

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN BARRAS DE ACERO CORRUGADO ASTM
A615 GRADO 60 UNIDAS CON CONECTORES MECÁNICOS PARA DIÁMETROS
DE 3/4", 1", 1 3/8"

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR:

Bach. CABRERA SÁNCHEZ, Ricardo Américo

ASESOR

Dr. Ing. MOSQUEIRA MORENO, Miguel Angel

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** RICARDO AMÉRICO CABRERA SÁNCHEZ
DNI: 40246903
Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL
- Asesor:** Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO
Facultad: DE INGENIERÍA
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN BARRAS DE ACERO CORRUGADO ASTM A615 GRADO 60 UNIDAS CON CONECTORES MECÁNICOS PARA DIÁMETROS DE 3/4", 1", 1 3/8"
- Fecha de evaluación:** 16/06/2025
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (ORIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 22%
- Código Documento: Oid:** 3117:467580006
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 16/06/2025



FIRMA DEL ASESOR

Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO
DNI: 26733060



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 16/06/2025 22:20:55-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN BARRAS DE ACERO CORRUGADO ASTM A615 GRADO 60 UNIDAS CON CONECTORES MECÁNICOS PARA DIÁMETROS DE 3/4", 1", 1 3/8".

ASESOR : Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0318-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 20 de junio de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintiséis días del mes de junio de 2025**, siendo las nueve horas treinta minutos (09:30 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A – Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidenta : Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Vocal : Ing. Marcos Mendoza Linares.
Secretario : Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.

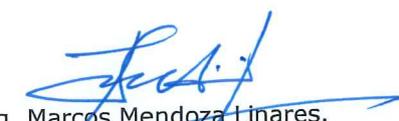
Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN BARRAS DE ACERO CORRUGADO ASTM A615 GRADO 60 UNIDAS CON CONECTORES MECÁNICOS PARA DIÁMETROS DE 3/4", 1", 1 3/8"**, presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil **RICARDO AMÉRICO CABRERA SÁNCHEZ**, asesorado por el Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA :7..... PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA :11..... PTS.
EVALUACIÓN FINAL :18..... PTS Dieciocho (En letras)

En consecuencia, se lo declaraAPROBADO..... con el calificativo de18 (Dieciocho)..... acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las10:30..... horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.


Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Presidenta


Ing. Marcos Mendoza Linares.
Vocal


Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Secretario


Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento infinito

A Dios por la vida, a mis padres Braulio y Juanita, a mi tío Mariano Cabrera, a mis grandes amigos: Hermanos Alva Lescano, L. Rojas, M. Roncal, G. Quinteros, J. Cribillero, G. Chaffo; quienes han permanecido muy firmes al lado mío, apoyándome en todo momento y de forma incondicional hasta esta etapa de mi vida.

Mi agradecimiento especial

al Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno – Asesor de Tesis,

al Dr. Ing. Jorge Elías Alva Hurtado (Ex-Rector de la Universidad Nacional de Ingeniería)

Muchas gracias por su gran apoyo y orientación incondicional en el desarrollo y logros alcanzados en el presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A la Memoria de:

Mis maestros

Ing. Casiano César Mayta Rodas,

Ing. Carlos Alfredo Esparza Díaz,

Ing. Roger Amílcar Becerra Suárez,

Ing. Simón Horna Pereira,

Ing. Tarsicio Valderrama Soriano,

Ing. José María Céspedes Abanto,

Ing. José Lázaro Lezama Leiva.

Prof. Elva del Carpio Merino.

Prof. Carlos E. Sánchez Cachay.

mis abuelitas y tíos

Digna Emérita Villanueva Cáceres.

María Ramos Cachay Chávez.

Elí Uladimiro Cabrera Villanueva.

MSc. Ing. Próspero C. Cabrera Villanueva.

*Ya no están en el plano físico, pero siempre vivirán en el plano espiritual y en mi recuerdo...**Descansen en Paz***

Muchas gracias, por impartirme sus grandes conocimientos en la vida, contribuyendo enormemente a mi formación profesional y humana

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Hipótesis:.....	2
1.4. Justificación de la investigación	2
1.5. Alcances o delimitación de la investigación.....	2
1.6. Objetivos	3
1.6.1. Objetivo General:.....	3
1.6.2. Objetivos Específicos:	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes de la investigación	4
2.1.1. Internacionales	4
2.1.2. Nacionales.....	6
2.1.3. Locales	7
2.2. Bases teóricas:.....	8
2.2.1. Concreto	8
2.2.2. Acero	8
2.2.3. Empalme, conexión o unión	8
2.2.3.1. Tipos de Empalmes.....	8
2.2.4. Conector Mecánico.....	11
2.2.4.1. Tipos de Conectores Mecánicos.....	11
2.2.5. Ensayo de Tracción	13
2.2.6. Esfuerzo de fluencia	14
2.2.7. Resistencia a la tracción de barras de acero ASTM A615 Grado 60, unidas con conectores mecánicos	15
2.2.8. Conector mecánico de tornillo	16
2.2.9. Conector mecánico de presión	16
2.2.10. Criterios técnicos para seleccionar conectores mecánicos	16
2.2.11. Ventajas generales de los conectores mecánicos	18
2.3. Bases legales:.....	21

2.4. Definición de términos básicos:.....	22
2.4.1. Acero de refuerzo	22
2.4.2. Acero ASTM A615 Grado 60	22
2.4.3. Probeta	22
2.4.4. Resistencia a la tracción:.....	22
2.4.5. Conector ZAP SCREWLOK.....	22
2.4.6. Conector BARGRIP XL.....	22
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1. Ubicación geográfica.....	23
3.1.1. Ubicación de la investigación	23
3.2. Duración de la investigación:.....	24
3.3. Metodología.....	25
3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación	25
3.4. Variables	25
3.5. Procedimiento de la investigación	26
3.5.1. Selección y adquisición de los conectores mecánicos a usar	26
3.5.2. Ensamblaje de probetas de acero corrugado empalmadas mediante conectores mecánicos seleccionados y adquiridos:.....	26
3.5.3. Codificación y nomenclatura de probetas:.....	34
3.5.4. Datos técnicos obtenidos en los procesos de ensamblaje y elaboración de probetas: ..	36
3.5.5. Traslado de probetas hacia el laboratorio de ensayo de materiales:.....	41
3.5.6. Preparación de probetas para ensayos de tracción:.....	41
3.5.7. Ensayos de tracción en el Laboratorio de Ensayo de Materiales:	44
3.6. Población de estudio, muestra, unidad de análisis.....	51
3.6.1. Población de estudio	51
3.6.2. Muestra.....	51
3.6.3. Unidad de Análisis	51
3.6.4. Unidad de Observación	51
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos e información:	51
3.8. Técnicas e instrumentos de procesamiento y análisis de datos:.....	52
3.9. Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados:	52
3.9.1. Tratamiento y análisis de datos	52
3.9.2. Presentación de Resultados.....	53
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	67
5.1. Análisis y discusión de resultados obtenidos en el total de probetas ensayadas.....	67
5.1.1. Análisis de los Esfuerzos de Fluencia registrados en el total de probetas	67
5.1.2. Análisis de la Resistencia a Tracción registrados en el total de probetas ensayadas	68
5.1.3. Análisis de ambas variables (fy y RT) en términos generales:	70

5.2. Análisis del grupo de probetas de acero ensambladas mediante conectores mecánicos de presión BARGRIP XL Tipo 2	71
5.2.1. Análisis de los Esfuerzos de Fluencia en este grupo de probetas.....	71
5.2.2. Análisis de la Resistencia a la Tracción en este grupo de probetas	72
5.2.3. Análisis de ambas variables (fy y RT) para este grupo de probetas:.....	73
5.3. Análisis del grupo de probetas de acero ensambladas mediante conectores mecánicos de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2	73
5.3.1. Esfuerzos de Fluencia registrados en este grupo de probetas	73
5.3.2. Análisis de Resistencia a la Tracción en este grupo de probetas.....	74
5.4. Determinación y análisis de los tipos de falla presentadas en las probetas ensayadas.....	76
5.4.1. Tipos de fallas presentadas en el total de probetas ensayadas	76
5.4.2. Tipos de falla presentados en el grupo de probetas unidas con conectores de presión BARGRIP XL Tipo 2	79
5.4.3. Tipos de falla presentadas en el grupo de probetas empalmadas con Conectores de Tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2	80
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
5.5. Conclusiones.....	81
5.6. Recomendaciones.....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Valor del Esfuerzo Último por tipos de empalme	20
Tabla 2	Datos generales de la ubicación de la investigación	23
Tabla 3	Datos de ubicación del Laboratorio de Ensayo de Materiales	24
Tabla 4	Tolerancias dimensionales y número de mordidas para Conectores de Presión BARGRIP XL	32
Tabla 5	Codificación, nomenclatura y clasificación de probetas de acero con Conectores de Presión Tipo 2	35
Tabla 6	Codificación, nomenclatura y clasificación de probetas de acero con Conectores de Tornillo Tipo 2	35
Tabla 7	Datos técnicos de las barras corrugadas utilizadas en el proceso de ensamblaje para Conectores de Presión BARGRIP XL Tipo 2	36
Tabla 8	Datos técnicos registrados Antes del proceso de prensado en las probetas unidas con conectores BARGRIP XL Tipo 2	37
Tabla 9	Datos técnicos obtenidos en taller después del Proceso de Prensado de los Conectores de Presión BARGRIP XL Tipo 2, utilizados en el ensamblaje de probetas	38
Tabla 10	Datos técnicos obtenidos en el proceso de verificación y control de calidad de los conectores ZAP SCREWLOK SL Tipo 2, Antes del ensamblaje de las probetas	39
Tabla 11	Datos técnicos Después del proceso de ensamblaje de probetas con conectores ZAP SCREWLOK SL Tipo 2	40
Tabla 12	Dimensiones de las probetas de acero según la norma ASTM A 370-17	43
Tabla 13	Dimensiones de las probetas de acero con Conectores de Tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2 preparadas en el laboratorio para los ensayos de tracción ..	43
Tabla 14	Dimensiones de las probetas de acero con Conectores de Presión BARGRIP XL Tipo 2 preparadas en el laboratorio para los ensayos de tracción	44
Tabla 15	Propiedades mecánicas de los Aceros NTP 341.031 G60 ó ASTM A615/A615M G60	48
Tabla 16	Probetas ensayadas en la Máquina Universal MUNV-2 – TOKYOKOKISEIZOSHO...	50
Tabla 17	Probetas ensayadas en la Máquina Universal MUNV-3 – ZWICK ROELL SP1000 ...	50
Tabla 18	Esfuerzos de fluencia registrados en los ensayos de laboratorio para probetas de acero corrugado unidas con conectores de presión BARGRIP XL Tipo2	53
Tabla 19	Esfuerzos de fluencia obtenidos en los ensayos de laboratorio para probetas de acero corrugado unidas con conectores mecánicos de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2	53
Tabla 20	Resistencia a la tracción registrada en los ensayos de laboratorio para probetas de acero corrugado empalmadas con conectores mecánicos de presión BARGRIP XL Tipo 2	54
Tabla 21	Resistencia a la tracción obtenida en los ensayos de laboratorio para probetas de acero corrugado empalmadas con conectores mecánicos de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2	54
Tabla 22	Valor máximo y mínimo del esfuerzo de fluencia obtenidos en el laboratorio, para el total de probetas ensayadas	56

Tabla 23	Valor máximo y mínimo de la resistencia a la tracción alcanzados en los ensayos de tracción para el total de probetas	58
Tabla 24	Valores promedio de la resistencia a la tracción registrados en los ensayos de laboratorio, para probetas de acero corrugado unidas con conectores mecánicos tipo 2	59
Tabla 25	Tipos de Falla presentados en las probetas empalmadas con Conectores de Presión BARGRIP XL Tipo 2	65
Tabla 26	Valores de Deslizamiento registrado en las probetas ensayadas y empalmadas con Conectores de Tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Tipos de Empalmes	9
Figura 2	Curva Típica Esfuerzo-Deformación para el acero	15
Figura 3	Detalle de los empalmes en barras corrugadas unidas mediante conectores mecánicos BPI	17
Figura 4	Detalle de secciones reducidas en las barras corrugadas unidas con otros tipos de conectores mecánicos	17
Figura 5	Comparativa de curvas Esfuerzo-Deformación típicas de barras ensayadas para los tres tipos de empalmes	18
Figura 6	Ubicación del taller donde se elaboró las probetas para la investigación	23
Figura 7	Ubicación del laboratorio donde se realizó los ensayos de la investigación	24
Figura 8	Equipos de prensado portátiles BarSplice Products, Inc - BPI.	29
Figura 9	Dimensiones y características de los conectores de presión BARGRIP XL – Modelo de prensa según los diámetros de las barras	30
Figura 10	Características técnicas de los conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2, utilizados en la tesis	33
Figura 11	Esquema general de una probeta de barra corrugada para ensayo de tracción, según la norma ASTM A 370-17	42
Figura 12	Esfuerzo de fluencia obtenido en el total de probetas ensayadas	55
Figura 13	Resistencia a la tracción obtenida en el laboratorio para el total de probetas ensayadas	57
Figura 14	Porcentaje de probetas ensayadas que alcanzaron la resistencia a la tracción	59
Figura 15	Valores del esfuerzo de fluencia obtenidos en probetas ensayadas y ensambladas con conectores de presión BARGRIP XL Tipo 2	60
Figura 16	Valores de la resistencia a la tracción obtenidos en probetas ensayadas y ensambladas mediante conectores de presión BARGRIP XL Tipo 2	61
Figura 17	Valores del esfuerzo de fluencia obtenido en probetas ensayadas y ensambladas con conectores de tornillo – ZAP SCREWLOK SL Tipo 2	62
Figura 18	Valores de la resistencia a la tracción obtenidos en las probetas ensayadas y ensambladas con conectores de tornillo – ZAP SCREWLOK SL Tipo 2	63
Figura 19	Porcentaje de probetas ensayadas que alcanzaron la resistencia a la tracción (Probetas ensambladas con conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2)	63
Figura 20	Porcentajes, número y códigos de probetas clasificadas por tipos de falla identificados en el total de probetas ensayadas y ensambladas con conectores mecánicos tipo 2	64
Figura 21	Porcentajes por tipos de fallas presentadas en el grupo de probetas ensambladas con conectores de presión BARGRIP XL Tipo 2	65

RESUMEN

La investigación determinó experimentalmente la resistencia a la tracción de barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60, de diámetros 3/4" (#6), 1" (#8) y 1 3/8" (#11), unidas mediante conectores mecánicos tipo 2: BARGRIP XL (conectores de presión) y ZAP SCREWLOK (conectores de tornillo). Se ensayaron 18 probetas divididas en dos grupos equivalentes según el tipo de conector utilizado. Las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales N.º 1 "Ing. Manuel Gonzáles de la Cotera" de la Facultad de Ingeniería Civil – UNI. Los resultados mostraron que las probetas empalmadas con conectores BARGRIP XL alcanzaron una resistencia máxima de 7770 Kgf/cm², equivalente al 185% del esfuerzo de fluencia (f_y), mientras que las probetas con conectores ZAP SCREWLOK registraron un valor máximo de 7281 Kgf/cm², correspondiente al 173% de f_y , superando ampliamente el umbral mínimo del 150% f_y exigido por la norma ACI 318-19(22) y la Norma Técnica Peruana E.060 para empalmes con conectores tipo 2. Estos resultados evidencian que ambos tipos de conectores mecánicos garantizan una transferencia eficiente de esfuerzos en uniones de barras de refuerzo, constituyendo una solución técnica viable, segura y normativa para estructuras de concreto armado, especialmente en contextos con altas exigencias sísmicas y estructurales.

