154,405	129,151

FIGURA 3.43 TENSIÓN DE ADHERENCIA – DESLIZAMIENTO PARA DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

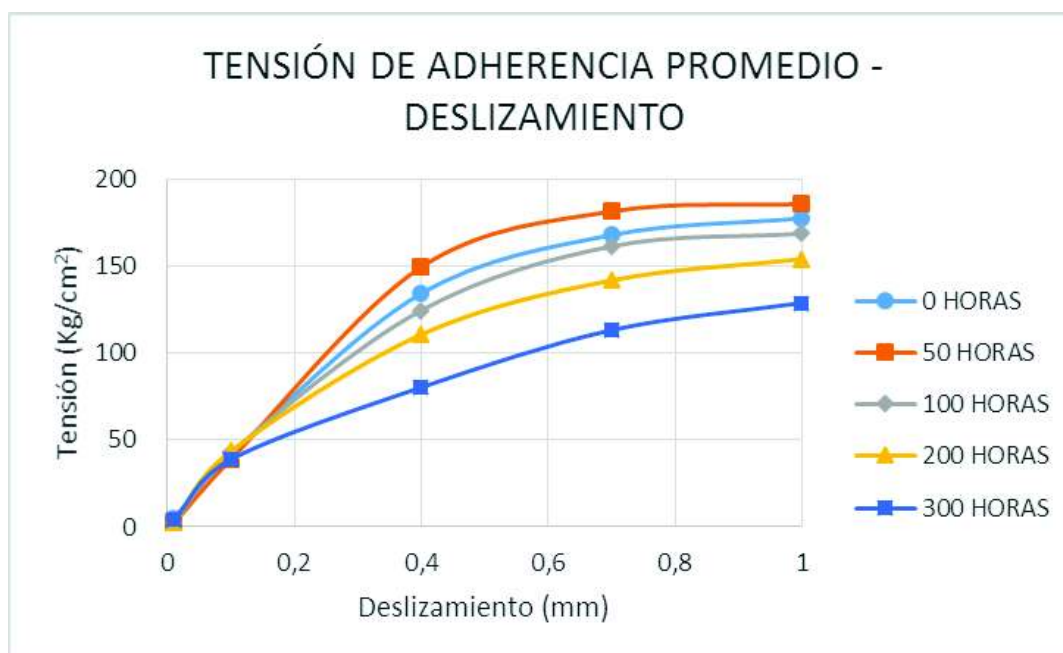


TABLA 3.41 DESVIACIÓN ESTÁNDAR PARA CADA ESTADO DE OXIDACIÓN

DIÁMETRO (mm)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (σ)				
		0 HORAS	50 HORAS	100 HORAS	200 HORAS	300 HORAS
12	0,01	5,145	0,765	13,625	12,537	4,044
12	0,1	7,944	16,208	26,396	21,165	23,417
12	0,4	8,687	43,304	21,737	14,115	21,500
12	0,7	8,130	30,772	18,324	13,835	14,636
12	1	10,223	9,660	11,850	15,686	11,603

Se observa, tanto en las figuras como en las tablas anteriores, que los valores correspondientes a los deslizamientos de 0,01 [mm] y 0,1 [mm] no se pueden utilizar para definir si la tensión aumenta o disminuye en función del estado superficial de oxidación de cada barra, porque la curva se estabiliza a partir de 0,3 [mm] de deslizamiento. Los valores de $\tau_{0,01}$ y $\tau_{0,1}$ se utilizan únicamente para calcular la τ_m , de acuerdo a la Ecuación 3.10.

A continuación se observan los valores de tensión de adherencia correspondiente a cada deslizamiento, dependiendo de las horas de exposición al proceso de oxidación acelerada y su pérdida de diámetro en porcentaje.

TABLA 3.42 TENSIONES DE ADHERENCIA EN FUNCIÓN DE LA PÉRDIDA EN PORCENTAJE DE DIÁMETRO

DIÁMETRO	HORAS DE OXIDACIÓN	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (%)	TENSIÓN DE ADHERENCIA (Kg/cm ²)				
			$\tau_{0,01}$	$\tau_{0,1}$	$\tau_{0,4}$	$\tau_{0,7}$	$\tau_{1,0}$
10	0	0,000	10,53	45,46	118,10	151,59	165,36
10	50	0,067	3,70	34,37	116,41	164,73	177,62
10	100	0,109	6,72	46,55	112,51	144,78	148,38
10	200	0,294	8,56	44,44	104,31	126,98	141,59
10	300	0,529	5,17	36,53	89,88	116,00	123,38

FIGURA 3.44 DIAGRAMA TENSIÓN DE ADHERENCIA – PÉRDIDA EN PORCENTAJE DE DIMETRO PARA 10 MILÍMETROS

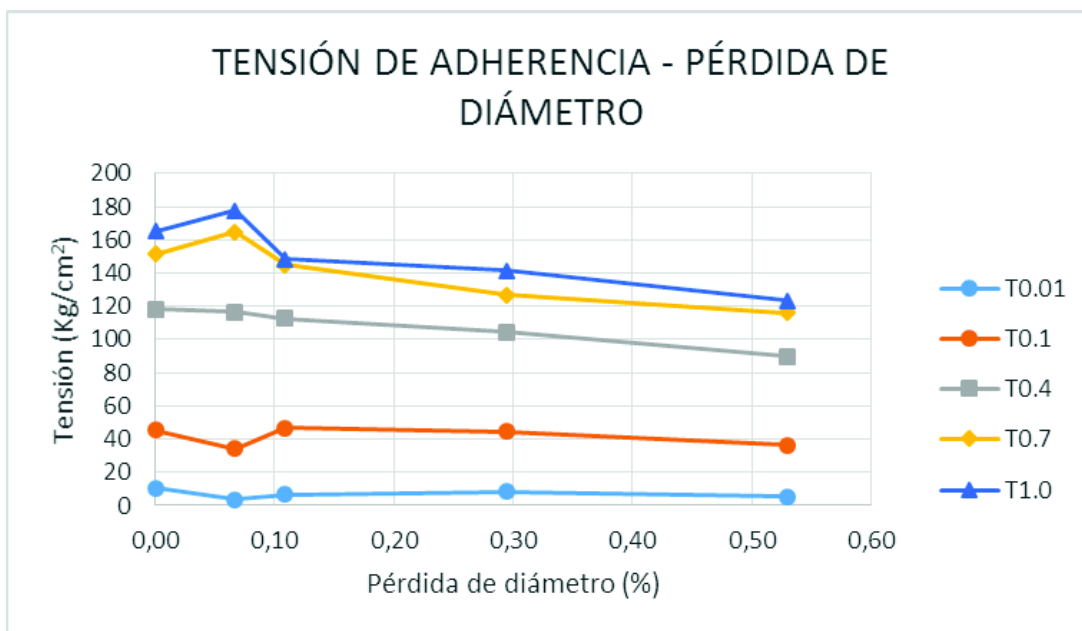
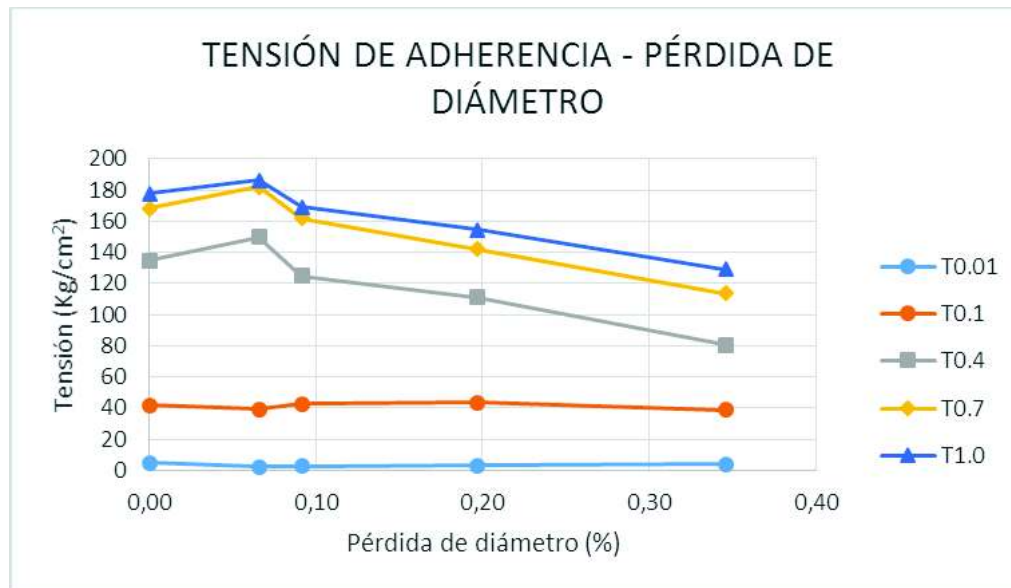


TABLA 3.43 TENSIONES DE ADHERENCIA EN FUNCIÓN DE LA PÉRDIDA EN PORCENTAJE DE DIÁMETRO

DIÁMETRO	HORAS DE OXIDACIÓN	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (%)	TENSIÓN DE ADHERENCIA (Kg/cm^2)				
			$\tau_{0,01}$	$\tau_{0,1}$	$\tau_{0,4}$	$\tau_{0,7}$	$\tau_{1,0}$
12	0	0,000	4,88	41,88	134,56	168,27	177,92
12	50	0,066	2,23	39,06	149,85	181,87	186,13
12	100	0,091	2,61	42,72	124,86	161,74	169,07
12	200	0,197	2,85	43,71	110,91	142,17	154,41
12	300	0,346	4,06	38,96	80,45	113,47	129,15

FIGURA 3.45 DIAGRAMA TENSIÓN DE ADHERENCIA – PÉRDIDA EN PORCENTAJE DE DIÁMETRO PARA 12 MILÍMETROS



En la Figura 3.44 y la Figura 3.45, se puede ver que los diagramas equivalentes a $\tau_{0,01}$ y $\tau_{0,1}$ tienen una tendencia constante, y como se explica anteriormente, no son datos útiles para los objetivos del trabajo de investigación, por tal razón son despreciados. La Tabla 3.44 muestra la variación del porcentaje de adherencia de los distintos estados superficiales de oxidación respecto a una varilla no oxidada.

TABLA 3.44 VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE ADHERENCIA EN PORCENTAJE PARA DESLIZAMIENTOS DE 0,01 [MM] Y 0,1 [MM]

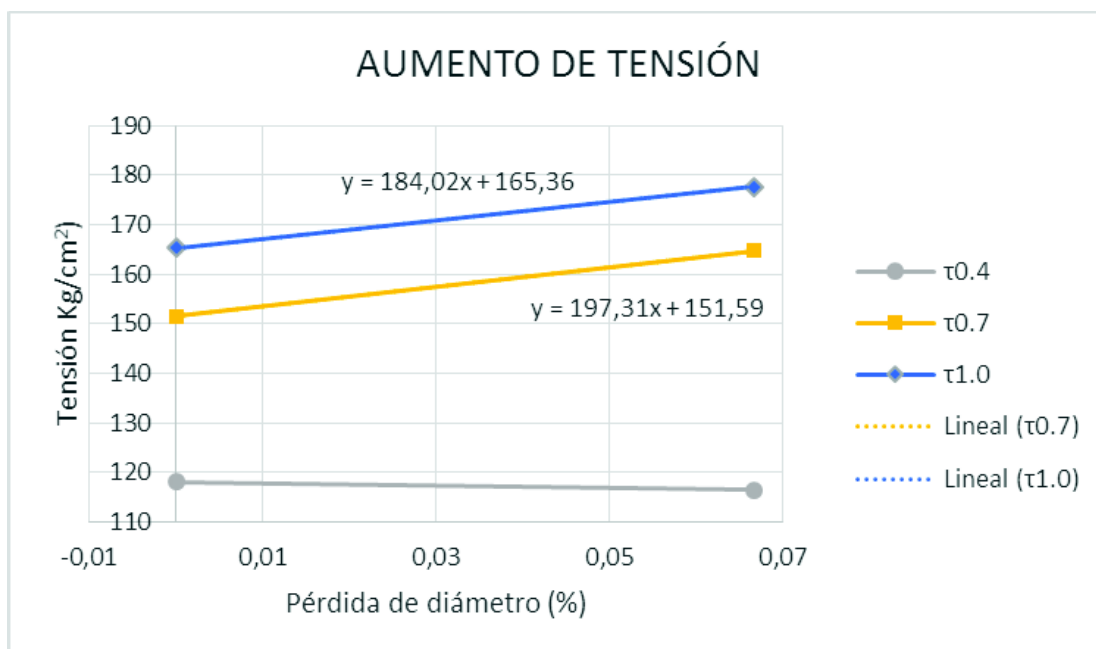
HORAS DE OXIDACIÓN	DIÁMETRO (mm)	$\tau_{0,01}$ (Kg/cm ²)	VARIACIÓN T. ADHERENCIA (%)	$\tau_{0,1}$ (Kg/cm ²)	VARIACIÓN T. ADHERENCIA (%)
0	10	10,53	0	45,46	0
50	10	3,70	-64,87	34,37	-24,39
100	10	6,72	-36,19	46,55	2,38
200	10	8,56	-18,76	44,44	-2,25
300	10	5,17	-50,92	36,53	-19,64
0	12	4,88	0	41,88	0
50	12	2,23	-54,28	39,06	-6,73
100	12	2,61	-46,58	42,72	2,00
200	12	2,85	-41,68	43,71	4,38
300	12	4,06	-16,80	38,96	-6,98

Al contrario, los valores de tensión de adherencia para los deslizamientos 0,4 [mm], 0,7 [mm] y 1,0 [mm] describen una tendencia. En los tres diagramas, tanto en 10 [mm] y 12 [mm], se aprecia que existen dos tramos en la curva Tensión de Adherencia vs Pérdida de diámetro (depende las horas de exposición al proceso de oxidación acelerada): el primer tramo, que corresponde a 50 horas de oxidación, respectivamente, la tensión de adherencia aumenta, mientras que, en el segundo tramo, que equivale a 100 horas, 200 horas y 300 horas, la tensión de adherencia disminuye.

A continuación se hace un análisis para cada diámetro, 10 [mm] y 12 [mm], separando cada tramo, con la finalidad de encontrar en que porcentaje aumenta la tensión de adherencia.

El primer tramo para varillas de 10 [mm] de diámetro, está comprendido entre 0% y 0.067% de pérdida de diámetro. En este rango la tensión de adherencia aumenta para $\tau_{0,7}$ y $\tau_{1,0}$, mientras que para $\tau_{0,4}$ la tensión no varía significativamente, ver Figura 3.46, por tal motivo no se toman en cuenta esos datos.

FIGURA 3.46 PRIMER TRAMO – AUMENTO DE TENSIÓN PARA 10 [MM]



De las tendencias se observa que los valores correspondientes a las pendientes son similares, y podemos realizar un promedio de los valores para encontrar una pendiente única y determinar el valor máximo que aumenta la tensión de adherencia y cuál es el rango en porcentaje que varía. La Ecuación 3.14, determinada a partir de los valores, permite calcular la tensión de adherencia a 50 horas de oxidación o una pérdida de diámetro de 0,067%.

$$\tau = 190,66 * \%PD + \tau_0 \quad (3.14)$$

Donde,

τ = Tensión de adherencia [Kg/cm²]

%PD = Pérdida de diámetro en porcentaje

τ_0 = Tensión de adherencia a 0 horas de oxidación [Kg/cm²]

En el segundo tramo la tensión disminuye, por ello se van analizar tres diagramas para determinar en qué caso el factor R es más cercano a uno y establecer una tendencia lineal para ajustar los datos y encontrar los valores de la tensión de adherencia. En la Figuras 3.47, 3.48, 3.49 se muestran las tendencias individuales del segundo tramo para $\tau_{0,4}$, $\tau_{0,7}$ y $\tau_{1,0}$.

En el primer caso están los cinco estados superficiales de oxidación, representados por la pérdida del diámetro en porcentaje.

En el segundo caso no considera el segundo punto, correspondiente a 50 horas de oxidación, es decir se utilizan los cuatro puntos restantes.

El tercer caso solo usa los tres puntos finales, que corresponden a 100, 200 y 300 horas, despreciando en su totalidad los puntos del primer tramo.

FIGURA 3.47 SEGUNDO TRAMO – DISMINUCIÓN DE TENSIÓN PARA 10 [MM] – PRIMER CASO

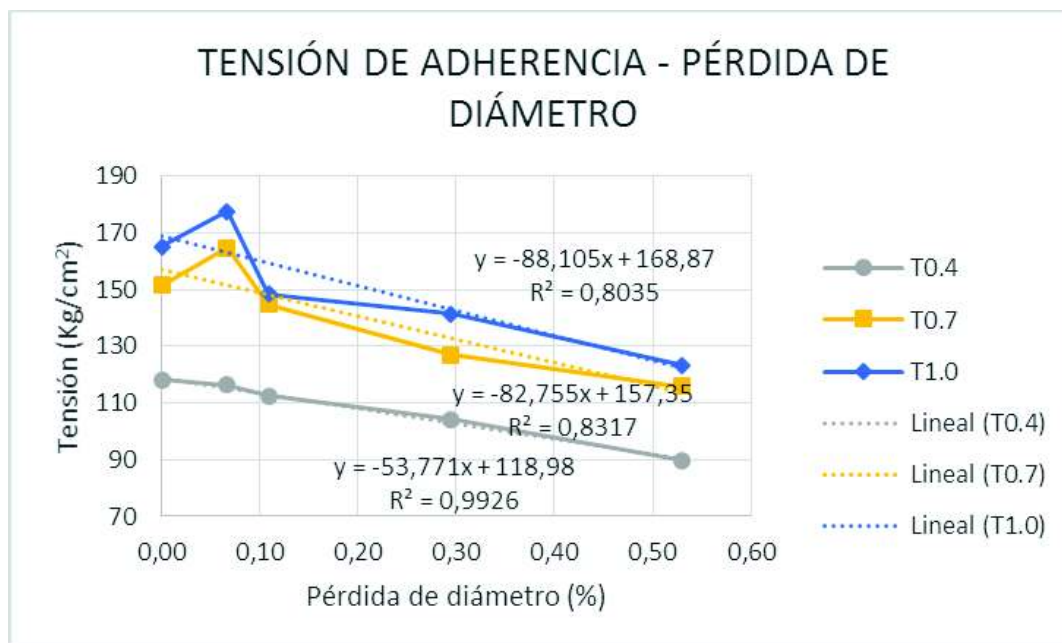


FIGURA 3.48 SEGUNDO TRAMO – DISMINUCIÓN DE TENSIÓN PARA 10 [MM] – SEGUNDO CASO

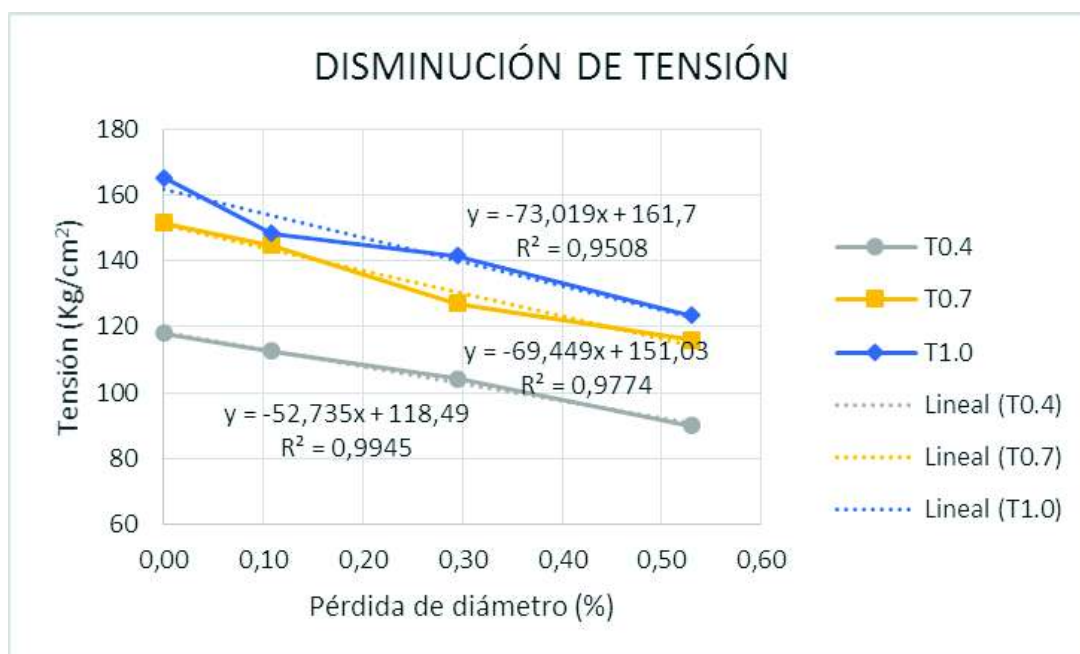
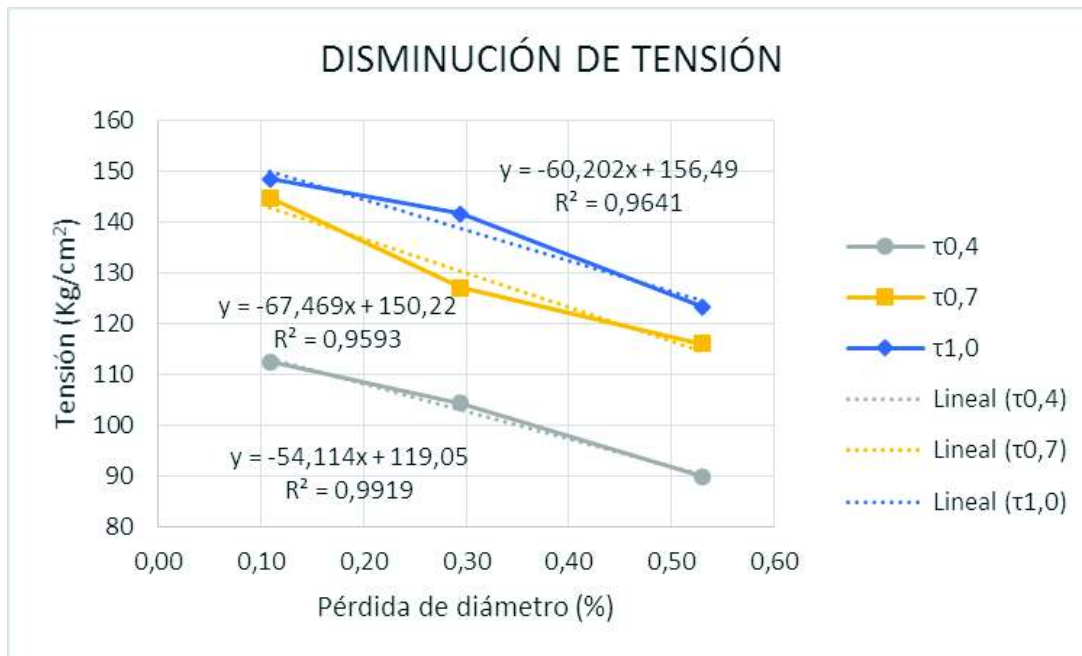


FIGURA 3.49 SEGUNDO TRAMO – DISMINUCIÓN DE TENSIÓN PARA 10 [MM] – TERCER CASO



En el segundo tramo, el segundo caso tiene el coeficiente R más cercano a uno en dos de los tres diagramas de tensión de adherencia vs pérdida de diámetro en porcentaje. Por ese motivo se escogen las tendencias lineales del caso mencionado, para corregir y determinar los valores en los cuales disminuye la tensión, así como también el descenso en porcentaje. La Ecuación 3.15 propuesta tiene como pendiente el valor promedio de los datos de la Figura 3.48 y su validez inicialmente es para 100 horas, 200 horas y 300 horas de oxidación, pero es aplicable a más horas de oxidación.

$$\tau = -65,067 * \%PD + \tau_0 \quad (3.15)$$

Donde,

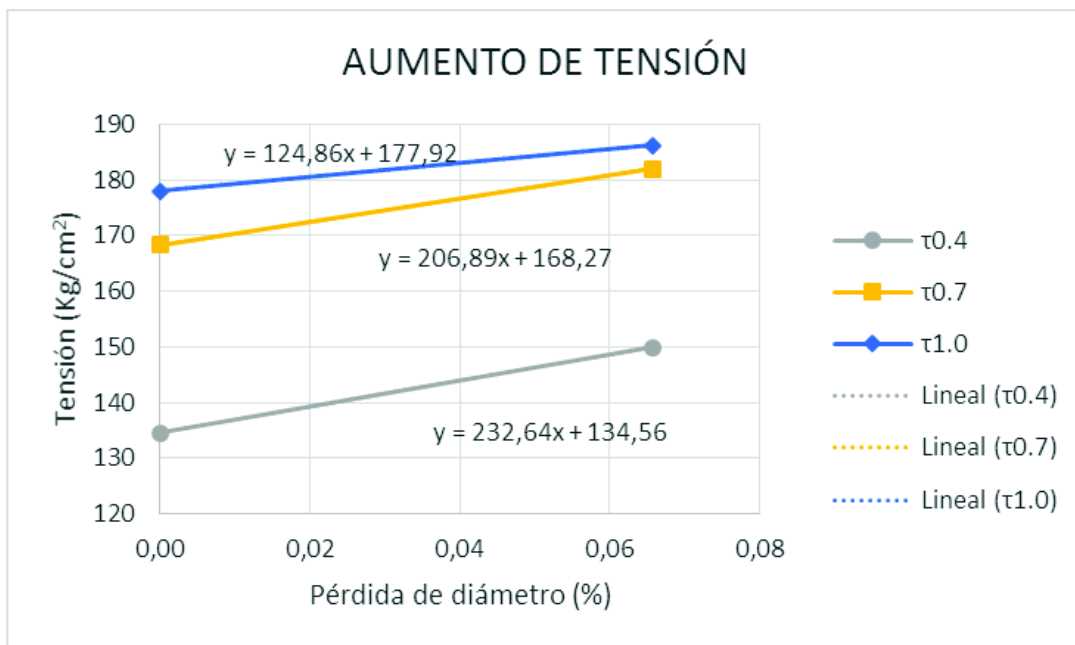
τ = Tensión de adherencia [Kg/cm²]

%PD = Pérdida de diámetro en porcentaje

τ_0 = Tensión de adherencia a 0 horas de oxidación [Kg/cm²]

En las varillas de 12 [mm] de diámetro, ocurre un efecto similar que en las varillas de 10 [mm] de diámetro, la tensión de adherencia aumenta en el rango de 0% y 0,066% de pérdida de diámetro, que se denomina primer tramo. En la Figura 3.50 se observa tres tendencias lineales que pertenecen a $\tau_{0,4}$, $\tau_{0,7}$ y $\tau_{1,0}$.

FIGURA 3.50 PRIMER TRAMO – AUMENTO DE TENSIÓN PARA 12 [MM]



Del diagrama de tendencia del aumento de tensión, se tienen tres valores distintos de las pendientes, que tienen mucha dispersión, por eso motivo se realiza el cálculo de la desviación estándar y se determina que valores incluir en el análisis y cuales excluir.

TABLA 3.45 PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LAS PENDIENTES EN EL PRIMER TRAMO – DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

	TENSIÓN DE ADHERENCIA (Kg/cm ²)			PROMEDIO (Kg/cm ²)	DESVIACIÓN ESTANDAR
	$\tau_{0,4}$	$\tau_{0,7}$	$\tau_{1,0}$		
PENDIENTE	232,64	206,89	124,86	188,13	56,29

En base a la Tabla 3.45, los valores válidos son los correspondientes a $\tau_{0,4}$, $\tau_{0,7}$, que son promediados y a partir de ese valor se propone la Ecuación 3.16, que ayuda a determinar el dato de la tensión de adherencia que aumenta en el primer tramo, con una oxidación de 50 horas equivalentes a una pérdida de 0,066% de diámetro.

$$\tau = 219,76 * \%PD + \tau_0 \quad (3.16)$$

Donde,

τ = Tensión de adherencia [Kg/cm²]

%PD = Pérdida de diámetro en porcentaje

τ_0 = Tensión de adherencia a 0 horas de oxidación [Kg/cm²]

Para el segundo tramo se realiza un análisis igual al de las varillas de 10 de diámetro, se tienen tres casos, con la finalidad de encontrar el diagrama con el factor R más cercano a uno.