Palabras clave: Resistencia a la tracción, conector mecánico de Presión BARGRIP XL, Conector de Tornillo ZAP SCREWLOK, acero ASTM A615 Grado 60, estructuras de concreto armado.

ABSTRACT

The research experimentally determined the tensile strength of ASTM A615 Grade 60 corrugated steel bars, with diameters of 3/4" (#6), 1" (#8) and 1 3/8" (#11), joined by type 2 mechanical connectors: BARGRIP XL (pressure connectors) and ZAP SCREWLOK (screw connectors). 18 specimens were tested, divided into two equivalent groups according to the type of connector used. The tests were carried out at the Materials Testing Laboratory No. 1 "Ing. Manuel Gonzáles de la Coterá" mechanical connectors from the Faculty of Civil Engineering – UNI. The results showed that the specimens spliced with BARGRIP XL connectors reached a maximum strength of 7770 kgf/cm², equivalent to 185% of the yield strength (f_y), while the specimens with ZAP SCREWLOK connectors recorded a maximum value of 7281 kgf/cm², corresponding to 173% of f_y , far exceeding the minimum threshold of 150% f_y required by ACI 318-19(22) and Peruvian Technical Standard E.060 for splices with type 2 connectors. These results demonstrate that both types of mechanical connectors guarantee efficient stress transfer in reinforcing bar joints, constituting a viable, safe, and regulatory technical solution for reinforced concrete structures, especially in contexts with high seismic and structural demands.

Keywords: Tensile strength, mechanical connector, Pressure BARGRIP XL, ZAP SCREWLOK Screw Connector, ASTM A615 Grade 60 steel, reinforced concrete structures.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En el diseño y construcción de estructuras de concreto armado, los empalmes de barras de refuerzo desempeñan un papel crítico en la resistencia a la tracción, la integridad estructural y la capacidad de respuesta ante cargas sísmicas, de viento, sobrecargas o explosiones (ACI 439.3R-07). Dado que el concreto posee una resistencia a la tracción limitada entre el 8% y el 10% de su resistencia a compresión, es indispensable la incorporación de acero de refuerzo para superar esta limitación (Harmsen, 2017).

Una de las principales limitaciones del uso de barras corrugadas en obra es su longitud comercial, que obliga a realizar empalmes para cumplir con las exigencias estructurales. En el caso de barras de diámetros superiores a 3/4", las longitudes mínimas de traslape superan los 1.80 m, lo que genera pérdidas por merma y posibles zonas de falla por una inadecuada transmisión de esfuerzos. (Harmsen, 2017).

Los métodos tradicionales de empalme —por traslape o por soldadura— presentan serias limitaciones. En los empalmes por traslape simple, la transferencia de fuerza entre las barras, depende del concreto circundante; es decir, que, si no hay concreto que rodee las barras no habrá transmisión de esfuerzos y por lo tanto no hay conexión. (Castillo, 2017). Por su parte, las uniones soldadas requieren condiciones especiales de ejecución, personal calificado y pueden comprometer las propiedades físico-químicas del acero, afectando negativamente su ductilidad y desempeño estructural (Castillo, 2017).

Adicionalmente, ambos métodos incrementan la congestión de acero en las zonas de empalme, reduciendo los espaciamientos y dificultando la colocación adecuada del concreto, lo que puede dar lugar a defectos en el concreto con exposición de la armadura de refuerzo como oquedades, segregación de áridos, "cangrejeras", etc.; y propiciar procesos acelerados de oxidación o corrosión (Castillo, 2017).

Ante estas limitaciones, los conectores mecánicos han emergido como una solución técnica viable para unir barras de refuerzo, al permitir una transferencia directa de esfuerzos sin depender del concreto ni alterar las propiedades del acero. No obstante, su efectividad real debe ser verificada experimentalmente para asegurar que cumplan con los criterios normativos establecidos en el ACI 318-19(22) y la Norma Técnica Peruana E.060, que exigen una resistencia mínima a la tracción del 150% del esfuerzo de fluencia (f_y).

En este contexto, se hace necesario investigar la resistencia a la tracción de barras de acero ASTM A615 Grado 60 unidas mediante conectores mecánicos para los diámetros 3/4", 1" y 1 3/8". Tal investigación no solo aportará evidencia empírica sobre el desempeño

estructural de estos empalmes, sino que también contribuirá al desarrollo de soluciones constructivas más eficientes, seguras y alineadas con las exigencias de diseño para las estructuras de concreto armado.

1.2. Formulación del problema

¿En cuánto varía la resistencia a la tracción de las barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 para los diámetros: 3/4", 1" y 1 3/8" unidas mediante los conectores mecánicos: BARGRIP XL–Conector de Presión y ZAP SCREWLOK–Conector de Tornillo?

1.3. Hipótesis:

La resistencia a la tracción de las barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60; unidas con conectores mecánicos para diámetros de 3/4", 1" y 1 3/8", es más del 150% del esfuerzo de fluencia correspondiente a este tipo de barras.

1.4. Justificación de la investigación

El uso de conectores mecánicos para unir barras de acero corrugado, es una alternativa técnica viable, ya que resulta indispensable asegurar la resistencia a la tracción del acero de refuerzo en las zonas de empalme, y garantizar la durabilidad de las estructuras de concreto armado frente a diversas solicitaciones de carga.

Estos elementos de unión, permiten obtener mayores longitudes en las barras, un mejor alineamiento axial y reducen problemas de congestión en las zonas de empalme, asegurando un adecuado espaciamiento y colocación del concreto.

En este contexto, la presente investigación se centró en determinar la resistencia a la tracción en barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60; unidas con conectores mecánicos para diámetros de 3/4", 1" y 1 3/8". Los hallazgos de esta investigación aportan información técnica de gran utilidad para los ingenieros que diseñan y construyen estructuras de concreto armado. Estos conectores, permiten la transferencia directa de esfuerzos entre las barras, sin depender del concreto; mejorando la seguridad y rendimiento en las zonas de empalme del acero de refuerzo.

Los conectores mecánicos, no necesitan de trabajos previos en las barras, ni personal calificado y no alteran las propiedades de las barras, como suele suceder en las uniones soldadas. De allí, la importancia de su uso en el diseño, procesos constructivos y en la toma de decisiones, para optimizar el desempeño y la vida útil de las estructuras de concreto armado.

1.5. Alcances o delimitación de la investigación

La presente investigación se desarrolló en la ciudad de Lima, específicamente en los distritos de San Borja y Rímac durante el periodo comprendido entre los meses de junio y

agosto de 2019. El estudio, se centró en evaluar la variación de la resistencia a la tracción en un total de 18 probetas de barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 en diámetros de 3/4", 1" y 1 3/8" unidas con conectores mecánicos.

Para el ensamblaje de probetas, se utilizó conectores de Presión BARGRIP XL y de Tornillo ZAP SCREWLOK que corresponden a conectores continuidad Tipo 2 de la marca Bar Splice Products, Inc. (USA). Estos conectores fueron adquiridos a través del distribuidor autorizado en el Perú, CDV Ingeniería Antisísmica SAC, cuya sede se encuentra en la Av. Javier Prado Este 3349, distrito de San Borja, Lima.

Los ensayos de tracción fueron ejecutados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales N.º 1 "Ing. Manuel Gonzáles de la Cotera" de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), ubicado en la Av. Túpac Amaru 210, distrito del Rímac, Lima.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General:

Determinar, la resistencia a la tracción en barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas con conectores mecánicos; para diámetros de 3/4", 1" y 1 3/8".

1.6.2. Objetivos Específicos:

- Determinar, la resistencia a la tracción en barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 de diámetros 3/4", 1" y 1 3/8"; unidas con conectores mecánicos de presión BARGRIP XL Tipo 2.
- Determinar, la resistencia a la tracción en probetas de acero corrugado ASTM A615 Grado 60, empalmadas mediante conectores mecánicos de una sola fila de tronillos ZAP SCREWLOK Tipo 2; para los diámetros de barras 3/4", 1" y 1 3/8".
- Conocer la eficiencia físico-mecánica de este tipo de empalmes y los valores máximos y mínimos de la Resistencia a la Tracción y Esfuerzo de Fluencia en las probetas ensayadas.
- Precisar los tipos de falla que se presenten durante el desarrollo de los ensayos de tracción, así como calcular los valores de deslizamiento respectivos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

Guerrero, M. (2012); en trabajo de investigación denominado: **Conectores de Tercera Generación**, donde presenta la evolución de los conectores para varillas de refuerzo para estructuras de concreto reforzado, su fabricación, las mejoras técnicas hechas y los resultados de pruebas obtenidos en los laboratorios del Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM). En este estudio, señala que el uso de conectores mecánicos en las barras de refuerzo, especialmente en estructuras sismorresistentes presenta grandes ventajas económicas, prácticas y, principalmente, de seguridad, sobre las uniones soldadas.

Con ello concluye, indicando que los resultados obtenidos en los ensayos de tracción, demuestran que los sistemas barra-conector-barra de tercera generación son capaces de alcanzar el esfuerzo de ruptura de una varilla sola, que no podrá ser igualado por otro tipo de conector o empalme; por lo que garantiza la continuidad física y mecánica de las estructuras que requieran ser sismorresistentes en cualquier posición o ubicación.

Mendoza, C.; Aire, C.; Villegas, J.; Hernández, D. y López, J. (2012); en su investigación Conectores Roscados de Barras de Refuerzo (Tercera Generación), pudieron evaluar el desempeño de un tipo de conector de barras de refuerzo con rosca.

La muestra estaba formada por seis barras de 2.54 cm de diámetro, de aproximadamente 120cm de longitud; dos de las cuales eran barras sin conector y las otras cuatro estaban formadas por dos tramos de barras unidas con el nuevo tipo de conector que se quiso ensayar. Se evaluaron conectores Tipo 1 de Primera, segunda y tercera generación, concluyéndose en:

Los conectores roscados de tercera generación evaluados, tienen muchas posibilidades de calificar inclusive como conectores tipo 2; ya que cumplen con los requisitos que se establecen en las normas técnicas para diseño y construcción de estructuras de concreto, RCDF de México.

Alvis, D. y Guerra, J. (2017); en Colombia, elaboraron la tesis titulada: Análisis técnico, económico y constructivo del uso de empalmes mecánicos roscados en edificaciones; donde además se plantearon la siguiente interrogante: ¿Cumplen los empalmes mecánicos roscados comerciales en Colombia con los criterios y requisitos técnicos mínimos descritos en la NSR-10 y es conveniente su uso en edificaciones?

Para la realización de esta tesis, utilizaron la metodología de investigación del tipo teórico-práctica con tres variables: resistencia mecánica, estudio de costos y estudio de funcionalidad; llegando a concluir en lo siguiente:

- Desde el punto de vista del comportamiento mecánico de los empalmes unidos con conectores roscados, los resultados son satisfactorios; es decir, los ensayos demuestran que es confiable la utilización de este sistema en la construcción de obras.
- El costo del uso de empalmes mecánicos teniendo en cuenta los valores directamente relacionados con el sistema, muestran la conveniencia de utilizarlos en los diámetros mayores #8 y #10, pero el beneficio debe ser estudiado con los valores indirectos que pueden representar grandes ahorros en los diámetros menores como tiempo, mano de obra y consumibles no medidos.
- Los procesos constructivos deben tener en cuenta en gran medida el beneficio de la propia estructura y buscar las estrategias necesarias para el cumplimiento de todas las normas aplicables; los empalmes mecánicos, claramente muestran que es más fácil construir y proteger el refuerzo del concreto si se utilizan en cualquier etapa de desarrollo del proyecto.

Los empalmes mecánicos son más beneficiosos para las estructuras en comparación con los empalmes por traslape, ya sean ejecutados de manera tradicional o bajo los parámetros que indica la norma NSR-10.

Como resultado general del estudio de la aplicabilidad de nuevos elementos en la construcción de estructuras de concreto armado, bajo análisis técnicos en laboratorio, económicos y funcionales permiten sugerir el uso de empalmes mecánicos roscados en la construcción de edificios.