FIGURA 3.51 SEGUNDO TRAMO – DISMINUCIÓN DE TENSIÓN PARA 12 [MM] – PRIMER CASO

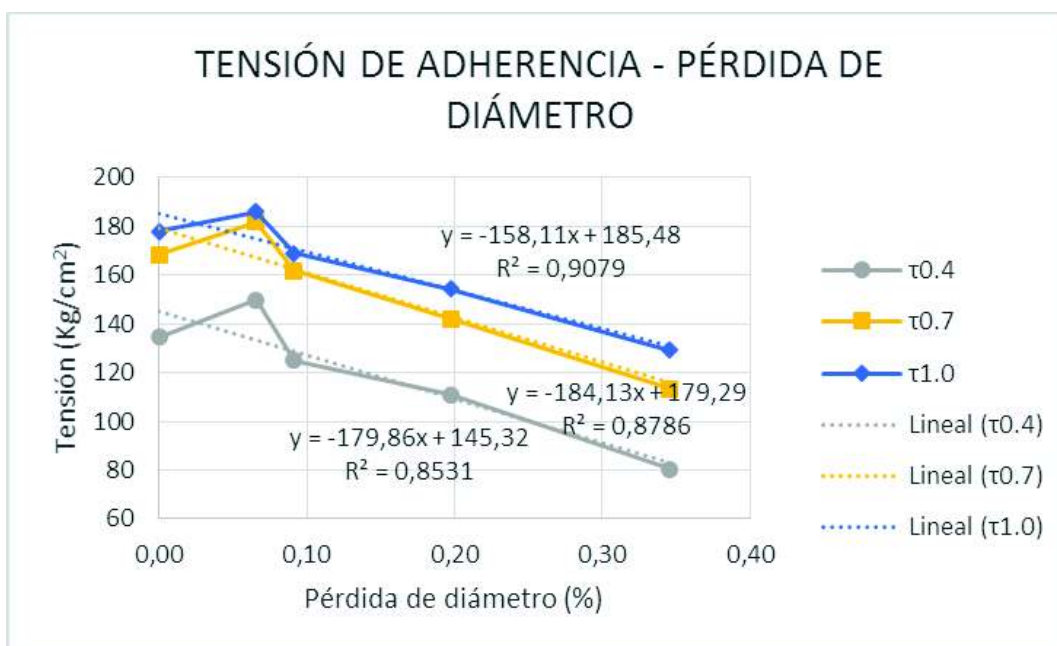


FIGURA 3.52 SEGUNDO TRAMO – DISMINUCIÓN DE TENSIÓN PARA 12 [MM] – SEGUNDO CASO

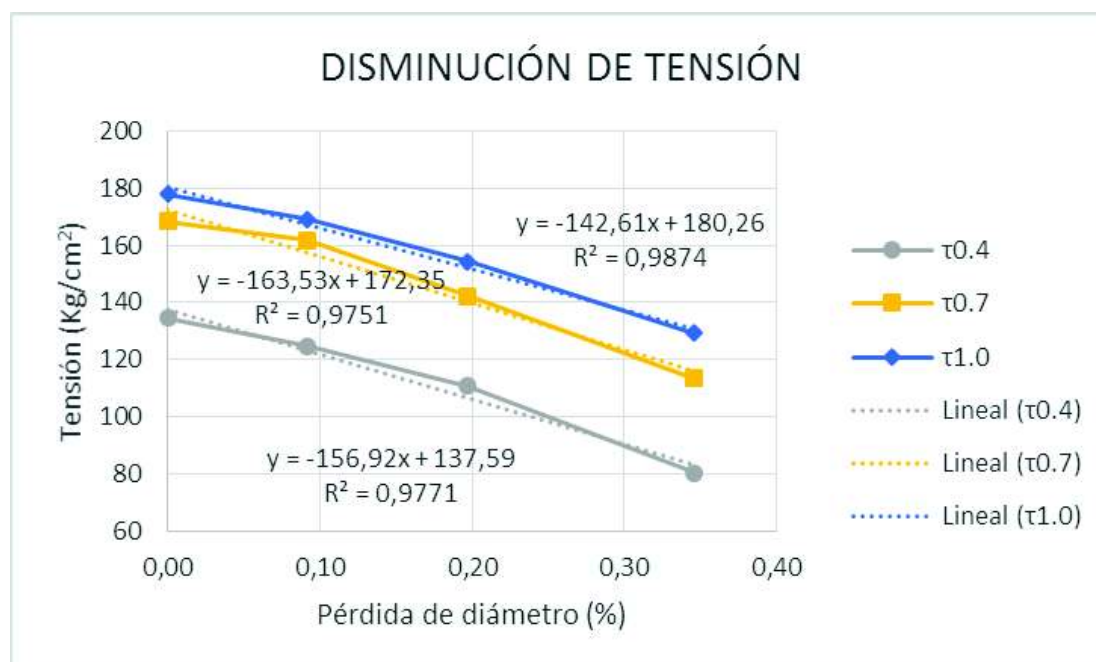
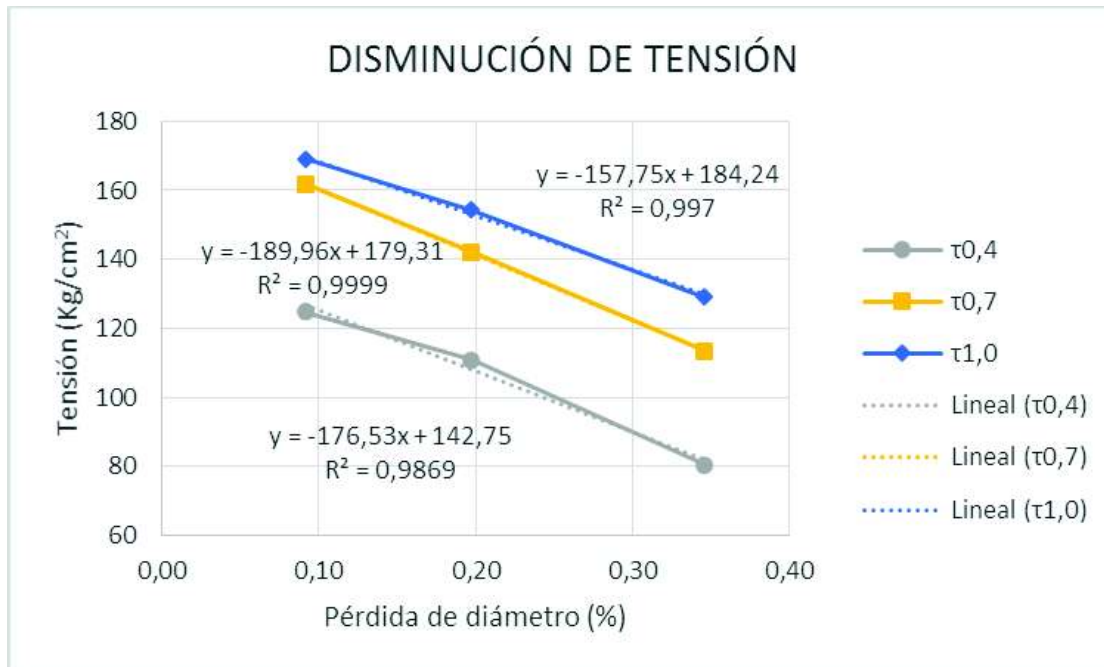


FIGURA 3.53 SEGUNDO TRAMO – DISMINUCIÓN DE TENSIÓN PARA 12 [MM] – TERCER CASO



En los gráficos anteriores se puede apreciar que el tercer caso presenta el factor R más cercano a uno en las tres tendencias, por ese motivo se utilizan los valores de las pendientes de cada uno para establecer una tendencia única que permite calcular el valor que ha disminuido la tensión de adherencia por efectos de la oxidación. La Ecuación 3.17 muestra el valor que se obtiene del promedio.

$$\tau = -174,75 * \%PD + \tau_0 \quad (3.17)$$

Donde,

τ = Tensión de adherencia [Kg/cm²]

%PD = Pérdida de diámetro en porcentaje

τ_0 = Tensión de adherencia a 0 horas de oxidación [Kg/cm²]

Los resultados experimentales de tensión de adherencia promedio para los deslizamientos de 0,4 [mm], 0,7 [mm] y 1,0 [mm] y el cálculo del aumento o descenso en porcentaje se aprecia en la Tablas 3.46 y 3.47.

TABLA 3.46 VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE ADHERENCIA, EN PORCENTAJE, EN FUNCIÓN AL ESTADO DE OXIDACIÓN – 10 [MM] – DATOS EXPERIMENTALES

HORAS DE OXIDACIÓN	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (%)	$\tau_{0,4}$ (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	$\tau_{0,7}$ (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	$\tau_{1,0}$ (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ADHERENCIA (%)
0	0	118,10	0	151,59	0	165,36	0
50	0,07	116,41	-1,45	164,73	7,98	177,62	6,90
100	0,11	112,51	-4,73	144,78	-4,50	148,38	-10,27
200	0,29	104,31	-11,68	126,98	-16,24	141,59	-14,38
300	0,53	89,88	-23,89	116,00	-23,48	123,38	-25,39

TABLA 3.47 VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE ADHERENCIA, EN PORCENTAJE, EN FUNCIÓN AL ESTADO DE OXIDACIÓN – 12 [MM] – DATOS EXPERIMENTALES

HORAS DE OXIDACIÓN	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (%)	$\tau_{0,4}$ (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	$\tau_{0,7}$ (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	$\tau_{1,0}$ (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ADHERENCIA (%)
0	0	134,56	0	168,27	0	177,92	0
50	0,07	149,85	10,20	181,87	7,48	186,13	4,41
100	0,09	124,86	-7,21	161,74	-3,88	169,07	-4,98
200	0,20	110,91	-17,57	142,17	-15,51	154,41	-13,22
300	0,35	80,45	-40,21	113,47	-32,57	129,15	-27,41

Con la finalidad de obtener datos menos dispersos, los valores de la tensión de adherencia se corrigen con la ayuda de las Ecuaciones 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, para encontrar nuevos valores de tensión y porcentajes, con la finalidad de calcular y determinar qué grupo de datos tienen la menor desviación estándar.

A continuación, se encuentran los valores experimentales y teóricos de tensión de adherencia y se observa si la tensión aumento o disminuyo, en porcentaje, para $\tau_{0,4}$, $\tau_{0,7}$ y $\tau_{1,0}$.

TABLA 3.48 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA PARA 0,4 MILÍMETROS DE DESLIZAMIENTO – DIÁMETRO 10 [MM]

HORAS DE OXIDACIÓN	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (%)	$\tau_{0,4}$ (Kg/cm^2)		PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	
		EXPERIM.	TEÓRICO	EXPERIM.	TEÓRICO
0	0,000	118,10	118,49	0,00	0,00
50	0,067	116,41	131,19	-1,45	10,72
100	0,109	112,51	111,41	-4,73	-5,97
200	0,295	104,31	99,28	-11,68	-16,22
300	0,575	89,88	81,10	-23,89	-31,56

TABLA 3.49 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA PARA 0,7 MILÍMETROS DE DESLIZAMIENTO – DIÁMETRO 10 [MM]

HORAS DE OXIDACIÓN	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (%)	$\tau_{0,7}$ (Kg/cm^2)		PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	
		EXPERIM.	TEÓRICO	EXPERIM.	TEÓRICO
0	0,000	151,59	151,03	0,00	0,00
50	0,067	164,73	163,73	7,98	8,41
100	0,109	144,78	143,95	-4,50	-4,69
200	0,295	126,98	131,82	-16,24	-12,72
300	0,575	116,00	113,64	-23,48	-24,76

TABLA 3.50 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA PARA 1,0 MILÍMETROS DE DESLIZAMIENTO – DIÁMETRO 10 [MM]

HORAS DE OXIDACIÓN	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (%)	$\tau_{1,0}$ (Kg/cm^2)		PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	
		EXPERIM.	TEÓRICO	EXPERIM.	TEÓRICO
0	0,000	165,36	161,70	0,00	0,00
50	0,067	177,62	174,40	6,90	7,86
100	0,109	148,38	154,62	-10,27	-4,38
200	0,295	141,59	142,49	-14,38	-11,88
300	0,575	123,38	124,31	-25,39	-23,12

TABLA 3.51 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA PARA 0,4 MILÍMETROS DE DESLIZAMIENTO – DIÁMETRO 12 [MM]

HORAS DE OXIDACIÓN	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (%)	$\tau_{0,4}$ (Kg/cm ²)		PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	
		EXPERIM.	TEÓRICO	EXPERIM.	TEÓRICO
0	0,000	134,56	142,75	0,00	0,00
50	0,066	149,85	157,20	10,20	10,12
100	0,092	124,86	126,75	-7,21	-11,21
200	0,198	110,91	108,21	-17,57	-24,20
300	0,333	80,45	84,62	-40,21	-40,72

TABLA 3.52 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA PARA 0,7 MILÍMETROS DE DESLIZAMIENTO – DIÁMETRO 12 [MM]

HORAS DE OXIDACIÓN	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (%)	$\tau_{0,7}$ (Kg/cm ²)		PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	
		EXPERIM.	TEÓRICO	EXPERIM.	TEÓRICO
0	0,000	168,27	179,31	0,00	0,00
50	0,066	181,87	193,76	7,48	8,06
100	0,092	161,74	163,31	-3,88	-8,92
200	0,198	142,17	144,77	-15,51	-19,26
300	0,333	113,47	121,18	-32,57	-32,42

TABLA 3.53 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA PARA 1,0 MILÍMETROS DE DESLIZAMIENTO – DIÁMETRO 12 [MM]

HORAS DE OXIDACIÓN	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (%)	$\tau_{1,0}$ (Kg/cm ²)		PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	
		EXPERIM.	TEÓRICO	EXPERIM.	TEÓRICO
0	0,000	177,92	184,24	0,00	0,00
50	0,066	186,13	198,69	4,41	7,84
100	0,092	169,07	168,24	-4,98	-8,68
200	0,198	154,41	149,70	-13,22	-18,75
300	0,333	129,15	126,11	-27,41	-31,55

De las Tablas 3.48, 3.49, 3.50, 3.51, 3.52, 3.53, se comparan los valores, en porcentaje, experimentales y teóricos a las mismas horas de exposición al proceso de oxidación acelerada en sus diferentes deslizamientos, con el propósito de obtener el promedio y la desviación estándar, mediante la fórmula 3.13, aplicada para anteriores cálculos dentro de este mismo capítulo.

TABLA 3.54 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA – EXPERIMENTAL Y TEORICO PARA DIÁMETRO 10 [MM]

HORAS DE OXIDACIÓN	DATOS	PORCENTAJE DE ADHERENCIA			PROMEDIO (%)	DESVIACIÓN ESTANDAR
		$\tau_{0,4}$	$\tau_{0,7}$	$\tau_{1,0}$		
50	Experimental	-1,45	7,98	6,90	4,47	4,21
	Teórico	10,72	8,41	7,86	9,00	1,24
100	Experimental	-4,73	-4,50	-10,27	-6,50	2,67
	Teórico	-5,97	-4,69	-4,38	-5,01	0,69
200	Experimental	-11,68	-16,24	-14,38	-14,10	1,87
	Teórico	-16,22	-12,72	-11,88	-13,61	1,88
300	Experimental	-23,89	-23,48	-25,39	-24,25	0,82
	Teórico	-31,56	-24,76	-23,12	-26,48	3,65

TABLA 3.55 VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ADHERENCIA – EXPERIMENTAL Y TEORICO PARA DIÁMETRO 12 [MM]

HORAS DE OXIDACIÓN	DATOS	PORCENTAJE DE ADHERENCIA			PROMEDIO (%)	DESVIACIÓN ESTANDAR
		$\tau_{0,4}$	$\tau_{0,7}$	$\tau_{1,0}$		
50	Experimental	10,203	7,476	4,409	7,363	2,367
	Teórico	10,12	8,06	7,84	8,676	1,028
100	Experimental	-7,208	-3,884	-4,978	-5,356	1,383
	Teórico	-11,21	-8,92	-8,68	-9,603	1,138
200	Experimental	-17,575	-15,512	-13,219	-15,435	1,779
	Teórico	-24,20	-19,26	-18,75	-20,734	2,456
300	Experimental	-40,212	-32,571	-27,413	-33,399	5,258
	Teórico	-40,72	-32,42	-31,55	-34,900	4,134

Las ecuaciones que se utilizan para la corrección de las tensiones de adherencia son independientes para cada diámetro, porque según lo expuesto en el Capítulo 2 los factores del acero que influyen en la tensión de adherencia son el diámetro de la barra y su estado superficial de oxidación, y no pueden ser utilizadas para diámetros mayores o menores, incluso con el mismo número de micras perdidas.

Los resultados finales son distintos para cada diámetro, y se toman en cuenta los valores menos dispersos de acuerdo a las Tablas 3.54 y 3.55.

TABLA 3.56 TENSIÓN DE ADHERENCIA Y PORCENTAJE DE AUMENTO O DESCENSO – DIÁMETRO 10 [MM]

HORAS DE OXIDACIÓN	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (%)	NÚMERO MICRAS PERDIDAS	$\tau_{0,4}$ (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	$\tau_{0,7}$ (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	$\tau_{1,0}$ (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ADHERENCIA (%)
0	0	0	118,49	0	151,03	0	161,70	0
50	0,067	6,33	131,19	10,72	163,73	8,41	174,40	7,86
100	0,109	10,33	111,41	-5,97	143,95	-4,69	154,62	-4,38
200	0,294	28,00	104,31	-11,68	126,98	-16,24	141,59	-14,38
300	0,529	50,33	89,88	-23,89	116,00	-23,48	123,38	-25,39

Cuando la pérdida porcentual es de 0,067, equivalente a 6 micras, la varilla está ligeramente oxidada, y la tensión de adherencia aumenta en un rango de 7,8% a 10,7%, respecto al valor que se obtiene si la varilla es nueva.

Si el número de micras perdidas es 10,33 y la pérdida porcentual es 0,11 y la barra está medianamente oxidada, por lo tanto la tensión de adherencia disminuye entre 4,4% a 6%, respecto a la tensión de una varilla nueva.

En el caso cuando la pérdida de diámetro porcentual es 0,294, con una disminución de 28 micras, es decir una varilla medianamente oxidada, la tensión de adherencia disminuye en un rango de 12% a 16%, respecto al valor que se obtiene si la varilla es nueva.

Si la pérdida porcentual tiene valores comprendidos entre 0,53, es decir que la varilla tiene un estado de oxidación severo, porque ha perdido 50 micras, la

tensión de adherencia disminuye entre 23,2% a 24,2%, respecto a la tensión de una varilla nueva.

TABLA 3.57 TENSIÓN DE ADHERENCIA Y PORCENTAJE DE AUMENTO O DESCENSO – DIÁMETRO 12 [MM]

HORAS DE OXIDACIÓN	PÉRDIDA DE DIÁMETRO (%)	NÚMERO MICRAS PERDIDAS	$\tau_{0,4}$ (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	$\tau_{0,7}$ (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ADHERENCIA (%)	$\tau_{1,0}$ (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ADHERENCIA (%)
0	0	0,00	142,75	0	179,31	0	184,24	0
50	0,066	7,67	157,20	10,12	193,76	8,06	198,69	7,84
100	0,091	10,67	126,75	-11,21	163,31	-8,92	168,24	-8,68
200	0,197	23,00	110,91	-17,57	142,17	-15,51	154,41	-13,22
300	0,346	40,33	84,62	-40,72	121,18	-32,42	126,11	-31,55

El número de micras perdidas es de 7 y la pérdida porcentual de 0,066, es decir que la varilla se encuentra ligeramente oxidada, la tensión de adherencia aumenta entre 7,8% y 10,2%, respecto al valor que se obtiene si la varilla es nueva.

Cuando la pérdida porcentual es de 0,09 y la barra ha perdido 10,7 micras, el estado de oxidación superficial es medianamente oxidada, y la tensión de adherencia disminuye entre 8,7% y 11,2%, respecto a la tensión de una varilla nueva.

Si la pérdida de diámetro porcentual es 0,2, equivalente a 23 micras perdidas, la varilla está medianamente oxidada, en decir que la tensión de adherencia disminuye en un rango de 13,2% a 17,6%, respecto al valor que se obtiene si la varilla es nueva.

En el caso que la pérdida porcentual es de 0,35, la varilla se encuentra severamente oxidada, debido a que perdió 40 micras, y su tensión de adherencia disminuye entre los valores de 31,5% a 40,7%, respecto al valor que se obtiene si la varilla es nueva.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES

4.1. CONCLUSIONES

La capacidad de adherencia depende del estado superficial de oxidación, y presenta dos estados, el primero en donde se evidencia un aumento de la tensión de adherencia entre 7,8% y 10,7% para los dos diámetros de varillas investigadas hasta una pérdida porcentual de diámetro de 0,067%; y el segundo, a partir de 0,067% en adelante, en el cual la tensión de adherencia disminuye, respecto a su dato inicial, hasta un valor máximo de 24,2% en varillas de 10 [mm] de diámetro y 40,7% en barras de 12 [mm] de diámetro, cuando el refuerzo se encuentra severamente oxidado. A medida que se sigan perdiendo micras, la tensión de adherencia va a continuar disminuyendo.

Las propiedades del acero como su resistencia a la fluencia y su resistencia a la rotura son factores que pueden alterar o variar la tensión de adherencia. Como muestran los resultados (Tabla 3.22 y Tabla 3.23), estas características no se ven involucradas cuando cambia el estado superficial de oxidación porque los valores no varían, se mantienen prácticamente constantes. Al contrario, la dureza, que se mide en escala Rockwell B tiene una variación con los diferentes estados de oxidación, debido al volumen de óxido presente en la superficie de las probetas en el momento de tomar la medida, que impide que el indentador penetre de forma totalmente correcta. Los valores únicamente son comparativos y no deben exceder un límite permitido, que para las varillas utilizadas es de 90 HRB (Tabla 3.24).

Al aplicar la carga de tracción en las varillas, aparece un esfuerzo de adherencia entre el hormigón y el acero, que puede aumentar o disminuir, este efecto depende únicamente del estado de oxidación superficial presentado en las barras, y es independiente del deslizamiento de las varillas dentro del hormigón, es decir que el porcentaje de variación será el mismo para cada deslizamiento

El mecanismo de resistencia que tiene mayor influencia dentro del fenómeno de tensión de adherencia es la interacción mecánica, porque los otros dos mecanismos son anulados cuando la carga aplicada es muy grande.

El fenómeno de adherencia para porcentajes de pérdida de diámetro pequeños, con un valor máximo de 0,07% es afectado de forma positiva, porque el volumen de óxido que se genera cuando la varilla está ligeramente oxidada, es bajo y genera que un cambio en la relación a/c (altura de la corruga/espacio entre corrugas), logrando un mejor desempeño de la barra dentro del hormigón, por lo tanto, aumenta la tensión de adherencia. A medida que la pérdida porcentual aumenta, la tensión de adherencia disminuye, efecto que se debe a que un mayor volumen de óxido provoca que la relación a/c se encuentre fuera de los rangos establecidos por la norma ASTM A 305, deteriorando el desempeño entre hormigón y el acero. En esta parte se debe aclarar que las ecuaciones 3.14, 3.15, 3.16, 3.17 son válidas únicamente para varilla de 10 [mm] y 12 [mm] de diámetro, y que tengan un índice de corrugas igual a las varillas utilizadas en la investigación.

El análisis estadístico se realiza tomando en cuenta la dispersión de datos, y la distribución dentro de la campana de Gauss. Según la literatura $X \pm \sigma$ corresponde a 68,3% de confiabilidad de los datos, mientras que $X \pm 2\sigma$ equivale a 95,5%, abarcando los datos representativos del ensayo, para tener resultados confiables.

El diámetro es otro parámetro que influye dentro del fenómeno de adherencia, y la bibliografía afirma que a un mayor diámetro aumenta la tensión de adherencia, pero al tratarse de diámetros con una diferencia muy pequeña, se evidencia que los resultados después del ensayo Pull Out, con la resistencia a la compresión del hormigón, la geometría y el recubrimiento como constantes, permiten apreciar que cuando aumenta el diámetro nominal de la varilla, aumenta el valor de la tensión de adherencia, porque las varillas de mayor diámetro soportan mayor carga con desplazamientos iguales, anulando el efecto de la superficie de contacto.

El tramo del diagrama de carga vs deslizamiento relacionado con la adhesión química y rozamiento, tiene su punto final cuando el deslizamiento de la varilla está en el rango de 0,6 – 0,7 mm, punto donde comienzan los grandes deslizamientos y empieza actuar la interacción mecánica. Estos valores son similares a los establecidos por CEP – FIP en 1996 (Tabla 2.1), pero no concuerdan con la tensión máxima.

En el trabajo de investigación se tomaron varias constantes, con la finalidad de delimitar el estudio, una de ella fue el recubrimiento, que tiene un valor de 5 cm. Se comprobó lo establecido en la literatura, cuando el recubrimiento es mayor a tres veces el diámetro de las varillas, se retrasa la aparición de microfisuras en la superficie del elemento, por ese motivo no se pueden observar los tipo de falla, por Splitting o por Pull Out, en las probetas.

Los rangos propuestos por la Fédération Internationale de Béton (Fib) en el año 2000, para los tres tramos de la curva Tensión de Adherencia – Deslizamiento, no son similares a los obtenidos en el ensayo Pull Out, debido al tipo y calidad de los agregados existentes en Ecuador, incluso cabe recalcar que la tracción indirecta teórica, calculada mediante tres fórmulas, es distinta a la tracción indirecta experimental (Tabla 3.15).

Para poder aplicar los resultados en el campo, se debe obtener el número de micras perdidas, calcular el porcentaje que disminuye para determinar en qué tramo del diagrama me encuentro, para conocer que ecuación es la idónea para aplicar y encontrar los resultados requeridos.

4.2. RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES

FUTURAS

Las varillas utilizadas en el ensayo Pull Out no tienen ningún proceso de limpieza o cepillado, se realiza el hormigonado con el volumen de óxido generado en el proceso de oxidación acelerada. En un futuro estudio se puede limpiar el óxido de las varillas antes de la fundición, para que disminuya el diámetro y determinar cómo afecta el proceso en el fenómeno de adherencia.

Varias este factor de recubrimiento, o confinamiento pasivo nos permite apreciar las fisuras superficiales, y encontrar el recubrimiento adecuado que se debe utilizar en las varillas ecuatorianas, con la finalidad de no utilizar los valores empíricos acostumbrados en la construcción del Ecuador.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Al-Sulaimani, G., Kaleemullah, M., Basunbul, I., Rasheeduzzafar, (1990). *Influence of corrosion and cracking on bond behavior and strength of reinforced concrete member*. ACI Journal, Volumen 87 (2), pag 220-231.

Arqhys. (2012). *Adherencia de materiales*. ARQHYS.com, Recuperado de: <http://www.arqhys.com/construccion/materiales-adherencia.html>

ASTM B117-16, 2016. Norma "Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus"

ASTM D4435-84, 1998. Norma "Standard Test Method for Rock Anchor Pull Test"

ASTM E-18, 1996. Norma "Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials"

Balazs, G., (1986). Bond bahviour under repeated loads. Studi e recherche. Milan University of Technology, Milan, Italia, pag 395-430.

Barberá, E., (1982). *La influencia de los estados superficiales de las barras corrugadas sobre la adherencia en hormigones ligeros estructurales* (tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, España. pag 28-31.

Barberá, E., (1983). La influencia de los estados superficiales de las barras corrugadas sobre la adherencia en hormigones ligeros estructurales. *Informes de la construcción, Volumen 35 (353)*, pag 45-47.

Cabrera, J. y Ghoddoussi, P., (1992). The effect of reinforcement corrosion on the strength of steel/concrete bond. *Proceedings of International*

Conference of Bond in Concrete: from Research to Practice, CEB-RTU (Riga Technical University), Riga, Latvia.

Cairns, J., (1995). Strength in shear of concrete beams with exposed reinforcement. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Structures & Buildings, Volumen 47 (2)*, pag 176-185.

Calavera, J., (1978). Resultado de los ensayos realizados para estudiar la influencia de los distintos estados superficiales en las condiciones adherentes de las barras de acero, Intemac, Madrid, España.

CEB.RILEM/CEB/FIP (1983). Recommendations on reinforcement steel for reinforced concrete. RC-6: Bond test for reinforcement steel: 2. Pull-out test, Revised Edition, pag 8-11

CEB-FIP (1996). Código Modelo 1990 para hormigón estructural. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; GEHO-CEB Grupo Español del Hormigón; Asociación Técnica Española del Pretensado, 572 pp

Comité Euro-Internacional du Beton_Rile, C. F. (1983). Bond Test Reinforcement Steel – Pull Out Test. Georgi Publishing Company.

Delhumeau, G., (1999). *L'Invention du béton armé. Hennebique 1890-1914*, Paris, France: Editorial Norma.

Diederichs, U. y Schneider, U., (1981). Bond strength at high temperatures, *Magazine of Concrete Research, Volumen 33 (115)*, pag 75-84

fib (2000): Fédération Internationale de Béton Bond of reinforcement in concrete, State-of-art report, Bulletin No. 10. Ed. by Fib Task Group 4/2 bond models, Convener Ralejs Tepfers, pag 16-19.

Fusco, P., (2013). *Técnica de armar as estruturas de concreto. 2da Edición*, Sao Paulo, Brasil: Editorial PINI, pag 136-143.

García M. D., Gutiérrez J. P., Rodríguez J. (1998): Influencia de la corrosión sobre la adherencia acero/hormigón. *Hormigón y Acero n210*, pag. 23-40

García M. D., Gutiérrez J. P. (2001): Comportamiento de vigas de hormigón armado con deterioro parcial de la adherencia hormigón/acero. Congreso: Colloquia 2001, Hacia el futuro: Prolongando la vida de las estructuras de hormigón. Ed. Amiet, pag 231-241.

Goto, Y., (1971). *Crack formed in concrete around deformed tension bars*. ACI Journal, Volumen 68 (4)., pag 244-251.

Harmsen, T., (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*, Lima, Perú: Pontifica Univerdad Catolica del Peru-Fondo Editorial., pag 43-46

Huerta, P. y López, O., (2002). Estudio sobre el nivel de seguridad que guarda la norma técnica complementaria para estructuras de concreto reforzado ante el fenómeno de adherencia, *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*, A.C., pag 1035-1046.

Imbaquingo, A., (2008). *Diseño de hormigón de alto desempeño* (tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Ecuador. pag 22-25.

Luna, G., (2014). *Estudio del Hormigón*, Quito, Ecuador: Edicumbre, pag 21.

Lutz, L., (1970). *Analysis of stresses in concrete near a reinforcing bar due to bond and transverse cracking*. ACI Journal., pag 778-787.

Malvar, L., (1992). Confinement stress dependent bond behaviour. Part I: Experimental Investigation. Proceedings International Conference Bond in Concrete: from Research to Practice, CEB-RTU (Riga Technical University), Riga, Latvia.

Martí, J., Serna, P., Fernández, M., Miguel, P., (2002). Procedimiento de ensayo "Ecada" para la caracterización de la capacidad adherente de las armaduras pretensas al hormigón, *VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos.*, pag 43-50.

Molina, M., (2005). *Comportamiento de estructuras de hormigón armado con una deficiente transferencia de tensiones hormigón-acero. Análisis experimental y propuesta de un modelo de evaluación estructural* (tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Madrid, España. pag 1-20.

Molina, M., Gutiérrez, J., Garcia, M. (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.* Volumen 43 (2), p 560-564.

Monroy, C., y Luna, G., (1985). Cementos y hormigones. Instructivo de Laboratorio, Quito, Ecuador, pag 19.

Muñoz, D., (2015). *Caracterización experimental del hormigón de alto desempeño con énfasis en aditivos minerales* (tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Ecuador. pag 50-56.

Nawy, E. (1988). *Concreto Reforzado: Un enfoque básico*, México D.F., México: Prentice-Hall Inc., pag 408 – 415.

Olea, S. (2015). *Ensayo de adherencia de barras de anclaje compuestas por fibra de vidrio reforzado* (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Chile. pag 5

Park, R. y Paulay, T., (1980). *Estructuras de concreto reforzado*, Mexico D.F., Mexico: Editorial Limusa S.A., pag 405 – 417.

Peralta, M., Rivas, I., Ortega, N. (2006). *Análisis numérico de la fisuración superficial de estructuras de hormigón armado por efecto de la corrosión*. Informes de la construcción, Volumen 58 (501), p. 48.

Rehm, G., (1969). Adherencia y anclaje. Monografías del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento, n282. Madrid, España, pag 26-30.

Sanchez, S. y Villafuerte, J., (2011). *Control de calidad del acero de refuerzo producido por la empresa chilena Gerdau Aza S.A. y comercializado por Unifer S.A., en el mercado ecuatoriano* (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. pag 15-27

Terfers, R., (1973). *A theory of bond applied to overlapped tensile reinforcement slices for deformed bars*, Göterborg, Suecia: Chalmers Tekniska Högskola, Publication 73:2. pag 328.

Vanderwalle, L., (1992). Theoretical prediction of the ultimate bond strength between a reinforcement bar and concrete. Proceedings International Conference Bond in Concrete: from Research to Practice, CEB-RTU (Riga Technical University), Riga, Latvia.

Varona, F., (2011). *Estudio de la adherencia residual de la armadura pasiva en hormigón sometido a altas temperaturas* (tesis de doctorado). Universidad de Alicante, España. pag 14 – 30

Varona, F., Bru, D., Baeza de los Santos, F., Ivorra, S., (2012). Ensayos para evaluar la adherencia residual acero-hormigón a altas temperaturas, *XIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos.*, pag 5 – 6.

Universidad de Coruña (2008). *Anclaje y adherencia*. Hormigón armado y Pretensado 1. Grupo de construcción

Walpole, R., Myers, R., Myers, S., Ye, K., (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, Texas, USA: Prentice Hall, pag 59.