Dahal, P; Tazarv, M. y Wehbe, N. (2019), en su tesis: Empalmes mecánicos de barras para la construcción acelerada de las columnas de un puente, señalan que: En comparación con el empalme por traslape convencional, el empalme mecánico es un método alternativo para conectar barras en estructuras de hormigón armado (RC), y se utiliza principalmente para reducir la congestión de barras en las juntas. Los empalmes de barras mecánicos, se han utilizado en laboratorios como un nuevo tipo de conexión de columnas prefabricadas para acelerar la construcción de puentes.

El objetivo principal del presente estudio, fue establecer el comportamiento de empalmes mecánicos de barras adecuados para columnas de puentes a través de experimentos y estudios analíticos. Se realizaron estudios analíticos para (1) generar la primera base de datos experimental de su tipo de la barra rendimiento del acoplador, (2)

cuantificar la relación tensión-deformación del acoplador y (3) cuantificar la resistencia sísmica y el rendimiento de columnas de puentes empalmadas mecánicamente.

Se seleccionaron nueve productos de acopladores diferentes, para realizar pruebas y se seleccionaron más de 160. Los empalmes de barras mecánicas se probaron hasta que fallaron bajo cargas monótonas y cíclicas, considerando tres tamaños de barras: N°5 (16 mm), N°8 (25 mm) y N°10 (32 mm). Concluyeron en:

- Los datos de la prueba indicaron que la longitud, el tamaño y el tipo del acoplador influyen en el rendimiento del conector. En general, los acopladores más largos mostraron menos capacidad de deformación que los más cortos. Los acopladores con factores de longitud rígidos altos tuvieron las más bajas capacidades de deformación.
- Se comprobó que los criterios de aceptación y el modelo tensión-deformación propuestos por Tazarv y Saiidi (2016) son útiles para elegir acopladores para columnas de puentes, denominados como acopladores sísmicos.
- Las pruebas monótonas fueron suficientes para conocer el comportamiento del acoplador usando solo el "factor de longitud rígida del acoplador". No hubo cambios importantes bajo diferentes cargas, pero la carga cíclica es esencial para probar el rendimiento bajo acciones sísmicas simuladas.
- El estudio paramétrico mostró que el tamaño, el tipo y la longitud de los acopladores afectan la ductilidad de las columnas de puentes, donde los más largos pueden reducirla en un 43%. Además, el estudio analítico evidenció que la capacidad de carga lateral de las columnas empalmadas mecánicamente es un poco mayor (hasta un 10%) que la de las columnas de concreto armado convencionales.

2.1.2. Nacionales

Migone, J. (2018) en su investigación hecha en Lima y titulada: Evaluación de los empalmes mecánicos y sus esfuerzos de tensión en muestras de probetas de acero; logró evaluar los esfuerzos de tensión en probetas de barras de acero de 1" de diámetro con el uso de empalmes mecánicos. La muestra de la investigación está conformada por 9 especímenes siendo 3 para cada tipo de conector mecánico empleando un solo diámetro de 1". Migone en su tesis, concluyó en:

- Los esfuerzos de tensión desarrollados en las probetas de barras de acero de 1" de diámetro con el uso de empalmes mecánicos alcanzaron valores de tensión máximo mayores al $1.5 f_y$ tal como lo indica la norma ACI-318, e iniciado la fluencia en puntos mayores al de una barra sin conector que es igual a 4200 Kg/cm^2 .

- Se alcanzó determinar el esfuerzo de tensión en probetas de barras de acero de 1" de diámetro con conector de presión tipo 2, obteniendo un esfuerzo último promedio de 1.77fy, lo que es superior al límite de 1.5 fy del ACI. El esfuerzo de rotura fue igual a 1.5 fy, lo que indica que es el empalme más efectivo para eventos sísmicos y resulta más económico que otros conectores.
- También se analizó el esfuerzo de tensión con conector de presión con rosca tipo 2, logrando un esfuerzo último de 1.76fy y un esfuerzo de rotura de 1.6fy, mostrando un buen rendimiento ante cargas altas.
- Finalmente, se estimó el esfuerzo de tensión en probetas de acero de 1" de diámetro con conector de tornillo, que cumple con el mínimo requerido de 1.5 fy, aunque las fallas se deben al deslizamiento de los tornillos del conector.

2.1.3. Locales

Díaz, C. (2014); investigó la soldabilidad del Acero Corrugado ASTM A 615 Grado 60 en relación con el Acero Corrugado ASTM A 706 Grado 60. En esta tesis, se ensayaron a tensión a la falla en una máquina universal un total de 50 muestras de diámetros de 1/2" (# 4), 5/8" (# 5) y 3/4" (#6) y se consideraron variables como tipo de acero, electrodos y discontinuidades en la soldadura. La soldadura se realizó sin precalentamiento ni otros tratamientos. En esta investigación, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Las deformaciones máximas alcanzadas en soldaduras realizadas con el electrodo E7018, tuvo mejores resultados para ambos tipos de acero. Sin embargo, el acero de la norma ASTM A 706, llega a deformaciones máximas del 0.05 a 0.06, el cual presenta mayores valores que el acero ASTM A 615 que alcanza valores máximos de deformación del 0.03 a 0.04.
- Los valores obtenidos de la relación F_{su}/F_y en soldaduras, en donde se utilizó electrodos E6011 para barra de la norma ASTM A 615 y ASTM A 706, alcanzaron valores por debajo del mínimo 1.25 recomendado por la norma AWS D1.4-05.
- Las barras de refuerzo de 5/8" soldadas con el electrodo E7018 de la norma ASTM A 615, alcanzaron mayores valores de la relación F_{su}/F_y , es decir que alcanzaron el valor mínimo de 1.25 recomendado por la norma AWS. Sin embargo, las barras de 1/2" y 3/4" no llegaron al valor mínimo recomendado.

2.2. Bases teóricas:

2.2.1. Concreto

Es una mezcla de cemento Pórtland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos. Conjuntamente con el acero de refuerzo, forman las estructuras de concreto armado, en las diferentes obras de ingeniería (ACI 318-19(22), Norma peruana E.060 – Concreto Armado)

2.2.2. Acero

Es uno de los materiales más importantes para la construcción. El acero es una aleación de hierro (Fe) y Carbono (C); en un 2% de contenido de carbono; y según el tratamiento aplicado adquiere diferente dureza, elasticidad, maleabilidad, ductilidad o resistencia. El acero puede tener más aleaciones como el molibdeno, azufre, vanadio, fósforo, manganeso, silicio, etc.; por ello, los aceros pueden ser de carbono, estructurales, inoxidable, ferríticos, austeníticos y de aleación. (Harmsen, 2017)

2.2.3. Empalme, conexión o unión

Cuando instalamos las armaduras de acero en una obra, debido a diferentes razones constructivas o estructurales, existe la necesidad de unir diferentes segmentos de varillas de construcción, a estas uniones se les denomina empalmes (Harmsen, 2017).

Se puede definir como empalme de barras de acero corrugado, al tramo y longitud mínima requerida para la unión de dos o más barras de acero de refuerzo a fin de lograr la continuidad de estos elementos de refuerzo necesarios para absorber y soportar las solicitaciones de tensión, sísmicas, de flexo-compresión, entre otras solicitaciones importantes dentro de las estructuras de concreto armado (Castillo, 2019)

Es importante señalar que, sólo se permite empalmes en zonas de mínimo esfuerzo, nunca en zonas de máximo esfuerzo, ni en aquellas donde pueden producirse articulaciones plásticas (o sea, donde hay momentos máximos de flexión); ni a distancias menores a $2d$ de la cara de los apoyos; siendo "d" el peralte de las vigas. (Harmsen, 2017)

2.2.3.1. Tipos de Empalmes

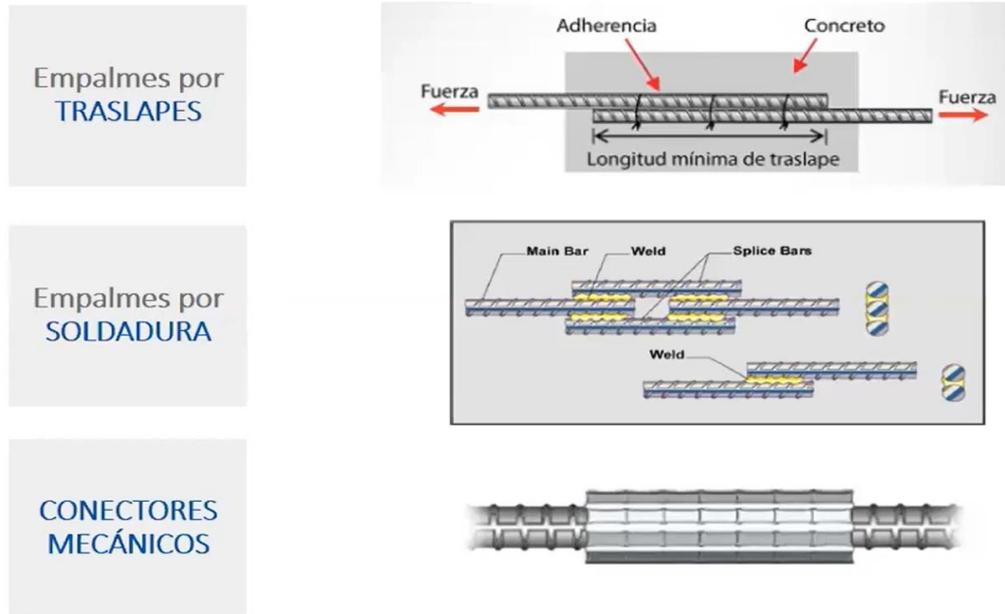
Los empalmes de armaduras para concreto, pueden ser de 3 clases:

- Empalmes por traslape simple o empalmes traslapados.
- Empalmes por Soldadura, y
- Empalmes Mecánicos.

(Harmsen, 2017)

Figura 1:

Tipos de empalmes



- **Empalmes por traslape simple.**

En los empalmes traslapados, la fuerza de una barra se transfiere al concreto que la rodea por adherencia; y simultáneamente, por el mismo efecto, a la otra barra. La eficiencia de estos empalmes depende del desarrollo de la adherencia a lo largo de la superficie de las varillas, y de la capacidad del concreto para transferir los elevados esfuerzos cortantes que se generan (Harmsen, 2017)

En un empalme por traslape simple convencional y tradicional entre dos barras de acero corrugado; el funcionamiento de este tipo de empalme, se entiende como el proceso de transferencia de fuerzas o esfuerzos de una varilla al concreto circundante y luego se transfiere a la segunda varilla (Castillo, 2019)

De estos conceptos, se puede plantear la siguiente interrogante: **¿Un empalme por traslape es una conexión real?** Según estudios experimentales, normas y demás documentos técnicos de ingeniería civil, permiten afirmar que:

- a) Si no hay concreto que rodee las barras, no habrá transmisión de esfuerzos y por lo tanto no hay conexión.
- b) Que el concreto sea quien transfiera la carga, y un traslape introduce tensiones adicionales en el concreto circundante a la zona de empalme.
- c) Los alambres de unión sólo se utilizan para mantener las barras en su posición antes y durante el vaciado, ellos no transfieren ninguna carga.

- **Empalmes soldados**

Este tipo de empalmes, sólo pueden usarse si las barras son de acero ASTM A706 (acero soldable de baja aleación que ha recibido un tratamiento térmico controlado, dentro de su proceso de laminación). En determinados casos, se podrían usar barras convencionales, si se cumplen con algunos requisitos especiales. Teodoro Harmsen, en su libro Diseño de Estructuras de Concreto Armado, señala: en general todos los aceros son soldables si se emplea el electrodo y soldadura adecuada (Harmsen, 2017)

Además, señala que no se debe recalentar el acero para evitar que el refuerzo pierda sus propiedades físico, químicas y mecánicas. Harmsen refiere también, que es conveniente realizar el análisis de la composición química del refuerzo para determinar el tipo de soldadura de forma acertada técnicamente, cuando se utilicen aceros corrugados diferentes a los fabricados bajo la norma ASTM A706/706M-22a.

- **Empalmes Mecánicos**

En el mercado, existen diversos dispositivos patentados para realizar estos empalmes mecánicos, como manguitos que se presionan mecánicamente a las varillas, dispositivos con rosca en la varilla, manguitos que se aseguran o presionan con tornillos, etc. Estas piezas metálicas permiten conectar una varilla con otra. Actualmente, son muy usados y son más seguros; que los empalmes soldados y los empalmes por traslape tradicionales (Harmsen, 2017)

Por otro lado, el Ing. Fernando Castillo, señala que los empalmes mecánicos en las barras de acero corrugado, no dependen del concreto circundante para transferir la fuerza entre ellas, las fallas por división no son una preocupación y la resistencia del empalme no es sensible a la resistencia a la compresión del concreto o la cantidad de cobertura (Castillo, 2019)

Tipos de empalmes mecánicos:

Desde el punto de vista antisísmico y desempeño estructural, tanto la norma peruana E.060-Concreto Armado, como el ACI 318-19(22); establecen dos tipos de empalmes con conectores mecánicos:

- **Empalme Mecánico Tipo 1:** El cual que deberá desarrollar por lo menos el 125% del esfuerzo de fluencia (f_y) del acero perteneciente a las barras corrugadas ASTM A615 Grado 60. Este requisito técnico establecido para este tipo de conector mecánico, se traduce en que este tipo de empalme, deberá lograr una resistencia a la tracción equivalente a 5250 Kg/cm².