Welch, G., y Patten, B., (1967). Reduction in Concrete-Steel bars with horizontally embedded Reinforcement, UNCIV Report, Universidad de Nueva Wales del Sur, Wales, pag 26-28

ANEXOS



SUELOS - HORMIGONES - ASFALTOS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

METODO A.S.T.M.: D422 - 547 Y C 136 - 46

ENSAYO - DISEÑO - CONTROL

PROYECTO :
 UBICACIÓN : GEOSOL CIA LTDA.
 LOCALIZACIÓN : CONOCOTO
 MUESTRA : N° 1 - RIPIO

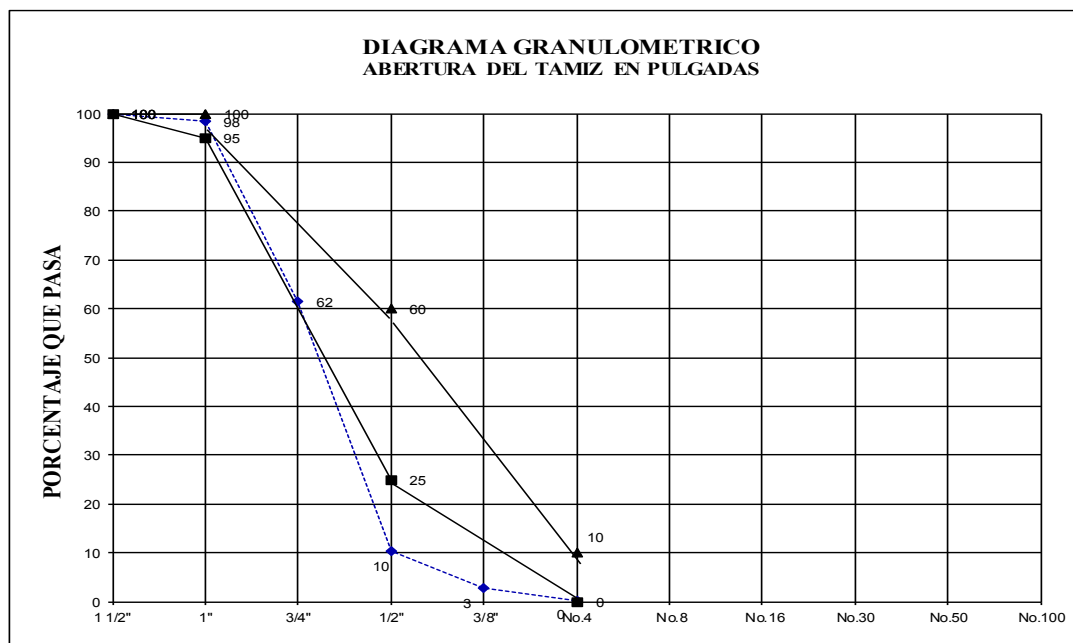
FECHA : 01/08/2017
 REALIZADO : E.G
 REVISADO : S.G.
 SOLICITADO : ING. G. LUNA

DESIGNACION DE TAMIZ STANDARD	PESO RETENIDO (gr)		PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASANDO	PORCENTAJE ESPECIFICADO	
	PARCIAL	ACUMULADO				
3"						
2 1/2"						
2"	0	0	0			
1 1/2"	0	0	0	100	100	100
1"	419	419	2	98	95	100
3/4"	9159	9578	38	62		
1/2"	12760	22338	90	10	25	60
3/8"	1831	24169	97	3		
No.4	673	24842	100	0	0	10
PASA No.4	50	50		0		

No.8						
No.10						
No.16						
No.30						
No.40						
No.50						
No.60						
No.80						
No.100						
PASA No.100						
No.200						
PASA No. 200						

PESO TOTAL DE LA MUESTRA 24892 gr
 PESO PASA TAMIZ No.4 POR CUARTEO 0 gr
 MODULO DE FINURA 7,35 %

OBSERVACIONES: _____ ENSAYO
 _____ ESPECIFICACIÓN M.O.P. TABLA N° 803 -2.1 GRADACIÓN E





SUELOS - HORMIGONES - ASFALTOS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

METODO A.S.T.M.: D422 - 547 Y C 136 - 46

ENSAYO - DISEÑO - CONTROL

PROYECTO :
 UBICACIÓN : GEOSOIL CIA LTDA.
 LOCALIZACIÓN : CONOCOTO
 MUESTRA : N° 1 - ARENA

FECHA : 01/08/2017
 REALIZADO : E.G
 REVISADO : S.G.
 SOLICITADO : ING. G. LUNA

DESIGNACION DE TAMIZ STANDARD	PESO RETENIDO (gr)		PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE PASANDO	PORCENTAJE ESPECIFICADO	
	PARCIAL	ACUMULADO				
3"						
2 1/2"						
2"						
1 1/2"						
1"						
3/4"						
1/2"	0	0	0	100		
3/8"	0	0	0	100	100	100
No.4	3	3	1	99	95	100
PASA No.4						

No.8	126	129	31	69	80	100
No.10						
No.16	120	249	61	39	50	85
No.30	77	326	79	21	25	60
No.40						
No.50	52	377	92	8	10	30
No.60						
No.80						
No.100	31	408	99	1	2	10
PASA No.100	2	2		1		
No.200						
PASA No. 200						

PESO TOTAL DE LA MUESTRA 410 gr

PESO PASA TAMIZ No.4 POR CUARTEO gr

MODULO DE FINURA 3,64 %

OBSERVACIONES: ----- ENSAYO
 _____ ESPECIFICACIÓN M.O.P. PARA HORMIGÓN AGREGADO FINO



SUELOS - HORMIGONES - ASFALTOS

PESOS ESPECIFICOS Y ABSORCIONES DE LOS AGREGADOS FINOS

MÉTODO A.S.T.M.: D - C128

PROYECTO :
 LOCALIZACIÓN :
 MUESTRA :
 AGREGADO : **AGREGADO FINO**

FECHA : /2012
 REALIZADO : S.G
 SOLICITADO

		ENSAYO No 1	ENSAYO No 5			PROMEDIO
VOLUMEN DE LA PROBETA EN (cm ³)	V	1000	1000			
PESO DE LA PROBETA (g)		247,8	216,8			
PESO DE MUESTRA S.S.S. EN EL AIRE (g)	P	500	500			
PESO MUESTRA + AGUA + PROBETA (g)		1545,5	1516,2			
PESO DEL AGUA (g)	W	797,7	799,4			
PESO DE LA MUESTRA SECA (g)	A	472	478			
PESO ESPECÍFICO BASE SECA (g)	$\frac{A}{V-W}$	2,334	2,382			2,358
PESO ESPECIFICO S.S.S.	$\frac{P}{V-W}$	2,472	2,493			2,482
PESO ESPECIFICO APARENTE	$\frac{A}{(V-W)-(P-A)}$	2,707	2,677			2,692
ABSORCION (%)	$\frac{P-A}{A} \times 100$	5,91	4,62			5,27

OBSERVACIONES:



ENSAYO DE ABRASIÓN

INF. No. 18 - 0126-I


Quito, 30 de mayo de 2018

Hoja 01 de 01

SOLICITA: ELTON ANDRES GUANOLIQUIN ANASI
Atención: ELTON ANDRES GUANOLIQUIN ANASI
Dirección: Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía -Epn
PROYECTO: TESIS -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
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
MINA: ***
MUESTRA: AGREGADO GRUESO
NORMA: ASTM C131/C131M

GRADACIÓN	B
NÚMERO DE REVOLUCIONES	500
PESO INICIAL (gr):	5000.2
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 100 REVOLUCIONES (gr):	4683.50
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 500 REVOLUCIONES (gr):	3627.40
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 100 rev. (%)	6.33
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 500 rev. (%)	27.46
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.23

OBSERVACIONES: El muestreo y resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista.


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 18 - 0127-I
Hoja 01 de 01

Quito, 30 de mayo de 2018

SOLICITA: ELTON ANDRES GUANOLIQUIN ANASI
Atención: Elton Andres Guanoliquin Anasi
Dirección: Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía -Egn
PROYECTO: TESIS -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
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
ELEMENTO: INDICADOS
NORMA: NTE INEN 1573:2010 ; ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIAMETRO (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA		TIPO DE FALLA
								(kN)	(t)	(MPa)	(kg/cm ²)	
1	11-ago-17	EPN-1	21-nov-17	102	151.00	17508	2310	535.0	54.6	29.9	305	TIPO 1
2	11-ago-17	EPN-2	21-nov-17	102	151.00	17508	2300	493.5	50.3	27.6	281	TIPO 2
3	11-ago-17	EPN-3	21-nov-17	102	151.50	18027	2310	524.9	53.3	29.1	297	TIPO 2
4	23-ago-17	EPN-4	21-nov-17	90	151.00	17508	2290	542.7	55.2	30.3	309	TIPO 2
5	23-ago-17	EPN-5	21-nov-17	90	151.50	18027	2280	562.4	57.2	31.2	318	TIPO 1
6	23-ago-17	EPN-6	21-nov-17	90	151.50	18027	2300	522.4	53.2	29.0	296	TIPO 2
7	25-ago-17	EPN-7	21-nov-17	88	151.50	18027	2290	535.6	54.6	29.7	303	TIPO 1
8	25-ago-17	EPN-8	21-nov-17	88	151.00	17508	2290	501.6	51.1	28.0	286	TIPO 2
9	25-ago-17	EPN-9	21-nov-17	88	150.00	17671	2300	567.7	57.9	32.1	328	TIPO 2
10	26-sep-17	EPN-10	21-nov-17	56	150.50	17789	2300	502.6	51.2	28.3	288	TIPO 2
11	26-sep-17	EPN-11	21-nov-17	56	151.00	17508	2300	490.2	50.0	27.4	279	TIPO 2
12	26-sep-17	EPN-12	21-nov-17	56	151.50	18027	2300	444.2	45.2	24.8	251	TIPO 2
13	27-sep-17	EPN-13	21-nov-17	55	151.50	18027	2290	518.1	52.8	28.7	293	TIPO 2
14	27-sep-17	EPN-14	21-nov-17	55	151.50	18027	2290	537.7	54.8	29.8	304	TIPO 2
15	27-sep-17	EPN-15	21-nov-17	55	150.50	17789	2300	455.9	46.5	25.6	261	TIPO 2



Observación: Las procedencias y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 18-0128-1
Hoja 1 de 1

Quito, 30 de mayo de 2018

SOLICITA: ELTON ANDRES GUANOLIQVIN ANASI

Atención: Elton Andres Guanoliqvin Anasi

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía-EPN

PROYECTO: TESIS -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

FISCALIZADOR: ****

CONTRATISTA: ****

NORMA: ASTM C 496/496M - 11

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD [Días]	D [mm]	H [mm]	P. ESPEC. [Kg/m ³]	CARGA		Resistencia	
								[kN]	[T]	[Mpa]	[Kg/cm ²]
1	11/8/2017	EPN-16	4/1/2018	146	152	301	2305	230.55	23.51	3.22	32.8
2	23/8/2017	EPN-17	4/1/2018	134	152	301	2253	243.69	24.85	3.40	34.6
3	25/8/2017	EPN-18	4/1/2018	132	151	300	2252	236.99	24.37	3.35	34.2
4	26/9/2017	EPN-19	4/1/2018	100	151	301	2296	182.11	18.57	2.55	26.0
6	27/9/2017	EPN-20	4/1/2018	99	151	302	2289	185.74	18.94	2.59	26.4

Observación: La procedencia y las fechas de fabricación han sido tomadas de la muestra y es responsabilidad del cliente.


ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

INFORME TÉCNICO

LAEV – OCT.17.08.0

Quito, 19 de octubre de 2017

TRABAJO SOLICITADO POR: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
MBA, Germán Luna

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de varillas pertenecientes al Sr. Elton Andrés Guanoliquin Anasi para el proyecto de titulación "ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE LA OXIDACIÓN EN LA CAPACIDAD DE ADHERENCIA DE LAS VARRILLAS CORRUGADAS UTILIZADAS COMO ACERO DE REFUERZO EN EL HORMIGÓN, MEDIANTE EL ENSAYO PULL OUT". Las probetas fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

- MUESTRAS:** Treinta (30) varillas corrugadas para ensayo de tracción, y diez (10) secciones de varillas para barrido de dureza Rockwell.
- ENSAYO DE TRACCION**

En la tabla 1 se presenta la identificación de las muestras.

Tabla 1. Identificación de las muestras.

Muestra	Identificación LAEV
Varillas sin tratamiento	Grupo 1 (G1)
Varillas con 50 horas de tratamiento	Grupo 2 (G2)
Varillas con 100 horas de tratamiento	Grupo 3 (G3)
Varillas con 200 horas de tratamiento	Grupo 4 (G4)
Varillas con 300 horas de tratamiento	Grupo 5 (G5)

En las tablas de la 2 a la 6 se presentan los resultados del ensayo de tracción realizado a las varillas corrugadas.



Tabla 2. Resultados del ensayo de tracción G1.

Id.	Diámetro nominal	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 200 mm
	mm	N	lbf	MPa	ksi	MPa	ksi	
T1	10	50.887	11.440	551,6	80,0	647,9	94,0	16,6
T2	10	51.021	11.470	552,3	80,1	649,6	94,2	17,2
T3	10	50.976	11.460	547,4	79,4	649,1	94,1	15,3
T4	12	72.683	16.340	444,7	64,5	642,7	93,2	17,5
T5	12	72.461	16.290	458,5	66,5	640,7	92,9	16,9
T6	12	72.417	16.280	459,9	66,7	640,3	92,9	18,1

Tabla 3. Resultados del ensayo de tracción G2.

Id.	Diámetro nominal	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 200 mm
	mm	N	lbf	MPa	ksi	MPa	ksi	
T1	10	48.708	10.950	529,5	76,8	620,2	90,0	13,9
T2	10	49.286	11.080	527,4	76,5	627,5	91,0	15,7
T3	10	49.953	11.230	527,4	76,5	636,0	92,3	16,6
T4	12	72.105	16.210	465,4	67,5	637,6	92,5	18,9
T5	12	72.105	16.210	465,4	67,5	637,6	92,5	15,0
T6	12	71.883	16.160	467,5	67,8	635,6	92,2	17,6

Tabla 4. Resultados del ensayo de tracción G3.

Id.	Diámetro nominal	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 200 mm
	mm	N	lbf	MPa	ksi	MPa	ksi	
T1	10	50.131	11.270	534,3	77,5	638,3	92,6	15,7
T2	10	50.042	11.250	533,0	77,3	637,2	92,4	17,1
T3	10	50.487	11.350	543,3	78,8	642,8	93,2	16,6
T4	12	71.482	16.070	458,5	66,5	632,0	91,7	18,8
T5	12	71.660	16.110	455,7	66,1	633,6	91,9	17,7
T6	12	72.016	16.190	458,5	66,5	636,8	92,4	18,0



Tabla 5. Resultados del ensayo de tracción G4.

Id.	Diámetro nominal	Carga máxima registrada		Limite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 200 mm
	mm	N	lbf	MPa	ksi	MPa	ksi	
T1	10	49.909	11.220	533,0	77,3	635,5	92,2	16,0
T2	10	50.220	11.290	527,4	76,5	639,4	92,7	17,5
T3	10	50.309	11.310	535,7	77,7	640,6	92,9	17,1
T4	12	70.326	15.810	444,7	64,5	621,8	90,2	13,6
T5	12	70.637	15.880	451,6	65,5	624,6	90,6	17,4
T6	12	70.949	15.950	455,1	66,0	627,3	91,0	16,1

Tabla 6. Resultados del ensayo de tracción G5.

Id.	Diámetro nominal	Carga máxima registrada		Limite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 200 mm
	mm	N	lbf	MPa	ksi	MPa	ksi	
T1	10	49.152	11.050	527,4	76,5	625,8	90,8	14,2
T2	10	50.175	11.280	534,3	77,5	638,9	92,7	12,5
T3	10	48.530	10.910	517,1	75,0	617,9	89,6	14,8
T4	12	70.860	15.930	444,7	64,5	626,5	90,8	16,0
T5	12	70.637	15.880	442,6	64,2	624,6	90,6	16,8
T6	12	71.082	15.980	446,8	64,8	628,5	91,2	16,9

3. ENSAYO DE DUREZA

En las tablas de la 7 a la 11 se presentan los resultados del ensayo de dureza realizado a las secciones de varillas.

Tabla 7. Barrido de dureza Rockwell G1.

Muestra	Diámetro nominal (mm)	Mediciones en escala Rockwell B					Promedio
		1	2	3	4	5	
D1	10	86,5	86	86	86	86,5	86,2
D2	12	89,5	91	90,5	90	90	90,2

Tabla 8. Barrido de dureza Rockwell G2.

Muestra	Diámetro nominal (mm)	Mediciones en escala Rockwell B					Promedio
		1	2	3	4	5	
D1	10	78,5	83,5	84,5	83	83	82,5
D2	12	82	88	80	79,5	88	82,5



Tabla 9. Barrido de dureza Rockwell G3.

Muestra	Diámetro nominal (mm)	Mediciones en escala Rockwell B					Promedio
		1	2	3	4	5	
D1	10	69	73	63,5	73,5	73	70,4
D2	12	73	76,5	79,5	72	74	75

Tabla 10. Barrido de dureza Rockwell G4.

Muestra	Diámetro nominal (mm)	Mediciones en escala Rockwell B					Promedio
		1	2	3	4	5	
D1	10	63	59	72	74	67,5	67,1
D2	12	71	71,5	71,5	56,5	69,5	68

Tabla 11. Barrido de dureza Rockwell G5.

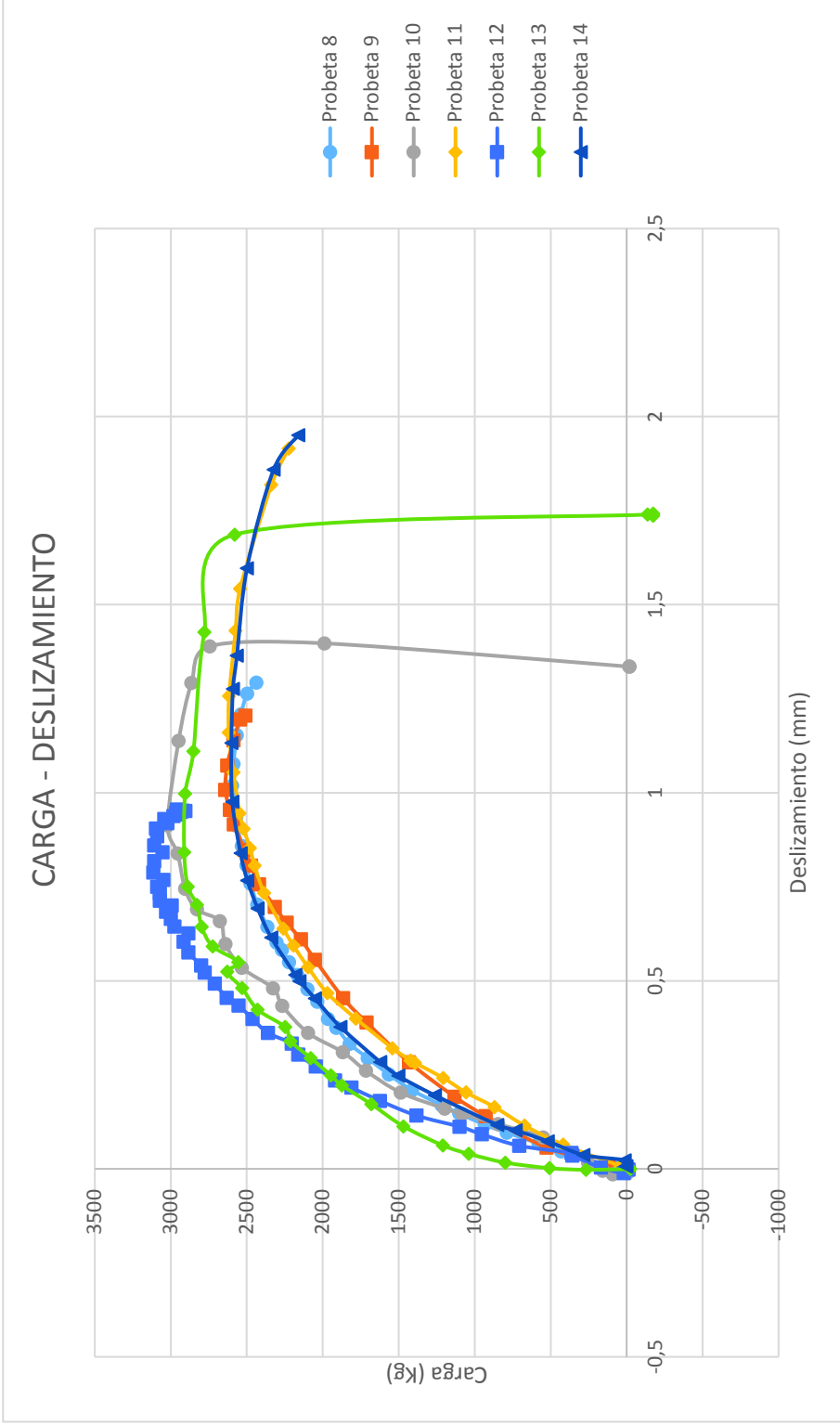
Muestra	Diámetro nominal (mm)	Mediciones en escala Rockwell B					Promedio
		1	2	3	4	5	
D1	10	80	76	78	79,5	81	78,9
D2	12	74	83	81	78,5	87,5	80,8

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:		
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ing. Mario Granja, M.Sc.
Cargo:	TÉCNICO DOCENTE	JEFE

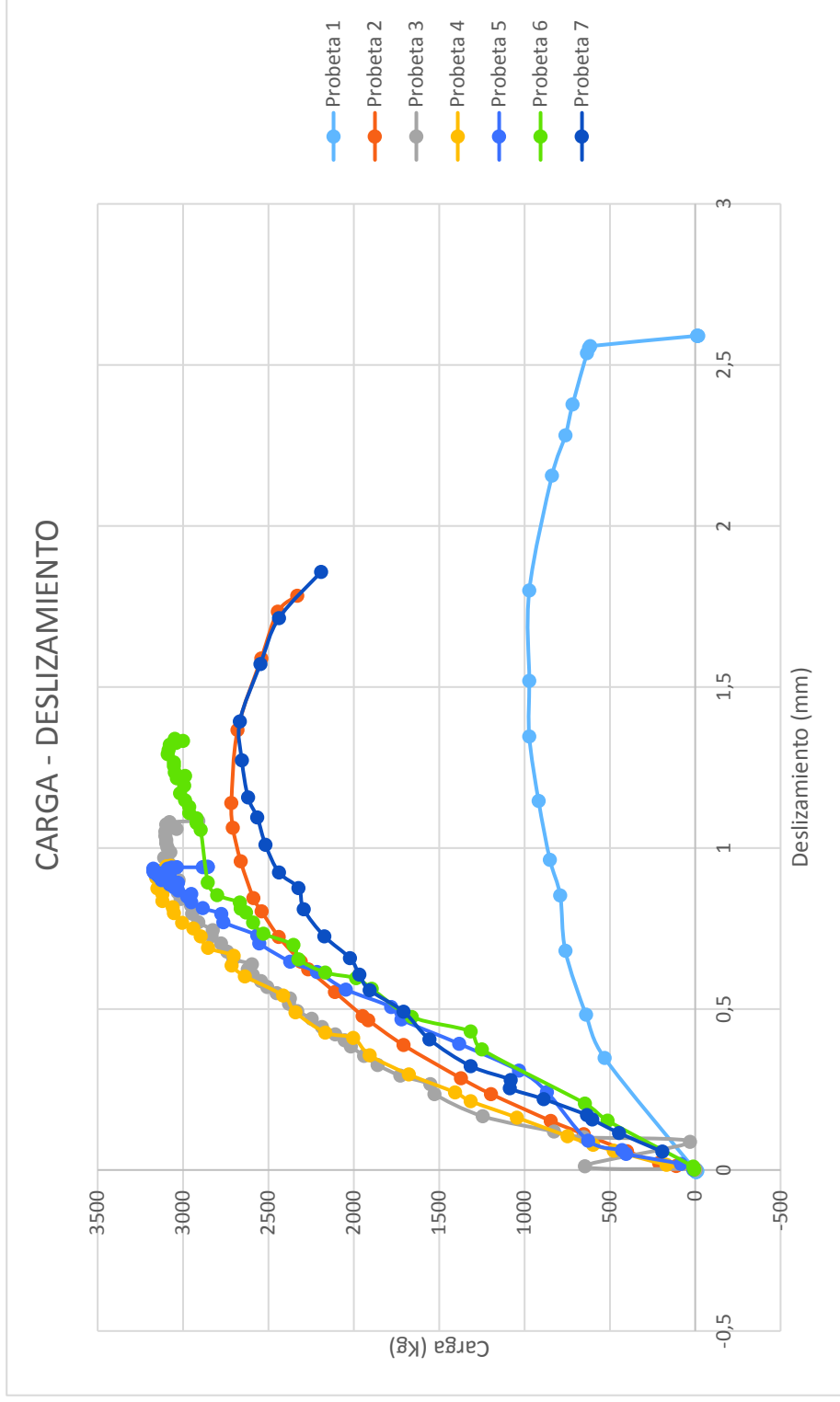
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



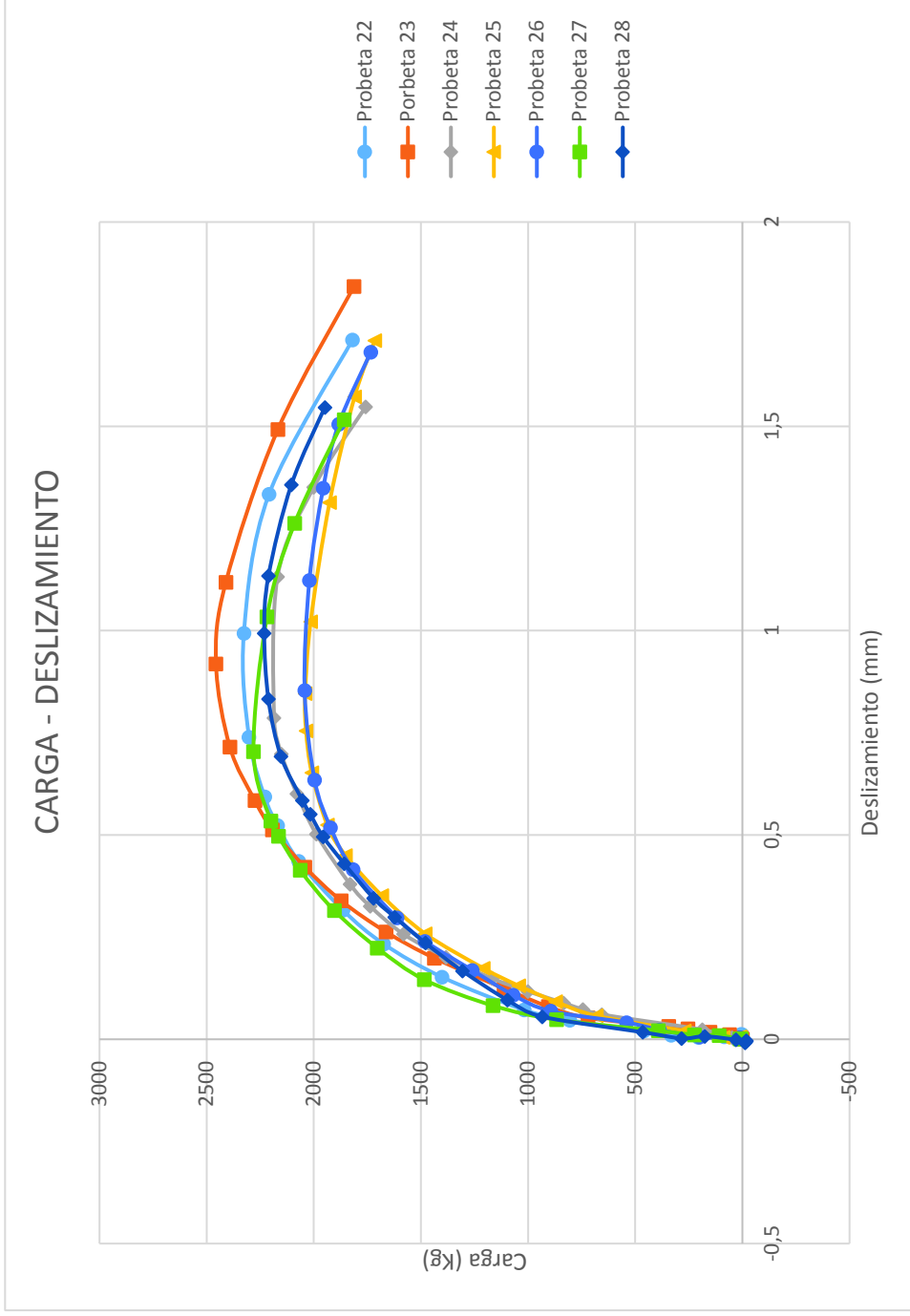
Deformación (mm)	9		10		11		12		13	
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)
0	0	0	-12,0834236	-0,00634814	6,04098177	0,00241805	-12,0705881	-0,00211384	-24,1615925	-0,00060444
83992	120,875137	0,00917895	-12,0834236	-0,00755731	42,2868767	0,00755641	18,1058826	-0,01147512	265,777527	-0,00241775
28173	525,806824	0,05654672	-6,04171181	-0,01118482	416,827728	0,06438064	168,988235	0,00362372	507,393463	0,00181332
445638	926,344666	0,14030843	90,625679	-0,01451003	670,549011	0,11485749	356,082367	0,03533129	797,33252	0,01662206
61934	1131,8324	0,19171454	157,084503	-0,00483668	867,819458	0,16382304	362,117645	0,04257874	1038,94849	0,03989294
06556	1432,15149	0,28333837	253,751907	0,01662608	1056,55713	0,20311637	706,129456	0,0613013	1208,07959	0,062225717
31506	1710,16431	0,38887209	549,795776	0,08343268	1206,1145	0,24150296	953,576477	0,09210294	1467,81677	0,11272778
09469	1865,43323	0,4538857	845,839661	0,11880089	1392,97498	0,28170311	1098,42358	0,11203341	1679,23071	0,17166053
32653	2050,70215	0,55579072	1081,46643	0,14570491	1420,89307	0,28805047	1382,0824	0,14162716	1872,52332	0,22152671
46583	2143,44604	0,61022073	1196,25891	0,16021495	1540,45044	0,32069418	1623,49414	0,18088415	1945,00818	0,24812201
02511	2237,83984	0,65436953	1486,26111	0,20253587	1782,08972	0,39958313	1810,58826	0,21591346	2077,89697	0,29436156
444198	2314,54004	0,69609916	1715,88757	0,26087451	1969,35999	0,46698633	1919,22363	0,234938	2210,78564	0,33969444
09378	2419,37134	0,75657696	1866,93396	0,31014743	2096,01587	0,53559858	2045,96472	0,27177918	2247,02808	0,37686741
86884	2471,89648	0,80586636	2096,52466	0,36153638	2192,67163	0,59332955	2160,63525	0,30409071	2428,23999	0,42340916
66763	2514,20288	0,84789836	2265,69678	0,43348095	2259,12231	0,63836575	2202,88257	0,3330805	2530,92676	0,48052862
63961	2584,42163	0,91623831	2326,11523	0,48003328	2385,98315	0,7335766	2359,80005	0,36116436	2627,57324	0,52374595
45142	2610,90308	0,95494401	2531,53833	0,53444511	2448,26978	0,80581588	2462,40015	0,39891145	2555,08838	0,54973686
02839	2641,12183	1,00725734	2640,29175	0,59732103	2478,47461	0,85296792	2552,92944	0,43394077	2724,21948	0,59144306
00037	2628,81543	1,07257336	2676,54297	0,65868545	2520,96655	0,90374708	2631,38843	0,45447519	2796,70435	0,64342475
66251	2586,72778	1,13970369	2827,5896	0,68982112	2547,2124	0,94515616	2709,84717	0,49282622	2826,90625	0,70145088
10431	2544,23706	1,19470125	2906,13354	0,74423295	2587,41724	1,05396843	2776,23535	0,52181607	2887,3103	0,75041044
26959	2507,97705	1,20467967	2954,46851	0,83854681	2617,62231	1,15975833	2800,37671	0,54053861	2911,47168	0,84168065
65739			3020,92896	0,91290963	2615,74512	1,25678265	2884,87061	0,5755679	2905,4314	0,99762577
67541			2948,42651	1,1378119	2573,45825	1,43088233	2915,04712	0,60425568	2851,06787	1,11005127
117825			2863,84058	1,29167628	2543,25342	1,54241514	2884,87061	0,62630004	2778,58301	1,42707944
32484			2743,00366	1,38931549	2337,86011	1,81837523	2975,40015	0,6444186	2579,18774	1,68636715
49951			1987,77112	1,39717495	2223,0813	1,91539967	2999,54126	0,66465104	-138,925797	1,73955727
80305			-18,1255741	1,33520603			3029,71777	0,68367559	-175,167313	1,73623288
97475			-18,1255741	1,33550811			2993,5061	0,6999824	-175,167313	1,74167264
111091							3071,9646	0,7129674		
16486							3071,9646	0,73168999		
35216							3090,07056	0,75041252		
86366							3047,82349	0,76792717		
							3114,21167	0,78815967		
							3108,17651	0,81775331		
							3053,85889	0,84130752		
							3108,17651	0,85942614		
							3090,07056	0,88449019		