- **Empalme Mecánico Tipo 2:** Este tipo de empalme, deberá desarrollar toda la ductilidad del elemento, lo cual se traduce en por lo menos un esfuerzo a la tracción o tensión igual al 150% del esfuerzo de fluencia (f_y). Este valor de esfuerzo es equivalente al esfuerzo último (f_u) de las barras corrugadas ASTM A615 Grado 60; es decir, que este tipo de empalme con conectores tipo 2 deberán desarrollar y alcanzar al menos una resistencia a la tracción mayor o igual a 6320 Kg/cm^2 ó 63.2 Kg/mm^2 .

2.2.4. Conector Mecánico

Son piezas metálicas que conectan una varilla con la otra. Actualmente son muy usados y son más seguros que los empalmes soldados. En el mercado existen diversos dispositivos patentados para estos empalmes mecánicos, como manguitos que se presionan mecánicamente a las varillas, dispositivos con rosca en la varilla, manguitos que se presionan con tornillos, etc. (Harmsen, 2017).

Los conectores mecánicos, son conexiones mecánicas instaladas en las varillas de refuerzo dispuestas en los elementos de concreto armado, con el propósito de dar continuidad, alineamiento axial y mantenerlas en la posición deseada; además, de brindar la Integridad Estructural requerida en las estructuras de concreto armado (Castillo, 2019)

2.2.4.1. Tipos de Conectores Mecánicos

Existen diferentes aspectos y requerimientos técnicos establecidos en el diseño y las normas vigentes, para clasificarlos; tal como su desempeño o comportamiento estructural, su funcionalidad, por su ubicación dentro de las estructuras de concreto armado, por sus características y ventajas técnicas que ofrecen ante condiciones y necesidades en obra, etc.

En esta tesis, los conectores mecánicos se han agrupado teniendo en cuenta dos aspectos importantes y referentes a:

A) Por su desempeño estructural:

La norma peruana E.060-concreto Armado, como el ACI 318-19(22); establecen dos tipos de empalmes con conectores mecánicos:

- Empalme Mecánico Tipo 1.
- Empalme Mecánico Tipo 2.

B) Por su funcionalidad y ubicación dentro de las estructuras:

De acuerdo a la información técnica brindada tanto por el fabricante BarSplice Products, Inc. (BPI-USA) de los conectores mecánicos que se utilizaron en el desarrollo de

esta tesis, como por la empresa CDV Ingeniería Antisísmica SAC representante en el Perú esta marca; se clasificó y agrupó a los conectores teniendo en cuenta su funcionalidad y la ubicación en las estructuras de concreto armado;

- Conectores de Continuidad.
- Conectores de Terminales o de Cabeza.
- Conectores de Transición.
- Conectores Estructurales.

En el ámbito comercial, para cada uno de estos conectores mecánicos enumerados; existen del tipo 1 y tipo 2, que es una identificación para su uso y localización dentro de las estructuras de concreto armado.

Los conectores tipo 1, no deberán ser utilizados en zonas de máximo esfuerzo, es decir no deben usarse e instalarse en zonas de confinamiento (Ítem 21.3.4.2 – Norma peruana E.060) y esta ubicación e instalación deberá considerarse de forma alternada. Por otro lado, tanto el (ACI 318-19(22) y la norma peruana E.060); establecen que los empalmes realizados con conectores mecánicos tipo 2 no tienen ninguna restricción, es decir, se pueden usar en cualquier localización de las estructuras de concreto armado.

- **Conectores de Continuidad**

Como su nombre mismo lo indica permiten y brindan la continuidad de los elementos que conforman el acero de refuerzo y continuar con las demás etapas de construcción en las estructuras de concreto armado; es decir, brindan continuidad a los elementos estructurales a la vez que reemplazan a los empalmes por traslape simple inclusive ejecutando los empalmes en una misma sección o zona de empalme (Castillo, 2019).

- **Conectores de Terminales o de Cabeza**

Son conectores que reemplazan a los ganchos de las barras corrugadas, que se diseñan para brindar y garantizar la longitud de anclaje necesaria en la armadura de refuerzo de los elementos estructurales como: Vigas, columnas, losas, etc. El refuerzo del anclaje o ganchos se diseñan y detallan específicamente con el propósito de transferir cargas desde el anclaje al miembro o elemento estructural, así mismo lograr el monolitismo y empotramiento adecuado de las estructuras de concreto armado (Castillo, 2019)

Longitud de Anclaje: Es la longitud mínima requerida que permite que el acero no se arranque, se desprenda o separe del elemento estructural al cual ha sido unido o empotrado, facilitando de este modo la transferencia de cargas. (Mendo, 2024).

Una definición muy ajustada de la Longitud de Anclaje, sería la longitud mínima requerida que necesitan las barras que conforman el acero de refuerzo; para que logren y garanticen el correcto empotramiento y monolitismo entre los elementos que conforman los sistemas estructurales (Castillo, 2019)

- **Conectores mecánicos de Transición**

Estos acopladores o conectores mecánicos, permiten empalmar barras de acero corrugado con diámetros, tamaños y configuraciones o formas diferentes; es decir, facilitan o permiten realizar cambios de diámetros en el acero de refuerzo de las estructuras de concreto armado e incluso permiten cambios de barras con secciones diferentes tanto en diámetro como en su geometría. Así, por ejemplo, los conectores de transición permiten el cambio de diámetro de 1 3/8" a 1", de 1" a 3/4", de 3/4" a 5/8", etc. (Castillo, 2019).

- **Conectores Estructurales**

Son aquellos que permiten acoplar barras de acero corrugado hacia o con elementos de acero estructural como cartelas, planchas, perfiles, tubos rectangulares, tubos cuadrados, perfiles de acero estructural en vigas, columnas, arriostres, etc.; los cuales forman parte de un entramado de alguna edificación, nave industrial, entre otros. Estos tipos de conectores logran un empalme **Barra a Acero Estructural**. (Castillo, 2019)

La característica principal de todos estos conectores estructurales es que en su configuración de fábrica presenta un bisel precortado mecanizado en uno de sus extremos (En el que será que será soldado a la estructura). Este bisel precortado para la soldadura, tiene un ángulo de 30 grados con referencia al plano de acero estructural y al eje de la barra corrugada, permite una penetración completa y brinda mayor resistencia, conveniencia y garantía de calidad. (BarSplice Products, Inc., 2019)

2.2.5. Ensayo de Tracción

El ensayo a tracción, es la forma básica de obtener información sobre el comportamiento mecánico de los materiales. Mediante una máquina de ensayos se deforma una muestra o probeta del material a estudiar, aplicando la fuerza uniaxial en el sentido del eje de la muestra. A medida que se va deformando la muestra, se va registrando la fuerza (carga), llegando generalmente hasta la fractura de la pieza. (Callister, 2017).

Este tipo de ensayo corresponde a un ensayo estático que consiste en aplicar a la probeta, en dirección axial, un esfuerzo de tracción creciente, generalmente hasta la rotura; con el fin de determinar una o más de sus características mecánicas (Harmsen, 2017)

Los resultados de esta prueba se registran en curvas esfuerzo-deformación. En ingeniería se acostumbra utilizar esfuerzo de ingeniería o nominal y deformación nominal o de ingeniería, definidos a continuación:

- a) **Esfuerzo:** Se define como la carga dividida entre el área de la sección transversal original de la probeta al inicio de la prueba, o:

$$f = \frac{T}{A_0}$$

Donde:

T : es la carga de tensión axial aplicada en kips (Un kip equivale a 1000 libras),

A₀ : es el área de la sección transversal original de la muestra en pulgadas cuadradas (pulg²), y

f : es el esfuerzo de tensión axial en ksi (kips por pulgada cuadrada)

- b) **Deformación:** Se define como el alargamiento de la probeta tomada sobre la longitud calibrada. Esto es:

$$\mathcal{E} = \frac{e}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Donde:

L₀ : es la longitud calibrada original en pulgadas,

L : es la distancia en pulgadas entre las marcas de calibración después de aplicar la carga ***T***,

e : es el alargamiento de la probeta en pulgadas, y

\mathcal{E} : es la deformación axial en pulg/pulg.

2.2.6. Esfuerzo de fluencia

Conocido también como límite de fluencia o punto de fluencia; es el esfuerzo o tensión máxima que puede soportar o desarrollar un material, sin experimentar una deformación plástica permanente. Es el punto en el que un material comienza a ceder y se deforma de manera irreversible. Es una aproximación práctica del límite elástico y este punto marca el inicio de la transición de la deformación elástica a la plástica, donde el material ya no recupera su forma original al liberar la carga (Harmsen, 2017)

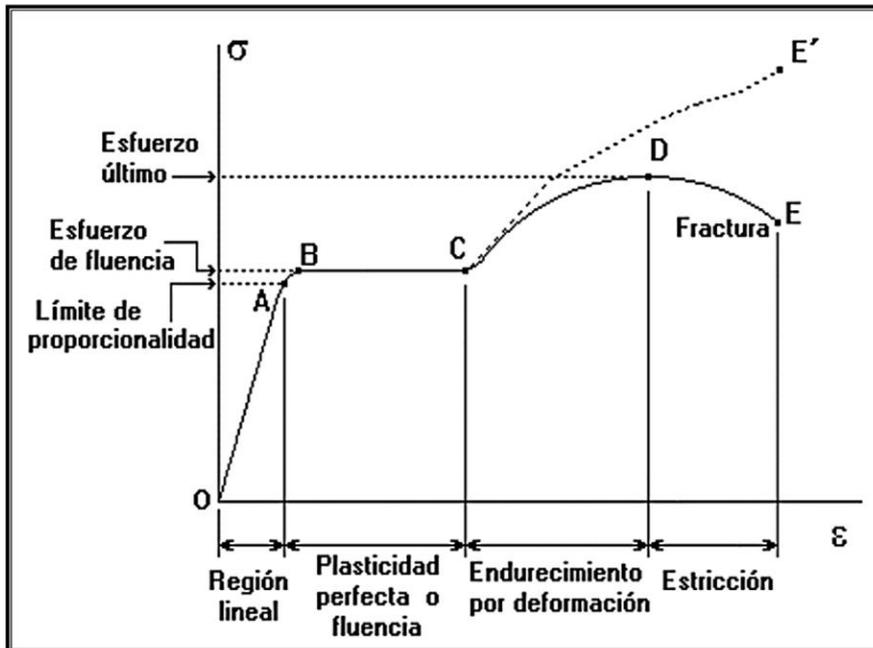
El límite de fluencia, indica la tensión hasta la cual un material se puede deformar elásticamente en un ensayo de tracción. (ZwickRoell, 2019)

Los aceros se caracterizan por su límite de fluencia, el cual se aprecia con claridad en la curva típica de Esfuerzo-Deformación que se obtiene del ensayo a tracción en probetas estándar o normalizadas, industriales y proporcionales de acuerdo a las

características técnicas y dimensiones de las máquinas o equipos de un laboratorio de ensayo de materiales; bajo los lineamientos establecidos en la Norma ASTM A370:

Figura 2:

Curva típica Esfuerzo-Deformación para el acero.



Fuente: Norma ASTM A370

2.2.7. Resistencia a la tracción de barras de acero ASTM A615 Grado 60, unidas con conectores mecánicos

Castillo (2019) y Harmsen (2017), señalan que la resistencia a la tracción, es una de las propiedades mecánicas más importantes y requeridas para las barras corrugadas, que se utilicen como armadura de refuerzo en la construcción de las estructuras de concreto armado.

El ACI 318-19(22), ACI 439.3R-07 y la norma peruana E.060; que son normas aplicables al diseño de estructuras de concreto armado, establecen valores de resistencia a la tracción según el tipo de conector mecánico utilizado en cada empalme de barras corrugas ASTM A615 Grado 60. Así mismo, establecen lineamientos técnicos, en referencia al uso, clasificación y ubicación de los empalmes mecánicos en las estructuras de concreto armado.

En resumen, los requisitos de resistencia a la tracción que se establecen para los empalmes de barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 al usar conectores mecánicos, serán:

Unión con conector mecánico tipo 1 —————> 1.25 f_y

Unión con conector mecánico tipo 2 —————> 1.50 $f_y = 1.0 f_u$

2.2.8. Conector mecánico de tornillo

El conector de tornillo, presenta un sistema de sujeción conformado por tornillos de torque controlado, alineados en una o dos filas; para lograr unir las barras corrugadas. Este sistema se denomina Zap Screwlok (Castillo, 2019)

Al realizar el apriete o ajuste de estos tornillos de torque controlado (**Twist-off torque**) y al alcanzar el torque requerido las cabezas de estos salen, se desprenden o simplemente se separan del cuerpo de cada uno de ellos, lo cual indica que han alcanzado el ajuste respectivo; garantizándose el correcto ensamble del conector mecánico a las barras corrugadas en las zonas de empalme (BarSplice Products, Inc., 2019)

BPI, el fabricante de estos conectores mecánicos, los clasifica y nombra en el idioma inglés americano como: Zap Screwlok Single Row (01 fila de tornillos) y Zap Screwlok Double Row (02 filas de tornillos). Esta configuración de los tornillos, obedece al diámetro y dimensiones del conector como tal y de las barras corrugadas a empalmar.