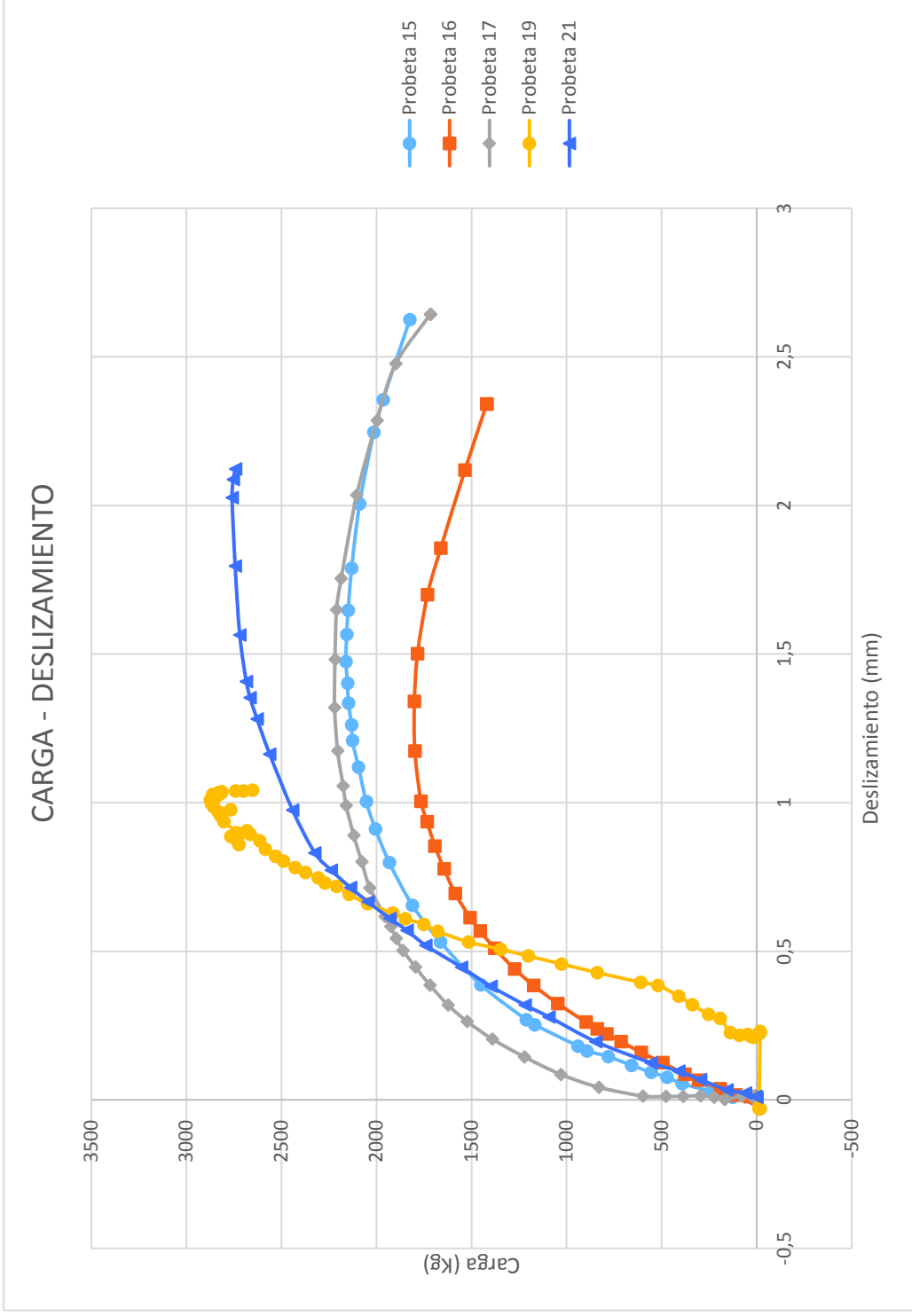
2		3		4		5		6	
Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)
523801	0	0,000704807	0	0,002616438	12,06971455	0,000301956	6,034857273	0,001207788	1
321818	6,036751747	0,005135021	6,038209438	0,002819745	168,9393005	0,016302418	84,48799896	0,018721299	4
339668	112,0735035	0,012384462	646,0884399	0,011480391	476,6501465	0,059775535	404,3354187	0,049520854	6
4335701	211,2862854	0,021446265	30,19177628	0,087310754	597,321106	0,078191228	428,4748535	0,061599113	6
523801	398,4255676	0,058599647	652,142395	0,101812199	748,159729	0,105060026	627,6251831	0,091190845	8
529751	651,9691772	0,111460157	827,2545776	0,119636886	1043,803589	0,162722229	869,0194702	0,242169067	1
3341652	845,1451416	0,15223828	1243,901245	0,166766569	1315,31311	0,213742822	1031,960571	0,308297545	1
811887	1195,093018	0,235606834	1527,703979	0,23595053	1405,816284	0,240611613	1381,9823	0,391939431	1
3321793	1371,864868	0,28484264	1551,8573	0,266161859	1677,32605	0,296764404	1719,934448	0,467428535	1
509906	1708,400635	0,387845069	1726,969727	0,293049961	1906,600586	0,356539905	1780,282837	0,506079018	1
301981	1915,356323	0,46517247	1859,813354	0,3256782	2003,137329	0,409975648	2045,81665	0,560431182	1
788236	1947,613525	0,478161067	1938,312134	0,354076833	2166,042969	0,42688185	2214,792725	0,615085304	1
264042	2110,605713	0,552467883	2016,810791	0,38368395	2341,016113	0,489676356	2371,698975	0,646790683	2
363715	2267,377686	0,622847795	2053,040771	0,402717084	2413,418701	0,541602552	2552,744629	0,703558505	2
191031	2309,634766	0,647314668	2107,38623	0,421448112	2636,659912	0,601378143	2564,814209	0,72831893	2
320196	2438,663818	0,723433793	2185,884766	0,444408715	2715,095947	0,635190487	2763,9646	0,769686997	2
7716906	2539,398926	0,802875638	2246,268311	0,469484121	2703,028809	0,66538018	2776,034424	0,795051217	2
232414	2587,509277	0,844257772	2330,805176	0,493653208	2853,867432	0,689531922	2884,661865	0,812866747	2
065483	2662,20752	0,958436549	2379,112061	0,516311646	2896,241943	0,725174963	2951,045166	0,831889987	2
808145	2708,244141	1,063251376	2373,07373	0,532323718	2938,479004	0,750233054	2975,18457	0,848799527	2
146049	2716,538086	1,139370561	2451,57251	0,549224079	3004,851318	0,767743587	2951,045166	0,856952531	2
166315	2680,317871	1,36651969	2505,91748	0,568577349	3053,121826	0,797933996	3029,498291	0,86842674	2
196312	2541,472412	1,588506937	2542,147705	0,587006271	3059,155762	0,815746367	3053,637695	0,878089309	2
542551	2444,884521	1,733493209	2590,45459	0,606039405	3119,493896	0,835370183	3077,7771	0,886242092	2
547352	2330,186035	1,782728195	2620,64624	0,623259842	3119,493896	0,856503546	3029,498291	0,89167732	2
384895			2596,49292	0,638667583	3149,66333	0,874617815	3126,055664	0,900132179	2
395212			2705,18335	0,654981673	3101,392334	0,886391997	3120,02124	0,90647316	2
395212			2741,41333	0,677942336	3155,697021	0,907525361	3144,160889	0,912512362	2
093136			2777,643555	0,703319848	3155,697021	0,920809209	3077,7771	0,917343676	2
093136			2831,989014	0,726884723	3119,493896	0,931375921	3168,299805	0,922778904	2
			2825,950195	0,744709373	3071,223389	0,935300648	3174,334717	0,927912116	2
			2910,487305	0,769180536	3095,358643	0,94345206	3089,846924	0,935747147	2
			2946,717529	0,795766532	3071,223389	0,945263445	3174,334717	0,936049104	2
			2952,755859	0,82144618			3065,70752	0,939370573	2
			3013,139404	0,841385663			3035,532959	0,939974546	2
			3031,254395	0,861929417			2884,661865	0,939974546	2
			3049,369629	0,882775247			2866,557129	0,939974546	2
			3025,216064	0,900297821			2854,487549	0,940880358	2
			3067,484619	0,916309774			2854,487549	0,941484213	2
			3055,407959	0,933228135					2
			3079,561279	0,950750649					2
			3109,753174	0,969783843					2
			3073,523193	0,98700434					2
			3091,637939	1,001807809					2
			3097,676514	1,014798641					2
			3097,676514	1,024466395					2
			3103,7146	1,037155151					2
			3103,7146	1,051052332					2

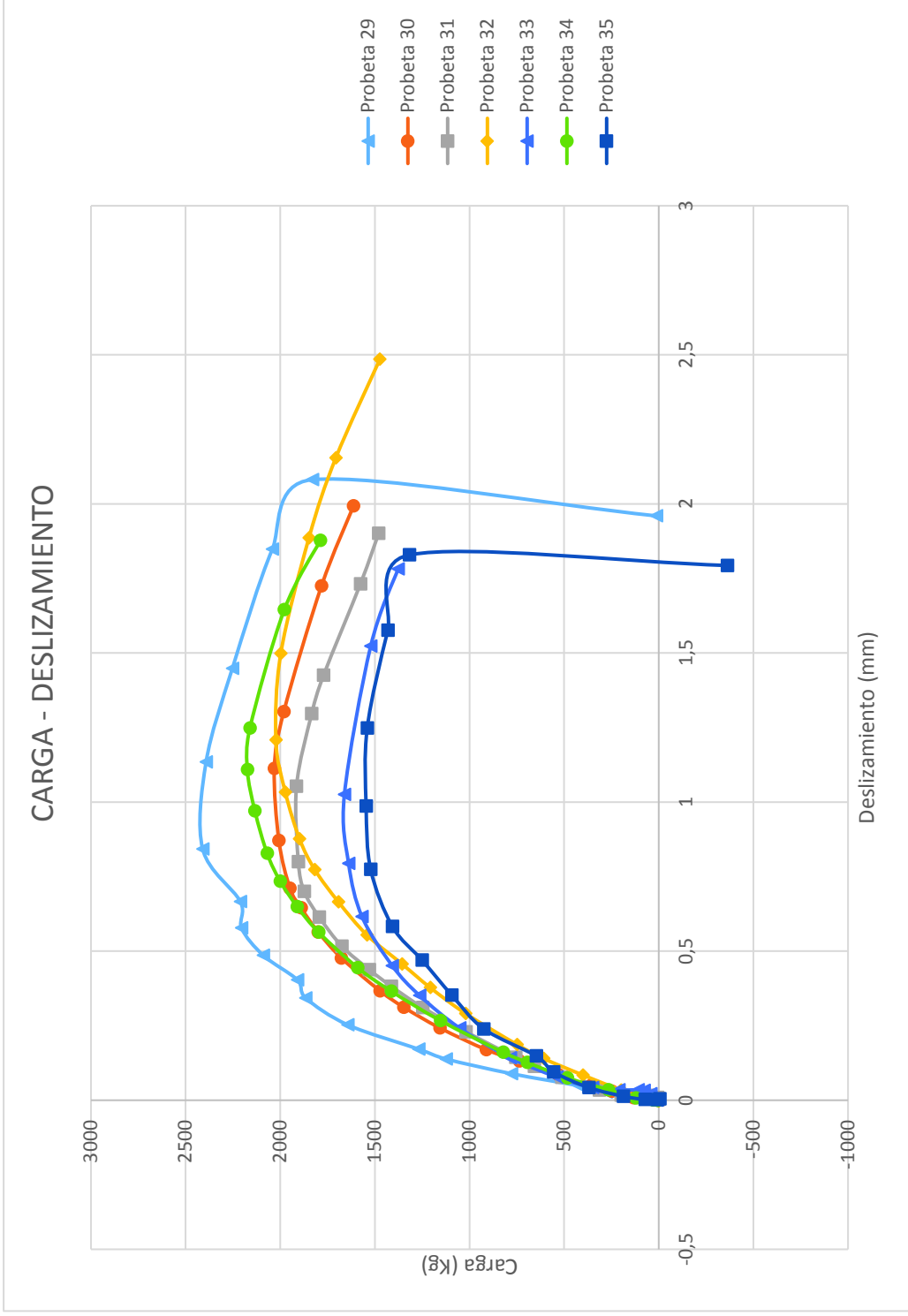


Identificación	23		24		25		26		27	
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)
574529	0	0	0	0,000302094	6,037772655	0,003625132	12,07612801	0,003927331	6,038209438	0,000906336
085177	6,037917614	0,003020995	12,07554531	0,003625132	12,07554531	0,006625132	12,07612801	0,002114717	12,07641888	0,001104713
042588	60,37918091	0,011802876	48,30218124	0,003927227	36,22663498	0,000281151	18,11419106	0,001510512	108,687767	0,00950573
531941	150,9479523	0,017793152	187,1709442	0,023563361	90,56658173	0,004510473	199,2560883	0,005739945	223,4137726	0,01093645
102724	253,5925598	0,025919121	656,0397034	0,06041887	271,3220215	0,020521473	386,0554504	0,022959782	392,4836121	0,021047128
242669	344,1613464	0,031919121	745,0973206	0,072804742	682,4552002	0,057679081	540,7786255	0,041085925	867,5917358	0,047953249
652793	720,9575806	0,052337452	833,9660645	0,088815741	871,5128784	0,092117838	893,6160889	0,068879344	1164,203064	0,082394005
906805	905,8676147	0,080056352	1000,759277	0,117212616	1044,34375	0,131087776	1068,910278	0,108152665	1484,228149	0,145837506
273223	1112,853455	0,124464975	1167,741394	0,148932517	1209,439148	0,173985075	1260,052185	0,168875232	1703,489136	0,223480263
243912	1438,1427	0,198781443	1382,836792	0,200892761	1480,383484	0,258269201	1481,003784	0,239869297	1904,444336	0,315020167
329509	1663,24231	0,262826537	1581,705444	0,257384419	1683,40332	0,351918231	1611,765015	0,297268748	2063,89624	0,413810753
667425	1872,114502	0,338955601	1736,612061	0,325355619	1852,272095	0,450098644	1816,868896	0,41539079	2164,46936	0,496589386
284376	2041,744995	0,421730836	1830,952026	0,379430532	1936,989746	0,524413686	1921,592041	0,518105626	2200,50769	0,534051293
3377829	2192,503174	0,512662788	1988,311768	0,502080858	2009,631958	0,652199279	1995,934448	0,63441503	2281,271729	0,703838193
0003122	2274,958252	0,584260364	2078,878296	0,601167738	2036,047363	0,755213152	2042,734009	0,854043484	2218,62207	1,033744299
3994256	2391,944214	0,715673615	2151,331421	0,698140025	2040,198486	0,845841299	2020,657837	1,122612476	2089,36145	1,262745165
589435	2456,2854	0,918986549	2185,482788	0,786049545	2014,727417	1,022263955	1956,163818	1,348611116	1858,597168	1,516519212
852789	2410,43689	1,118372251	2169,067261	1,132249713	1926,425049	1,313784252	1884,08728	1,50510323		
	2167,602783	1,492371489	2000,387329	1,350965977	1809,820801	1,572074305	1733,705322	1,68153441		
	1812,124023	1,842202594	1757,745239	1,547629476	1715,480835	1,709829103				