- **Conector de tornillo Zap Screwlok Single Row Type 2 y epóxicos (Única fila de tornillos)** – Se fabrican y comercializan para los diámetros #3 (3/8”) al #11 (1 3/8”)
- **Conector de tornillo Zap Screwlok Double Row Type 2 y Epóxicos (02 filas de tornillos)** – Corresponde a los diámetros #11 (1 3/8”) hasta el diámetro #14 (1 3/4”)

2.2.9. Conector mecánico de presión

Los conectores mecánicos de presión BARGRIP, consisten en camisas de acero sin costura, que se deslizan sobre los extremos de las barras de refuerzo para lograr una correcta unión o empalme. Entre las barras y este tipo de conector, se realiza un proceso de estampado o prensado en frío para generar **un enclavamiento mecánico o trabazón** y asegurar que este empalme mecánico sea el correcto (BarSplice Products, Inc., 2019)

La primera mitad del conector debe estar en una de las varillas a unir y la segunda mitad en la otra varilla. El estampado en frío, es uno de los métodos de empalme más refinados del mundo. El conector se deforma alrededor de la varilla corrugada con lo que genera una trabazón o enclavamiento mecánico entre las barras y el conector. La clave de su éxito es la simplicidad, la adaptabilidad y la asequibilidad. (Castillo, 2019)

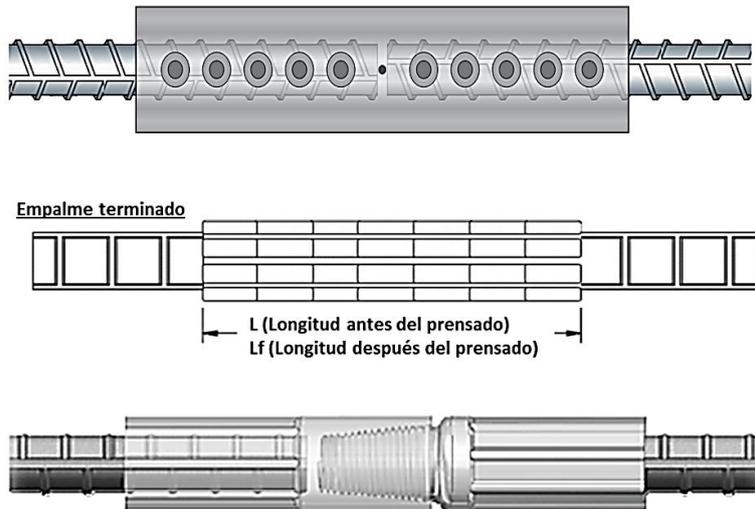
2.2.10. Criterios técnicos para seleccionar conectores mecánicos

- **No reducir la sección de la barra:** Los conectores mecánicos BPI, son elementos que permiten mantener intactas las secciones y áreas transversales de las barras corrugadas en las zonas de empalme; es decir, que estas no se reducen y se garantiza la integridad de la sección y sus áreas de acero respectivas. (BarSplice Products, Inc., 2019)

En la siguiente figura, se muestra el detalle de los empalmes mecánicos; donde se aprecia y evidencia que las barras corrugadas empalmadas mantienen y en ningún caso no se reduce las secciones de cada una de las varillas:

Figura 3:

Detalle de los empalmes en barras corrugadas unidas mediante conectores mecánicos BPI



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. - USA

Otros conectores reducen la sección de la barra:

Figura 4:

Detalle de secciones reducidas en las barras corrugadas unidas con otros tipos de conectores mecánicos



Se reduce la sección de la barra y la falla tiende a producirse en la conexión.

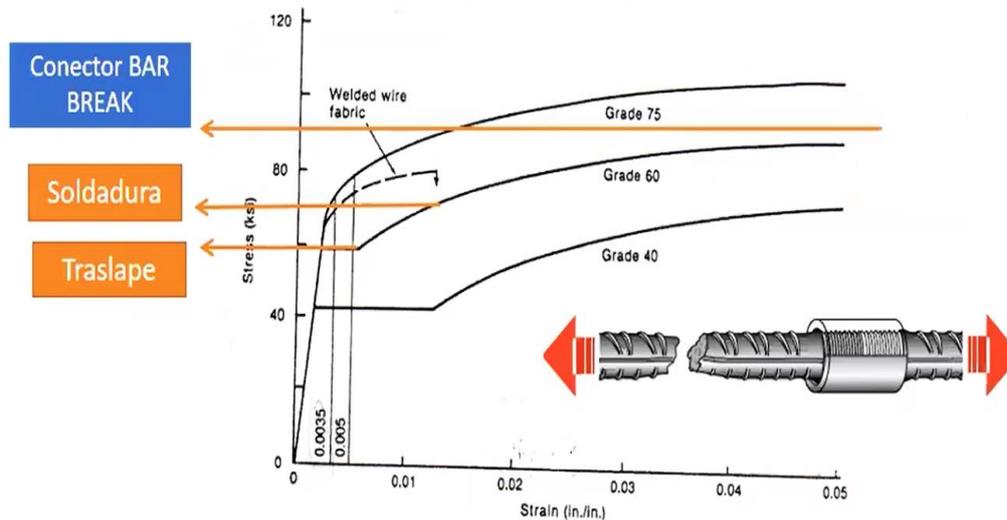
Fuente: Página Web de la empresa CVD Ingeniería Antisísmica SAC - Perú.

▪ Otro criterio técnico para la selección de conectores mecánicos, es que **la falla se produzca fuera de la zona de empalme**; a esto se conoce o denomina **BAR BREAK**. (BarSplice Products, Inc., 2019)

En la figura siguiente, se muestra el análisis de las curvas Esfuerzo-Deformación para cada tipo de empalme: Empalme por traslape, por soldadura y empalme mediante conectores mecánicos:

Figura 5:

Comparativa de curvas Esfuerzo-Deformación típicas de barras ensayadas, para los tres tipos de empalmes



Fuente: Página Web de la empresa CVD Ingeniería Antisísmica SAC - Perú.

- **Que cuenten con certificaciones:** Todos los conectores mecánicos deberán contar con las certificaciones de calidad y fabricación, para garantizar su procedencia y la calidad de los mismos. Cuando se certifica un conector mecánico y alcanza la clasificación tipo 2, no solamente se certifica el sistema de empalme en sí, el cual debe cumplir con los requisitos de tensión, fatiga, etc.; sino también el procedimiento de trabajo como tal. (BarSplice Products, Inc., 2019)

- La instalación de conectores mecánicos, **es un proceso constructivo confiable, fácil de ejecutar y verificar en campo.** A diferencia de otros tipos de empalme para barras de acero corrugado a nivel de obra, como es el caso de las uniones soldadas, las cuales requieren de la implementación de controles y condiciones ambientales especiales; los conectores mecánicos no alteran las propiedades físico-químicas, ni tampoco hay un incremento de fragilidad en la estructura interna por exceso de calor no controlado de las barras.

2.2.11. Ventajas generales de los conectores mecánicos

Dentro de las ventajas generales que ofrecen y presentan los conectores mecánicos al realizar los empalmes de las barras de acero corrugado a nivel de obra, en taller y en las diferentes condiciones y/o situaciones de cada proyecto, se tienen:

- Permiten alcanzar los requerimientos técnicos para el acero de refuerzo como: una correcta ubicación, la continuidad, alineamiento e integridad estructural que se exigen en el diseño de las diferentes estructuras de concreto armado. Así mismo, los conectores mecánicos para barras corrugadas de construcción, aseguran que las deformaciones ocurran en áreas que no pongan en riesgo el equilibrio de la estructura.

- Teniendo en cuenta los requisitos del párrafo anterior, los conectores mecánicos para barras de construcción, son piezas que, por sus características, resultan relevantes a la hora de “explicar qué tipo de ventajas aportan este tipo de elementos a un país tan sísmico como Perú”. Los conectores mecánicos son más seguros y se recomiendan para el empalme de barras corrugadas ASTM A615 Grado 60, porque permiten que exista una unión monolítica y los esfuerzos se transfieran dentro de la conexión, directamente de una varilla a otra sin causar tensiones adicionales en el concreto circundante.

- **No se realizan trabajos previos en las barras corrugadas a empalmar**, como precalentamiento, generación de microclimas, controles especiales, obtención de electrodos que no son comerciales y que al mismo tiempo son muy costosos, los controles permanentes de amperaje, temperatura y preservación de electrodos, etc.; entre otras actividades, que se tienen que ejecutar si o si en el caso de los empalmes por soldadura.

Además, se sabe que por normativa las barras corrugadas fabricadas bajo ASTM A 615 Grado 60 no son soldables debido a su composición metalúrgica que presentan.

- Los equipos de prensado que se usan para el caso de los conectores de presión BARGRIP XL, son portátiles y fáciles de utilizar; es decir, el personal que vaya a ejecutar la actividad de prensado en frío de este tipo de conector mecánico no requiere de un mayor conocimiento y calificación técnica como en el caso de las uniones soldadas.

- El análisis y comparación de las curvas Esfuerzo-Deformación típicas de las barras de acero corrugadas sometidas a esfuerzos de tensión o tracción (Figura 5); permite asegurar que los empalmes mediante conectores mecánicos presentan una gran ventaja frente a los otros tipos de empalmes. Los empalmes por traslape simple, se definen solo en el punto de fluencia y no tienen un comportamiento dúctil. Sin embargo, los conectores mecánicos aseguran la falla fuera de la zona de empalme denominada BAR BREAK, característica intrínseca y particular de este tipo de empalme.

- De las curvas Esfuerzo-Deformación mostradas en la figura 10, se puede establecer valores referidos y traducidos al Esfuerzo de Fluencia y Esfuerzo último o resistencia a la tracción del acero corrugado, para cada tipo de unión o empalme (Ver tabla 1):

Tabla 1:

Valor del Esfuerzo Último por tipos de empalme

Tipo de Empalme	Valor del Esfuerzo Último
Por Traslape Simple	$\geq f_y$ (Mayor o igual al esfuerzo de fluencia)
Unión Soldada o Unión por Soldadura	$\geq 1.25 f_y$ (Mayor o igual al 25% más del Esfuerzo de Fluencia)
Unión con Conectores Mecánicos	
Tipo 1	$\geq 1.25 f_y$ (Al menos deben desarrollar un 25% más del Esfuerzo de Fluencia)
Tipo 2	$\geq 1.50 f_y$ (Mayor que el 50% más del Esfuerzo de Fluencia)

- Otra de las ventajas de los conectores mecánicos es su aplicación y gran versatilidad para realizar la **conexión de estructuras prefabricadas con elementos de concreto armado vaciadas In Situ**.

- **Menos congestión de acero:** La aplicación y el uso de conectores mecánicos, evita en gran medida la congestión del acero de refuerzo en las zonas donde se realizan los empalmes de cada una de las barras corrugadas. Los conectores mecánicos permiten un mejor arreglo del refuerzo con un armado más ordenado, mejorando además las condiciones de espaciamiento entre elementos verticales u horizontales de las barras corrugadas, y estas condiciones favorecen a la colocación del concreto en las estructuras.

- Otra de las ventajas significativas que presentan los empalmes mediante conectores mecánicos, es que **no duplican las cuantías de acero de refuerzo; no generan áreas frágiles y pueden colocarse en cualquier zona del elemento estructural** si se trata de conectores mecánicos del tipo 2:

- **Futuras Ampliaciones:** El uso y aplicación del Conector Mecánico de Cabeza Buttonhead Extender BarSplice, permite realizar futuras ampliaciones de estructuras de concreto armado, evitando tener mechas de acero corrugado expuestas, libres y visibles que se convierten en un peligro y riesgo potencial latente para los trabajadores en los diferentes proyectos u obras.

- **Localización:** Con el uso de conectores mecánicos Tipo 2, los empalmes de las barras se pueden realizar en cualquier ubicación de las estructuras de concreto armado. A pesar de que los conectores mecánicos tipo 2 no tienen restricciones de ubicación o localización, se recomienda realizar estos traslapes de forma escalonada para favorecer al descongestionamiento del acero de refuerzo en las zonas de empalme.

- **Ventanas para la corrosión:** En el país existen una gran cantidad de obras paralizadas o “abandonadas” por diversos factores técnico-legales quedando inconclusas; y dónde las estructuras de concreto armado muestran las barras de acero expuestas y más aún estas no han sido protegidas de agentes externos como: lluvias, heladas, brisa marina, etc. El uso de conectores mecánicos, evita tener estas áreas de acero expuestas que se convierten en ventanas para la corrosión u oxidación de la armadura de refuerzo.

2.3. Bases legales:

- **Normas referidas a la fabricación de las Barras de Acero de Refuerzo.**
 - ASTM A615/A615M-22 –“Especificación estándar para barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de hormigón”
 - ASTM A706/A706M-22a –“Especificación estándar para barras de acero de baja aleación lisas y corrugadas para refuerzo de hormigón”.
- **Normas referidas al uso y clasificación de empalmes mecánicos:**
 - ACI 318-19(22) –Requisitos del código de construcción para concreto estructural y comentarios – Capítulo 18 – Estructuras Sismo Resistentes – Conectores mecánicos.
 - Norma Peruana E.060 – Concreto Armado – Capítulo 21. Disposiciones especiales para el diseño sísmico.
 - ACI PRC-439.3-07–“Tipos de empalmes mecánicos para barras de refuerzo”
 - ICC-ES AC133 –“Criterios de aceptación para sistemas de empalme mecánico, para barras de refuerzo de acero”.
- **Normas referidas a la fabricación de Conectores Mecánicos:** BarSplice Products, Inc. (BPI– USA), certifica la fabricación de sus conectores mecánicos bajo las normas:
 - ASTM A519/A519M-17 “Especificación estándar para Tubos Mecánicos de Acero al Carbono y Aleados sin costura”.
 - ASTM A1034/A1034M-10a (2015) “Métodos de prueba estándar para probar empalmes mecánicos para las barras de acero de refuerzo”.

2.4. Definición de términos básicos:

2.4.1. Acero de refuerzo

Se considera como acero de refuerzo o armadura de refuerzo, a un elemento de acero o elementos embebidos en el concreto y que cumplen con lo especificado en los Items 20.2 al 20.5 del ACI 318-19(22) (Castillo, 2019)

2.4.2. Acero ASTM A615 Grado 60

El acero para ser utilizado en concreto armado, se fabrica bajo la norma ASTM A615 y ASTM A706; en el Perú, es producido a partir de la palanquilla, pero en el extranjero también se suele conseguir del reciclaje de rieles de tren y ejes usados. Estos últimos son menos maleables, más duros y quebradizos (Harmsen, 2017).

2.4.3. Probeta

Es una porción representativa de un material a ensayar, también denominado espécimen estándar, es decir, son muestras estándar, que se utilizan para ensayos mecánicos y de propiedades. Son piezas con dimensiones normalizadas. (Castillo, 2019)

2.4.4. Resistencia a la tracción:

La resistencia a la tracción de un material, se define como la máxima tensión mecánica a la tracción que una muestra puede soportar antes del fallo, aunque la definición de fallo varía según el tipo de material y su diseño. (Illinoia, s.f.)

La resistencia a la tracción, es un índice de las propiedades mecánicas de un material metálico, obtenido mediante una prueba de tensión uniaxial y representa la capacidad de un material metálico para resistir la deformación y el daño bajo fuerzas externas. (HSCO, 2024)

2.4.5. Conector ZAP SCREWLOK

El sistema Zap Screwlok, es un empalme mecánico de tornillo de corte diseñado para conectar barras existentes o parches y aplicaciones de reparación (Castillo, 2019)

2.4.6. Conector BARGRIP XL

Es un conector mecánico tipo 2, que consiste en un manguito de acero estampado en frío el cual se instala in situ o en taller con mordidas superpuestas; utilizando prensas hidráulicas portátiles o estacionarias BPI. (Castillo, 2019)

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

3.1.1. Ubicación de la investigación

La presente investigación se llevó a cabo en dos distritos de la ciudad de Lima:

- La selección y adquisición de conectores mecánicos; más el ensamblaje de las probetas con barras corrugadas ASTM A615 Grado 60 unidas con los dos tipos de conectores, para los diámetros de barras 3/4", 1" y 1 3/8"; se realizó en las oficinas, instalaciones y taller de la empresa **CDV Ingeniería Antisísmica SAC**, empresa representante en el país de **BarSplice Products, Inc – USA**, quien es el fabricante de los conectores mecánicos. (Ver ubicación en la tabla 2)

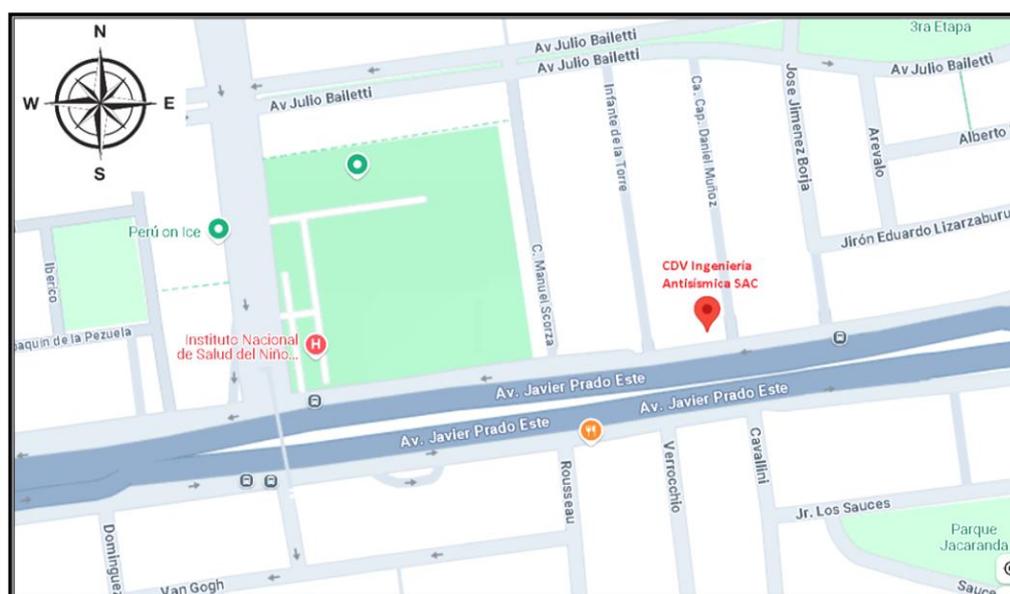
Tabla 2:

Datos generales de la ubicación de la investigación.

Empresa representante en el Perú de BarSplice Products, Inc. (Vendedor de los Conectores Mecánicos)	: CDV INGENIERÍA ANTISÍSMICA S.A.C.
Región	: Lima
Provincia	: Lima
Distrito	: San Borja
Dirección	: Av. Javier Prado Este N°3349
Coordenadas UTM	: E 283399.19 m N 8663167.25 m

Figura 6:

Ubicación del taller donde se elaboró las probetas para la investigación.



Fuente: Google Maps

- Los ensayos de tracción, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales N°1 "ING. MANUEL GONZALES DE LA COTERA" perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), cuyos datos de ubicación se muestran en la siguiente tabla:

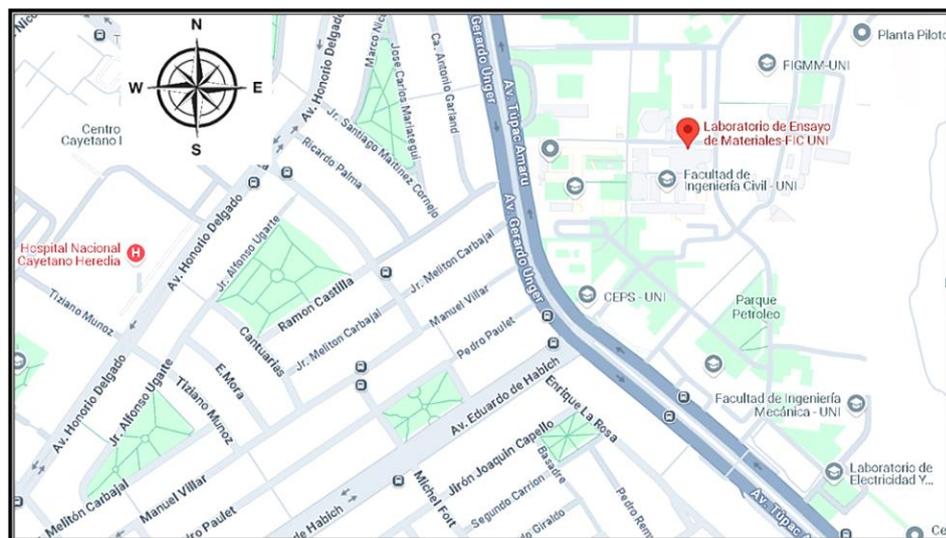
Tabla 3:

Datos de ubicación del laboratorio de ensayo de materiales

Nombre del Laboratorio	: N°1 "ING. MANUEL GONZALES DE LA COTERA"
Región	: Lima
Provincia	: Lima
Distrito	: Rímac
Dirección	: Av. Túpac Amaru 210
Coordenadas UTM	: E 276933.25 m N 8670311.73 m

Figura 7:

Ubicación del laboratorio donde se realizó los ensayos de la investigación.



Fuente: Google Maps

3.2. Duración de la investigación:

La duración referente a la selección y adquisición de conectores mecánicos; más el ensamblaje de las probetas en el taller, fue de 20 días calendarios, realizados entre los meses de junio y julio del año 2019. Por otro lado, la realización de los ensayos de tracción en laboratorio, tuvieron una duración de 21 días calendarios, entre actividades administrativas, ensayos y la entrega de resultados por parte de la Facultad de Ingeniería Civil- UNI, llevados a cabo entre los meses de julio y agosto del 2019.

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación

A) Tipo: Aplicada, ya que se enfocó en obtener y generar conocimientos nuevos relacionados con el uso de conectores mecánicos para unir barras de acero corrugado ASTM A615 grado 60; específicamente en diámetros 3/4", 1" y 1 3/8".

B) Nivel: Correlacional, ya que tiene como objetivo determinar la resistencia a la tracción en probetas elaboradas con barras de acero corrugado ASTM A615 Grado60 para los diámetros 3/4", 1" y 1 3/8"; y el uso de dos tipos de conectores mecánicos, ambos del tipo 2 (Conectores de presión–BARGRIP XL y conectores de tornillo–ZAP SCREWLOK SL); de la marca norteamericana BPI (BarSplice Products, Inc.), que se utilizaron para unir las o empalmarlas.

C) Diseño: Experimental, dado que se variaron los tipos de conectores mecánicos al empalmar o unir las barras de acero corrugado ASTM A615 grado 60 de diámetros 3/4", 1" y 1 3/8"; para analizar su efecto sobre la resistencia a la tracción de estas barras.

El experimento, también permitió determinar cuál de las probetas logró y alcanzó mayor resistencia a la tracción, esclareciendo o determinando la veracidad, aprobación o desaprobación de la hipótesis planteada.

D) Enfoque: Cuantitativo, ya que se recogió datos numéricos en el laboratorio al realizar los respectivos ensayos de tracción; y luego se empleó herramientas estadísticas a fin validar o desaprobar la hipótesis planteada.

3.4. Variables

a. Dependiente:

Resistencia a la tracción en barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas con conectores mecánicos para diámetros de 3/4", 1", 1 3/8"

b. Independientes:

- Conector de Presión BARGRIP XL,
- Conector de Tornillo ZAP SCREWLOK SL.

Ambos acoples o conectores pertenecen o son del tipo 2.

3.5. Procedimiento de la investigación

3.5.1. Selección y adquisición de los conectores mecánicos a usar

Los conectores elegidos pertenecen a los Conectores de Continuidad Tipo 2, de la marca BPI (BarSplice Products, Inc. – USA) de los cuales se eligieron a los Conectores BARGRIP XL (Conector de Presión) y a los Conectores ZAP SCREWLOK estos últimos corresponden a conectores mecánicos de una sola fila de tornillos. En ambos casos, se seleccionaron los conectores mecánicos para unir barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 de los diámetros 3/4", 1" y 1 3/8".

Los criterios considerados en la selección de los conectores mecánicos, fue la versatilidad, mayor aplicación, facilidades de instalación que muestran a nivel de obra; y en el proceso de adquisición se evaluó los costos asociados a cada uno de ellos.

Tanto la elección y adquisición de los conectores mecánicos, se llevó a cabo en la ciudad de Lima, teniendo como proveedor y representante de la marca norteamericana BarSplice Products, Inc. en el Perú, a la empresa CDV Ingeniería Antisísmica SAC.

3.5.2. Ensamblaje de probetas de acero corrugado empalmadas mediante conectores mecánicos seleccionados y adquiridos:

El ensamblaje de probetas consistió en trabajos de prensado o estampado en frío para el caso de los conectores de presión BARGRIP XL y el ajuste o torqueo de los tornillos que conforman el sistema de aseguramiento y sujeción del conector mecánico ZAP SCREWLOK. Para estos procesos de ensamblaje, se utilizaron barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60, formando un sistema Barra – Conector – Barra.

El ensamblaje de probetas, se realizó en las instalaciones y con el equipamiento del taller de la empresa CDV Ingeniería Antisísmica SAC, proveedor de los conectores mecánicos y representante en el Perú, de la marca norteamericana BPI.

Ambos procesos de ensamblaje de probetas; se realizaron con el apoyo del personal técnico de la empresa CDV Ingeniería Antisísmica SAC, bajo la supervisión permanente del Ing. Fernando Castillo Herrera. Esto permitió conocer y aplicar los criterios técnicos descritos en las hojas o fichas técnicas de cada uno de los conectores seleccionados y adquiridos.

- Materiales:

En el desarrollo de esta etapa de la investigación, se utilizó los siguientes materiales.

a) Conectores de Presión BPI – BarSplice Products, Inc.:

- 03 conectores mecánicos de Presión 3/4" Tipo 2 - BarGrip XL Type 2 (6XL – Color Amarillo)
- 03 conectores mecánicos de Presión 1" Tipo 2 - BarGrip XL Type 2 (8XL – Color Negro)
- 03 conectores mecánicos de Presión 1 3/8" Tipo 2 - BarGrip XL Type 2 (11XL – Color Azul)

b) Conectores de Tornillo BPI – BarSplice Products, Inc.:

- 03 conectores mecánicos de Tornillo 3/4" Tipo 2 – Zap Screwlok SL Type 2 (6SZBA de una fila de Tornillos)
- 03 conectores mecánicos de Tornillo 1" Tipo 2 – Zap Screwlok SL Type 2 (8SZBA de una fila de Tornillos)
- 03 conectores mecánicos de Tornillo 1 3/8" Tipo 2 – Zap Screwlok SL Type 2 (11SZBA de una fila de Tornillos)

c) Barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60:

Las barras de acero corrugado, que se utilizó en la investigación, corresponden a los diámetros 3/4" (#6), 1" (#8) y 1 3/8" (#11) de las marcas SIDERPERU y ACEROS AREQUIPA.

- Equipos:

Se utilizó diversos equipos inherentes a cada proceso y al tipo de conector mecánico; tanto para el prensado o estampado en frío aplicable a los conectores de Presión (BARGRIP XL), como para el ajuste o torqueo de los tornillos que se utilizan para el caso de los conectores mecánicos de tornillo (ZAP SCREWLOK SL):

a) Equipos de prensado para unir barras corrugadas con conectores mecánicos de presión - BARGRIP XL:

- Prensa Portátil BG750M (W=40 Kg.) incluye Mordazas de prensado de color azul, amarillo y negro.
- Bomba Hidráulica Estacionaria PE400 con motor eléctrico de 10HP (Voltaje 220v Trifásico – Amperaje 15-30 Amperios) y su respectivo manómetro y válvula de control. Esta bomba hidráulica también incluye manguera hidráulica de alta presión, cable de control y pedal.

- Pie de rey o calibrador vernier, con rango de 0 a 6 pulgadas y precisión de 0.03mm con sus respectivas pinzas o mordazas para medidas internas o externas.
- Cables eléctricos con sus respectivas tomas industriales.