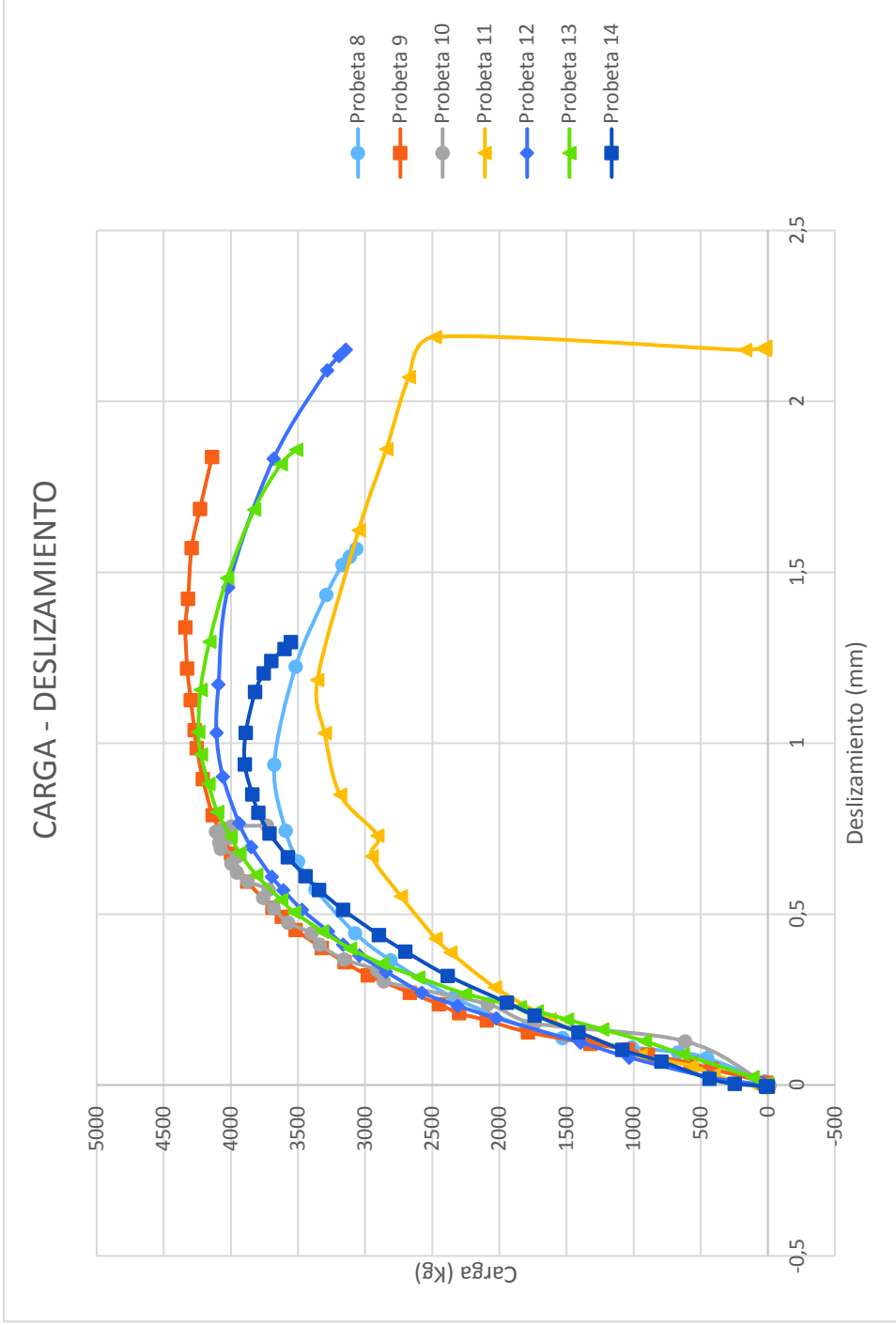


Deformación (mm)	16		17		18		19		20	
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)
997777	0	0,004534923	6,041857719	0,007859753			-12,08167171	-0,030526433		
9996624	6,042587757	0,00844202	12,08371544	0,003929877			-18,1225071	-0,030828673		
744777	36,2555275	0,010511977	12,08371544	0,011789629			-12,08167171	-0,025992805		
7070701	108,7665787	0,016279384	30,20928764	0,014812611			-18,1225071	0,230610594		
723884	193,3628082	0,037255876	78,54415131	0,012394226			-12,08167171	0,222450033		
424204	306,0868225	0,065907545	169,1720276	0,001511491			-18,1225071	0,225170225		
891532	378,3849487	0,086465858	223,5487366	0,008766647			-12,08167171	0,22577472		
521146	494,853363	0,124861538	296,0510254	0,013603419			18,1225071	0,210662603		
1104968	607,5773926	0,159326941	386,678894	0,012091927			30,20417786	0,212778315		
131215	714,2587891	0,195908651	477,3067932	0,011487331			48,32668686	0,219729871		
784387	788,8550415	0,221304208	598,1439819	0,012696524			90,6125412	0,217311934		
809304	839,2809448	0,238839239	831,0648193	0,042321745			138,9392242	0,226379186		
863122	898,0475464	0,261513859	1030,468567	0,085549563			193,3067474	0,273831189		
702166	1047,027039	0,324095815	1221,518677	0,144194841			253,7151184	0,2877343		
116565	1173,708374	0,384863764	1390,484741	0,204351604			338,2868347	0,320074171		
543076	1274,34729	0,440794498	1523,408936	0,263903767			410,776825	0,348484904		
299915	1378,943481	0,509725332	1623,828979	0,318921536			519,5119019	0,385358423		
5223962	1454,986206	0,568074644	1719,25708	0,386031061			610,1244507	0,395332426		
598354	1507,710083	0,613423884	1795,718994	0,447094679			839,6762085	0,428276777		
824234	1586,263672	0,694145441	1860,097046	0,502112448			1026,942139	0,456989765		
962676	1644,817383	0,776983338	1896,349243	0,543224633			1202,126343	0,483889312		
426761	1693,370972	0,854077041	1924,685181	0,583127618			1347,106445	0,506557405		
734486	1733,796753	0,936007977	1954,895142	0,616984665			1516,249878	0,531039		
509419	1766,095093	1,004334211	2035,315308	0,71311456			1679,352417	0,567005813		
330279	1798,393188	1,173940182	2077,609253	0,801082432			1751,842407	0,590580702		
593401	1800,478394	1,340523124	2119,90332	0,889654934			1848,495728	0,609017432		
905333	1784,435791	1,501059294	2160,113281	0,990319312			1914,944946	0,628058732		
239208	1731,711548	1,699688911	2175,945313	1,056219697			2047,843384	0,660096288		
439751	1661,711548	1,856899619	2204,491211	1,174417138			2144,496826	0,691529453		
834103	1534,817383	2,119320393	2220,533203	1,319821119			2210,946045	0,718126833		
603085	1420,008179	2,341229439	2218,449463	1,481851339			2271,354248	0,729914248		
963469	1420,008179	2,341229439	2210,323242	1,649323106			2307,599365	0,746839762		
335524			2185,945313	1,753917098			2374,048584	0,764974236		
			2103,861328	2,035353899			2428,416016	0,781597614		
			1996,979126	2,286259174			2488,824463	0,803056717		
			1898,432983	2,477007389			2531,110107	0,81937778		
			1715,929077	2,643269539			2585,477783	0,843557179		
			1715,929077	2,643269539			2615,681885	0,872270107		





	9		10		11		12		13	
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)
1170509	12,07146358	0,007247848	-12,07321167	-0,001510227	6,035877228	-0,004530156	36,2170105	-0,005738489	0	0,001207948
1196623	416,4654236	0,047111005	615,7338257	0,12806727	6,035877228	-0,004832167	36,2170105	0,004530386	6,035439968	0,005247026
1132877	573,3944702	0,064022653	1738,542603	0,180623189	0	-0,005134177	42,25318146	0,004152854	114,6733551	0,022951018
473908	893,288208	0,088786133	2088,665771	0,237105697	60,35877228	-0,00724825	36,2170105	0,003020257	634,5516663	0,089690156
604472	1044,181519	0,104187809	2861,351318	0,303253651	404,4037476	0,029899033	36,2170105	0,003624309	917,68573	0,128344506
839518	1321,825195	0,121099457	2909,644043	0,335572481	567,3724365	0,055871926	36,2170105	0,005436464	1235,493164	0,163073018
840326	1786,576416	0,154620752	3157,144775	0,367891341	947,6326294	0,087281011	36,2170105	0,002718232	1495,903076	0,191761792
160565	2094,398926	0,189048022	3338,24292	0,410479784	1412,395264	0,1543327318	30,18084145	0,000906077	1723,710571	0,215920761
798076	2299,61377	0,210187569	3398,609131	0,44400683	1623,650757	0,19298467	446,6764832	0,023860034	1848,560913	0,227698252
687463	2450,50708	0,236461028	3573,670654	0,474815458	2034,090454	0,286003858	1032,184814	0,080640875	2254,6521	0,267258555
389521	2667,793213	0,270284325	3682,329834	0,517101824	2366,063721	0,388385415	1396,065552	0,124434613	2604,70752	0,315274477
676713	2981,294189	0,321321249	3760,80542	0,548212469	2474,709717	0,42825079	2022,116455	0,195712686	2873,345459	0,355136782
246878	3153,544189	0,359976441	3718,548828	0,571470022	2734,252441	0,552679062	2311,852539	0,231955782	3113,153076	0,399525046
306918	3323,437988	0,401651531	3875,594482	0,595938563	2951,543945	0,669557095	2577,444092	0,270615071	3320,24707	0,449956387
476017	3518,473877	0,453896433	3954,072266	0,621612549	2909,292725	0,730261147	2846,637451	0,331926286	3529,587891	0,505521476
179224	3620,902832	0,492551655	3996,329346	0,648192644	3186,943115	0,849253297	3043,577881	0,379344344	3626,152832	0,541759551
236384	3690,724365	0,518825114	3954,072266	0,668731928	3301,624756	1,029855609	3163,939697	0,411057055	3811,176514	0,614537776
461419	3878,546631	0,595833348	4074,807129	0,691083372	3355,947754	1,185088873	3277,096924	0,450018376	3936,199951	0,6794644
534411	3999,439941	0,67737174	4086,880859	0,709810197	3048,11792	1,623608112	3470,073486	0,512537658	4001,882568	0,727177858
	4052,86792	0,725690722	4014,439941	0,724006534	2842,898193	1,860384226	3608,905518	0,56962055	4101,400146	0,799050093
	4136,190186	0,789713383	4111,027832	0,741525173	2673,893555	2,071187258	3695,665283	0,609790027	4167,964355	0,880887806
	4208,797852	0,895109177	4056,697021	0,749982476	2480,745605	2,188367605	3848,822266	0,696471334	4224	0,967557251
	4254,833496	0,986021101	3996,329346	0,7566275	169,0045624	2,150314331	3939,184082	0,766239345	4242,458496	1,033389807
	4271,047852	1,038568616	3730,712646	0,759345949	18,10763168	2,160582542	4059,907471	0,902453005	4226,24707	1,156599283
	4299,154785	1,1267519			24,14350891	2,151220322	4107,835205	1,03111589	4160,035156	1,297323942
	4325,369141	1,218861103			24,14350891	2,150918245	4092,522217	1,172463894	4029,152832	1,483044267
	4339,690918	1,339056015			4020,088379	1,456066132	4020,088379	1,456066132	3826,376709	1,68386364
	4319,154785	1,423011184			3682,062988	1,832088232	3682,062988	1,832088232	3627,21167	1,816434622
	4292,940918	1,570989847			3283,675781	2,091226101	3283,675781	2,091226101	3512,541016	1,859014392
	4231,047852	1,685748935			3193,133057	2,13290596	3193,133057	2,13290596		
	4140,511719	1,837351561			3144,843994	2,151933432	3144,843994	2,151933432		



Formación (mm)	2		3		4		5		6	
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Carga (Kg)	Deformación (mm)
510198	6,0364604	0,001812146	6,036751747	0,01026952	6,0364604	-0,006342602	6,0364604	0,001147745	6,0364604	0,001147745
812238	392,369873	0,109030768	12,07350349	0,015102236	12,0729208	-0,005436516	96,21876144	0,049836293	96,21876144	0,049836293
624475	814,9220581	0,209604859	368,2418518	0,051045563	549,3178711	0,061009791	446,6980591	0,103901125	446,6980591	0,103901125
975109	953,2138062	0,234370857	595,0136414	0,08729092	748,5210571	0,0948337002	941,7333374	0,186659127	941,7333374	0,186659127
742351	1104,672241	0,267291486	837,8222046	0,131087407	1044,307495	0,1090323355	1400,526367	0,202365071	1400,526367	0,202365071
594749	1394,422241	0,33524695	918,5571899	0,148001909	1394,422241	0,136214927	1986,091187	0,255825698	1986,091187	0,255825698
120976	1617,77124	0,392332375	1185,88031	0,219586521	1653,990112	0,152826518	2342,259521	0,29297629	2342,259521	0,29297629
830646	1772,099487	0,424347222	1662,048706	0,36849454	1653,990112	0,156148821	2782,942627	0,379359007	2782,942627	0,379359007
744166	1915,265991	0,455757946	1919,922974	0,474210232	1883,375366	0,166719824	3090,816895	0,418019801	3090,816895	0,418019801
955945	2166,724365	0,51616323	2504,017822	0,695306897	1985,995361	0,176686764	3326,25	0,495643437	3326,25	0,495643437
522968	2436,474609	0,578984797	2847,509277	0,822467744	2245,563232	0,198130801	3543,573486	0,532189906	3543,573486	0,532189906
608184	2665,495605	0,639088035	3067,273193	0,898885131	2529,276855	0,220178902	3712,602051	0,587160766	3712,602051	0,587160766
068961	2760,188232	0,660833895	3241,184326	0,943285644	2631,896484	0,234676287	3688,455078	0,62763375	3688,455078	0,62763375
309165	2979,391357	0,709460199	3489,242676	0,997653723	2770,735107	0,24162294	3935,96167	0,667200625	3935,96167	0,667200625
7994655	3124,084229	0,743891239	3657,904053	1,029368281	2915,610107	0,254308134	3966,145752	0,699820697	3966,145752	0,699820697
749537	3254,995605	0,77832222	3923,52124	1,087965131	2963,9021	0,261858881	4008,403076	0,733950913	4008,403076	0,733950913
344955	3362,922607	0,801276207	4203,704834	1,145957708	3163,10498	0,272127807	3966,145752	0,757509887	3966,145752	0,757509887
524002	3492,125732	0,835707247	4413,652344	1,200627923	3259,688232	0,278772473	4014,439941	0,768081129	4014,439941	0,768081129
327607	3629,073975	0,873158574	4661,946777	1,270097971	3326,0896	0,28541711	4074,807129	0,78831768	4074,807129	0,78831768
021224	3793,584473	0,910911858	4730,685547	1,305720448	3356,271484	0,292363763	4074,807129	0,805533767	4074,807129	0,805533767
420902	3873,766357	0,932657778	4847,271484	1,378814101	3501,146484	0,299612433	4123,101563	0,822447836	4123,101563	0,822447836
987836	3964,860107	0,955611825	4824,648926	1,41868341	3585,743896	0,306259304	4141,211426	0,838153839	4141,211426	0,838153839
950737	4063,698975	0,983700275	4773,856934	1,469728231	3730,622314	0,32105878	4159,321777	0,853859842	4159,321777	0,853859842
799401	4178,209473	1,014506936	4701,234863	1,506577253	3863,427734	0,335556298	4098,95459	0,868055582	4098,95459	0,868055582
219426	4229,917725	1,029306173	4611,966797	1,534364939	4002,27002	0,351261884	4056,697021	0,874700367	4056,697021	0,874700367
431384	4294,975098	1,049239993	4436,905762	1,554299593	4050,5625	0,376934499	4032,550049	0,882855415	4032,550049	0,882855415
675776	4375,339355	1,068871737	4370,502441	1,56154871	4159,22168	0,39656651	4032,550049	0,881043196	4032,550049	0,881043196
512174	4431,740723	1,087295294	4201,477539	1,569703579	4231,660645	0,415896505				
231566	4519,48584	1,101792574			4304,100098	0,440058947				
568191	4564,36084	1,115081668			4358,429199	0,461201131				
094492	4606,615723	1,131391168			4400,685547	0,483551413				
832632	4672,834473	1,145284534			4434,648926	0,506807745				
492802	4702,470215	1,154949307			4461,051758	0,535500705				
304426	4715,089844	1,166728377			4478,795898	0,556340873				
574049	4713,199219	1,177903295			4509,344238	0,578993201				
2220899	4711,126465	1,187568188			4512,758789	0,598323166				
445632	4703,381348	1,197232962			4520,502441	0,607082009				
651167	4703,199219	1,205689788			4514,439941	0,62763375				