Características técnicas de los equipos de prensado y modelos de tenazas utilizados en el ensamblaje de probetas:

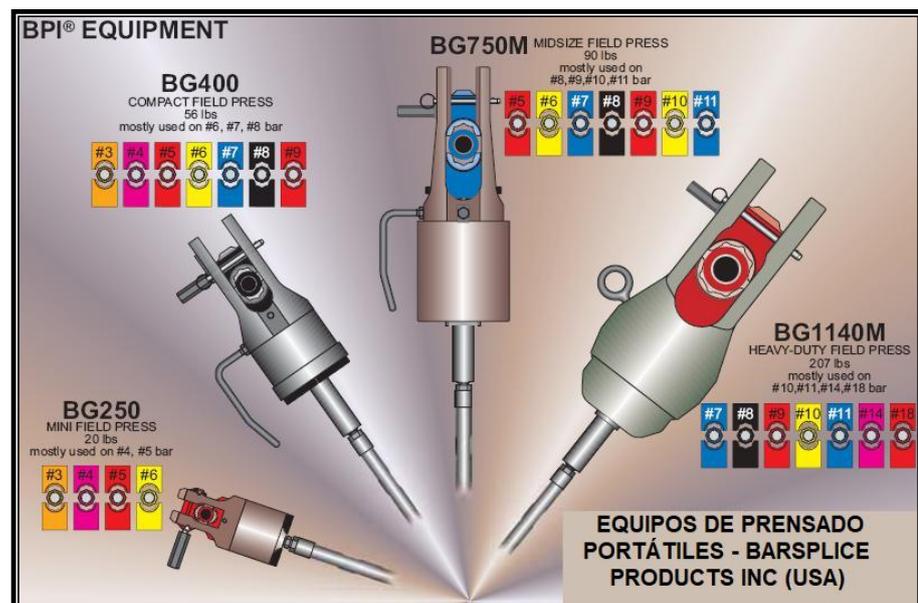
En forma breve, se describen los elementos y accesorios que conforman a estos equipos, cómo se utilizaron y cuál es su funcionamiento de forma conjunta:

- Estos equipos de prensado, consisten de una prensa hidráulica de campo equipada con un juego de mordazas.
- Esta prensa hidráulica, se conecta con una manguera de alta presión y a una bomba hidráulica. Esta bomba opera por medio de corriente eléctrica, la cual esta provista y cuenta con un pedal que controla el sistema para ejecutar los prensados o estampados en frío de los conectores.
- Cuando se presiona este pedal, el fluido hidráulico es bombeado por la manguera a la prensa; con esto, el vástago de la prensa es expulsado fuera del pistón.
- Finalmente, las mordazas generan la presión radial al conector. El conector se deforma alrededor de la varilla corrugada con lo que genera una **trabazón o enclavamiento mecánico**. Cuando se libera el pedal el pistón se retrae y las mordazas se separan con lo cual el acoplamiento regresa a su posición inicial listo para la siguiente prensada o mordida.
- Es importante y en todo momento realizar el control de la longitud de inserción de cada una de las barras a unir o empalmar, la cual debe ser de $L/2$, considerando que L es la longitud inicial del conector de presión BARGRIP XL.

- El equipo de presado que se utilizó, está conformado por:
 - Prensa Portátil BG400 (W = 25 kg), la cual se utilizó conectada a la Bomba Portátil PE55 con características de Voltaje: 220v monofásico, Amperaje: 10-15, Motor: eléctrico de 1-1/8 HP. Este equipo de presado se utilizó para el ensamblaje de las probetas de acero de diámetro 3/4" con sus respectivos conectores de presión.
 - Por recomendación del Ing. Fernando Castillo y el personal técnico de la empresa CDV Ingeniería Antisísmica SAC, para el ensamblaje de las probetas de acero de diámetros 1" y 1 3/8" unidas con conectores BARGRIP XL, se utilizó la Prensa Portátil BG750M (W = 40 kg) que trabaja conjuntamente con la Bomba Estacionaria PE400 (Voltaje: 220v Trifásico; Amperaje:15-30 Amp.; Motor: eléctrico de 10HP.)
- Las diversas tenazas que forman la parte fundamental de los equipos de presado, presentan un código de colores para lograr la diferenciación y un correcto proceso de estampado en frío, en cada uno de los diámetros de las barras de acero corrugado que se desean empalmar mediante los conectores de presión.

Figura 8:

Equipos de presado portátiles BarSplice Products, Inc.- BPI



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Según la figura anteriormente mostrada, se identifica que los equipos de prensado portátiles de la marca BPI, utilizan diferentes mordazas para efectuar el número de las mordidas requeridas durante el proceso de estampado en frío.

Es importante señalar que este código de colores que tienen implementado los troqueles o mordazas coincide con el código de colores de los conectores de presión BARGRIP, a fin de asegurar una correcta instalación de estos acopladores en las diferentes barras corrugadas que se necesiten unir o empalmar.

- A continuación, en la siguiente figura se muestran algunas características técnicas de los conectores BARGRIP XL, que se utilizó en el presente estudio, para el ensamblaje de probetas de acero ASTM A615 Grado 60 de diámetros 3/4", 1" y 1 3/8"; e incluso se indica el modelo de prensa a utilizar según el diámetro de las barras corrugadas:

Figura 9:

Dimensiones y características de los conectores de presión BARGRIP XL – Modelo de prensa según los diámetros de las barras.

Tamaño del conector	Tamaño de la varilla de refuerzo	Código del producto	Longitud "L" (mm)	Peso conector (kg)	Código de colores	Dia. exterior "D" (mm)	Dia. interior "d" (mm)	Inserción de la barra "i" (mm)	Modelo de prensa	
3/8"	10 mm	3XL	83	0.12	Naranja	19	13	41	BG 400	BG 750
1/2"	12 mm	4XL	102	0.18	Rosado	24	16	51		
5/8"	16 mm	5XL	121	0.31	Rojo	29	19	60		
3/4"	20 mm	6XL	140	0.57	Amarillo	35	24	70		
1"	25 mm	8XL	178	1.17	Negro	44	30	89		
1 3/8"	36 mm	11XL	229	2.6	Azul	60	43	114		

Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

- Las demás características técnicas, componentes, elementos, dimensiones, pesos, etc.: tanto de los conectores de Presión BARGRIP como de los Equipos de Prensado Portátiles y Estacionarios de la marca norteamericana BPI; se detallan en el Anexo B de la tesis.

b) Equipos para el ensamblaje de probetas de acero corrugado con conectores mecánicos de tornillo ZAP SCREWLOK SL:

Dentro de los equipos y accesorios que se han utilizado para el ensamblaje de las probetas de acero ASTM A615 Grado 60, unidas con conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL, se tiene:

- Llave de palanca tipo Ratchet con encastre de ½” y sus respectivos dados, para el ajuste de los tornillos en los conectores mecánicos Zap Screwlok. Además, se usó un tubo de sección circular hueca de ¾” por seguridad y para generar mayor palanca durante el ajuste de pernos.
 - Vernier calibrador o pie de rey, con rango de 0 a 6 pulgadas y precisión de 0.03mm con sus respectivas pinzas o mordazas para medidas internas o externas.
 - Flexómetro o wincha metálica de 3m, con precisión de 1/8” en el rango de pulgadas.
- **Consideraciones técnicas para los procesos de ensamblaje y elaboración de probetas:** Durante los trabajos de ensamblaje y elaboración de probetas con barras de acero corrugado para los diámetros de ¾”, 1” y 1 3/8” unidas mediante conectores de Presión y conectores de Tornillo; se tuvieron las siguientes consideraciones técnicas:
- Con el personal técnico-profesional de la empresa CDV Ingeniería Antisísmica SAC y previo a la realización de ambos procesos de ensamblaje, se revisó la información técnica: Certificados de fabricación, certificados de calidad y las fichas técnicas respectivas emitidos por el fabricante BarSplice Products, Inc. (USA); para lograr un correcto ensamblaje de las probetas con los dos tipos de conectores seleccionados y para los diámetros de barras especificados.
 - Para ambos casos y procesos de ensamblaje no fue necesario contar con personal altamente calificado para realizar este tipo de empalmes, bastó con una capacitación básica y revisar el paso a paso del procedimiento de ensamblaje e instalación de este tipo de conectores que establece el fabricante.
 - Así mismo se solicitó a nivel de taller, las certificaciones respectivas (Calibración, operatividad y fabricación); y de este modo se ha dado la conformidad de la calidad de los materiales y equipos utilizados.
 - Antes, durante y posterior a cada uno de los procesos de ensamblaje, se realizó un adecuado Control de Calidad mediante la observación directa y la supervisión permanente.

- Antes y durante ambos procesos de ensamblaje, no se realizó ningún tipo de trabajos previos en las barras de acero corrugado utilizadas (Como embuchamientos, realización de hilos roscados, precalentamiento, microclimas u otra condición especial). Es decir, se han mantenido intactas las secciones y áreas de las barras de acero que se utilizaron para la elaboración de las probetas unidas mediante los conectores mecánicos seleccionados.
- Para los dos procesos de ensamblaje de probetas con los conectores BARGRIP XL y ZAP SCREWLOK SL tipo 2, se utilizaron las instalaciones del taller de la empresa CDV Ingeniería Antisísmica SAC y se contó con el apoyo del personal técnico más la supervisión permanente del Ing. Fernando Castillo especialista en ingeniería estructural.
- En el proceso de ensamblaje de probetas de acero corrugado unidas con conectores de Presión BARGRIP XL, se llevó a cabo el control dimensional respectivo; para verificar el número de mordidas o prensadas por cada varilla ensamblada. Además, se verificó las dimensiones de cada uno de estos conectores utilizados, para asegurar el cumplimiento de las tolerancias dimensionales especificadas por el fabricante: (Ver la siguiente tabla)

Tabla 4:

Tolerancias dimensionales y número de mordidas para Conectores de Presión BARGRIP XL

Diámetro de la varilla corrugada	Conector de Presión BARGRIP XL			Longitud Total Promedio del Conector Antes y Después del prensado (mm)	
	Número de Mordidas por Varilla			Longitud Inicial	Longitud Final
	Prensa Estacionaria	Prensa Manual			
		BG 400	BG 750		
3/8"	1	2	2	83	90
1/2"	1	3	2	102	110
5/8"	1	3	2	121	130
3/4"	1	5	2	140	155
1"	1	7	3	178	200
1 3/8"	2	N/A	7	229	255

N/A: No Aplica

Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

- En el desarrollo del proceso de ensamblaje de probetas de acero corrugado para los diámetros de barras 3/4", 1" y 1 3/8" los conectores ZAP SCREWLOK

Tipo 2 corresponden a conectores que cuentan con una sola fila de tornillos, los cuales proporcionan y conforman el sistema de sujeción para este tipo de conectores mecánicos.

- En la siguiente figura se muestran las características técnicas de los conectores ZAP SCREWLOK Tipo 2, datos que han sido obtenidos de la Ficha u Hoja Técnica respectiva. Aquí se consignan valores de Peso o masa, sus dimensiones, tipo de sección transversal, número de filas de tornillos, valor del torque o ajuste requerido para cada uno de los tornillos que conforman el sistema de sujeción de estos conectores:

Figura 10:

Características técnicas de los conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2, utilizados en la tesis

ZAP SCREWLOK® DATA SHEET Dimensions & Data [metric units]		END VIEW (AFTER ASSEMBLY)										
		Sizes 10 - 36	Sizes 38 - 57									
	ZAP SCREWLOK TYPE 2 / EPOXY	REBAR SIZE Metric (US) [Can]	PRODUCT CODE TYPE 2 EPOXY	COUPLER WEIGHT (kg)	LENGTH 'L' (mm)	'A' (mm)	'B' (mm)	'C' (mm)	'X' (mm)	NUMBER SCREWS PER BAR	AVERAGE SCREW TORQUE (Nm)	MIN. IMPACT WRENCH RATING (Nm)
	10 (#3)	03ZBA 03ZEA	0.45	127	21	16	11	29	2			
	12 (#4) [10M]	04ZBA 04ZEA	1.00	178	27	17	13	35	3			
	14 (#5)	05ZBA 05ZEA	1.57	229	31	21	15	41	4		80	350
	16 (#5) [15M]	05ZBA 05ZEA	1.54	229	29	19	16	41	4			
	20 (#6) [20M]	06ZBA 06ZEA	2.13	280	30	24	17	44	5			
	22 (#7)	07ZBA 07ZEA	3.45	330	32	27	21	52	5		140	700
	25 (#8) [25M]	08ZBA 08ZEA	4.94	388	33	27	22	57	6			
	29 (#9) [30M]	09ZBA 09ZEA	7.98	426	41	32	27	67	6		290	1000
	32 (#10)	10ZBA 10ZEA	9.71	486	43	37	29	70	7			
	36 (#11) [35M]	11ZBA 11ZEA	11.5	546	46	38	32	75	8			
	38 (#12)	12ZBA 12ZEA	11.6	330	55	47	38	87	7			
	40 (#13)	13ZBA 13ZEA	12.8	360	54	46	39	89	8			
	43 (#14) [45M]	14ZBA 14ZEA	16.9	457	59	44	38	95	10		470	1400
	50 (#16)	16ZBA 16ZEA	23.8	603	61	52	43	100	16			
57 (#18) [55M]	18ZBA 18ZEA	33.6	749	64	57	46	111	21				

Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

- En el desarrollo de los procesos de ensamblaje de probetas, usando los conectores de tornillo ZAP SCREWLOK, se identificó algunas ventajas de estos conectores frente a los conectores de presión BARGRIP XL, las cuales favorecen significativamente a su ensamblaje tanto en taller como en obra:
 - Los conectores de tornillo ZAP SCREWLOK fabricados por BPI, cuentan con un tope central lo cual permite fácilmente insertar las varillas de acero, y ya no se hace necesario el control de las longitudes de inserción, como sucede en el caso de los conectores de presión BARGRIP XL; estos facilita el ensamblaje de barras mejorando notablemente los rendimientos de instalación de acero de refuerzo a nivel de taller o de obra.

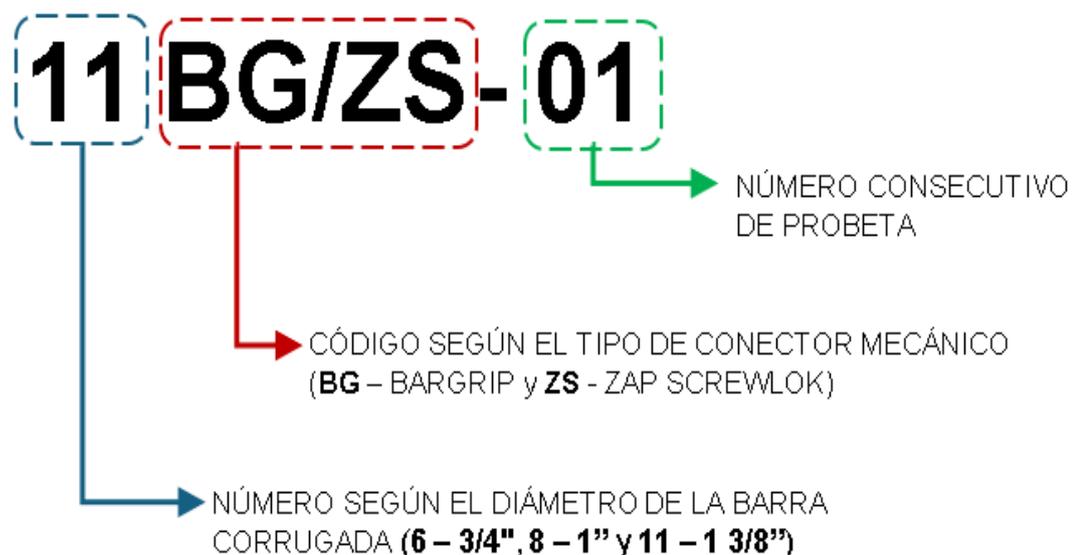
- Otra ventaja importante identificada durante este proceso de ensamblaje; es que no se requiere contar con un equipo de control de ajuste o apriete (Torquímetro), tan solo contar con una llave simple tipo Ratchet y su respectivo juego de dados; debido a que los tornillos de sujeción son de torque controlado, tipo **Twist-off torque**. que al alcanzar el ajuste requerido automáticamente se desprende su cabeza hexagonal como indicativo que el tornillo ya no necesita mayor ajuste o apriete.

La recreación fotográfica detallada de los dos procesos de ensamblaje y elaboración de probetas, se muestra en el Anexo D de este trabajo de investigación.

3.5.3. Codificación y nomenclatura de probetas:

Obtenidas las 18 probetas de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas mediante conectores mecánicos de Presión – BARGRIP XL y conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL en los procesos de ensamblaje, se procedió a su codificación y nomenclatura.

En la presente tesis, se estableció y adoptó la siguiente codificación y nomenclatura de probetas para diferenciarlas por diámetro, tipo de conector mecánico y número de probeta respectivamente. Esto permitió identificarlas antes, durante y post realización de los ensayos de tracción.



De acuerdo a la clasificación de probetas descrita en la página 20 de esta tesis y aplicando los criterios técnicos establecidos para la codificación y nomenclatura de las mismas; las probetas preparadas para este trabajo de investigación quedarán nombradas y clasificadas tal como se indican en las tablas 5 y 6 de esta tesis.

Tabla 5:

Codificación, nomenclatura y clasificación de probetas de acero con Conectores de Presión Tipo 2.

Conector Mecánico	Tipo de Conector	Código y Nomenclatura de Probeta	Diámetro Comercial	Clase de Probeta
BarGrip XL	Tipo 2	6 BG – 01	3/4"	Normalizada
		6 BG – 02		y
		6 BG – 03		Proporcional
		8 BG – 01	1"	Normalizada
		8 BG – 02		y
		8 BG – 03		Proporcional
		11 BG – 01	1 3/8"	Normalizada
		11 BG – 02		y
		11 BG – 03		Proporcional

Tabla 6:

Codificación, nomenclatura y clasificación de Probetas de acero con Conectores de Tornillo Tipo 2.

Conector Mecánico	Tipo de Conector	Código y Nomenclatura de Probeta	Diámetro Comercial	Clase de Probeta
Zap Screwlok	Tipo 2	6 ZS – 01	3/4"	Normalizada
		6 ZS – 02		y
		6 ZS – 03		Proporcional
		8 ZS – 01	1"	Normalizada
		8 ZS – 02		y
		8 ZS – 03		Proporcional
		11 ZS – 01	1 3/8"	Normalizada
		11 ZS – 02		y
		11 ZS – 03		Proporcional

3.5.4. Datos técnicos obtenidos en los procesos de ensamblaje y elaboración de probetas:

En las tablas 7, 8 y 9, se muestran los datos técnicos obtenidos en los procesos de ensamblaje de probetas elaboradas con barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 para los diámetros 3/4", 1" y 1 3/8" unidas con conectores mecánicos de presión BARGIP XL; mientras que en las tablas 10 y 11 de esta tesis, se consignan los datos técnicos obtenidos para el grupo de probetas ensambladas con conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL (De una sola fila de tornillos):

Tabla 7:

Datos técnicos de las barras corrugadas utilizadas en el proceso de ensamblaje para Conectores de Presión BARGRIP XL Tipo 2

Código de Probeta	Barra de Acero Corrugado ASTM A615				Fabricante
	N°	Diámetro		Grado	
		mm	pulg.		
6BG - 01					ACEROS AREQUIPA (Perú)
6BG - 02	N°6	19.1	3/4	60	SIDERPERU (Perú)
6BG - 03					SIDERPERU (Perú)
8BG - 01					SIDERPERU (Perú)
8BG - 02	N°8	25.4	1	60	SIDERPERU (Perú)
8BG - 03					ACEROS AREQUIPA (Perú)
11BG - 01					ACEROS AREQUIPA (Perú)
11BG - 02	N°11	34.9	1 3/8	60	SIDERPERU (Perú)
11BG - 03					SIDERPERU (Perú)

Durante el ensamblaje de estas probetas, se pudo evidenciar que, las probetas de códigos 8BG-01 y 11BG-03 presentaron un desfase de alineamiento o una falta de linealidad axial entre las barras empalmadas mediante el conector mecánico de Presión BARGRIP XL Tipo 2.

Esta falta de linealidad entre las barras ensambladas se debió a que las longitudes de las mismas son muy cortas; entendiéndose que en obra esta observación es poco probable que se produzca o genere debido a que las longitudes de las barras a empalmar superan los 3.50m a más.

Tabla 8:

Datos técnicos Antes del proceso de prensado en las probetas unidas con conectores BARGRIP XL Tipo 2

DATOS ANTES DEL PROCESO DE PRENSADO												
Código de Probeta	Diámetro Barra Corrugada (pulg.)	Conector Mecánico de Presión							Equipo de Prensado			
		Tipo	Fabricante	Código del fabricante	Color del Conector	Longitud Inicial (mm)	Diámetro Interior (mm)	Espesor (mm)	Prensa Manual	Presión (psi)	Mordaza	
											Color	Ancho (mm)
6BG - 01	3/4	BARGRIP XL Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	6XL - 8H	Amarillo	140.0	23.0	6.0	Prensa Portátil BG-750	10000	Amarillo	43.0
6BG - 02				6XL - 8H		140.0	23.0	5.9		10400		
6BG - 03				6XL - 8H		140.0	23.1	5.8		10200		
8BG - 01	1	BARGRIP XL Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	8XL - DS	Negro	177.0	30.6	6.9	Prensa Portátil BG-750	10200	Negro	35.0
8BG - 02				8XL - DS		177.0	30.5	7.0		10400		
8BG - 03				8XL - DS		178.0	30.5	7.0		10600		
11BG - 01	1 3/8	BARGRIP XL Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	11XL - WS	Azul	228.0	41.2	9.6	Prensa Portátil BG-750	10200	Azul	20.8
11BG - 02				11XL - WS		228.0	41.5	9.5		10000		
11BG - 03				11XL - WS		228.0	41.0	9.8		10400		

NOTA TÉCNICA: El ancho de la mordaza de prensado va en valor decreciente mientras mayor es el diámetro del conector y barra de acero corrugado.

OPORTUNIDAD DE MEJORA: En este tipo de conectores se recomendaría que cuente con un tope central (En el centro de la longitud del conector) o realizar un marcado mecanizado en la parte central externa del conector para reducir tiempos de instalación y mejorar los rendimientos en obra.

Tabla 9:

Datos técnicos obtenidos en taller Después del proceso de prensado de los Conectores de Presión BARGRIP XL Tipo 2, utilizados en el ensamblaje de probetas

DATOS OBTENIDOS DESPUÉS DEL PRENSADO													
Código	Barra de Acero Corrugado		Datos Técnicos del Conector Mecánico de Presión				Conector Mecánico de Presión						
	ASTM A615 Grado 60		Tipo	Fabricante	Código del Fabricante	Color del Conector	Longitud	Diámetro	Espesor	Número de	Longitud Final	Incremento	Verific. 
de	Diám. (pulg.)	Fabricante					Inicial (mm)	Interior (mm)	(mm)	Mordidas Totales	Promedio (mm)	en Longitud (mm)	
Probeta													
6BG -01	3/4	ACEROS AREQUIPA	BARGRIP XL Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	6XL - 8H	Amarillo	140.0	23.0	6.0	4	153.50	13.5	OK
6BG -02		SIDERPERU			6XL - 8H		140.0	23.0	5.9	4	155.00	15.0	OK
6BG -03		SIDERPERU			6XL - 8H		140.0	23.1	5.8	4	154.50	14.5	OK
8BG -01	1	SIDERPERU	BARGRIP XL Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	8XL - DS	Negro	177.0	30.6	6.9	7	197.50	20.5	OK (*)
8BG -02		SIDERPERU			8XL - DS		177.0	30.5	7.0	7	199.00	22.0	OK
8BG -03		ACEROS AREQUIPA			8XL - DS		178.0	30.5	7.0	7	200.30	22.3	OK
11BG -01	1 3/8	ACEROS AREQUIPA	BARGRIP XL Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	11XL - WS	Azul	228.0	41.2	9.6	15	260.00	32.0	OK
11BG -02		SIDERPERU			11XL - WS		228.0	41.5	9.5	15	259.50	31.5	OK
11BG -03		SIDERPERU			11XL - WS		228.0	41.0	9.8	14	266.00	38.0	OK (*)

NOTAS TÉCNICAS:

- El equipo de prensado está accionado por Bomba Hidráulica con un Motor Eléctrico de 10Hp con sus respectivo Manómetro (Marca LENZ - Capacidad 15000 psi)
- Se evidencia que mientras mayor es el diámetro del conector y barra de acero, menor es el ancho de la mordaza utilizada en el equipo de prensado, lo cual genera que se incremente el número de mordidas o prensadas durante el proceso de ensamblaje.
- (*) Falta de control en el alineamiento de ambas barras conectadas, durante el proceso de prensado.

OPORTUNIDAD DE MEJORA: En este tipo de conectores se recomendaría que cuente con un tope central (En el centro de la longitud del conector) o realizar un marcado mecanizado en la parte central externa del conector para reducir tiempos de instalación y mejorar los rendimientos en obra.

Tabla 10:

Datos técnicos obtenidos en el proceso de verificación y control de calidad de los conectores ZAP SCREWLOK SL Tipo 2 Antes del ensamblaje de las probetas

DATOS ANTES DEL PROCESO DE ENSAMBLAJE															
Barra de Acero Corrugado ASTM A615 Grado 60						Conector Mecánico de Tornillo							Control de Calidad		
Código de Probeta	Diámetro (#) (pulg.) (mm)	Fabricante	Tipo	Fabricante	Código del Fabricante	Número y Diámetro de Tornillos por barra	Longitud del Conector (mm)		Peso del Conector (Kg)	Dimensiones de la Sección Transversal					Verific. / Observ.
							Fabric.	En Taller		'A' (mm)	'B' (mm)	'C' (mm)	'X' (mm)	Espesor (mm)	
6ZS - 01	N°6	SIDER PERÚ	ZAP SCREWLOK Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	06ZBA - HD - N24B	5 tornillos de 1/2"		279.5	2.13	30.4	24.0	17.6	44.8	6.0	OK
6ZS - 02	3/4	ACEROS AREQUIPA			06ZBA - HD - N24B		280	279.5						5.9	OK
6ZS - 03	19.1	SIDER PERÚ			06ZBA - HD - N24B			280.5						5.8	OK
8ZS - 01	N°8	SIDER PERÚ	ZAP SCREWLOK Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	08ZBA - JW - N25BR	6 tornillos de 5/8"		387.0	4.95	33.6	27.2	22.4	57.6	6.9	OK
8ZS - 02	1	SIDER PERÚ			08ZBA - JW - N25BR		390	387.5						7.0	OK
8ZS - 03	25.4	ACEROS AREQUIPA			08ZBA - JW - N25BR			387.0						7.0	OK
11ZS - 01	N°11	ACEROS AREQUIPA	ZAP SCREWLOK Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	11ZBA - A163 - N34CX	8 tornillos de 3/4"		545.0	11.53	46.4	38.4	32.0	75.2	9.6	OK
11ZS - 02	1 3/8	SIDER PERÚ			11ZBA - A163 - N34CX		550	546.0						9.5	OK
11ZS - 03	34.9	SIDER PERÚ			11ZBA - A163 - N34CX			546.5						9.8	OK

Tabla 11:

Datos técnicos después del proceso de ensamblaje de probetas con conectores ZAP SCREWLOK SL Tipo 2

DATOS OBTENIDOS DESPUÉS DEL PROCESO DE ENSAMBLAJE												
Código de Probeta	Barra de Acero Corrugado		Conector Mecánico de Tornillo			Equipo de Ensamblado Manual				Control de Calidad		
	ASTM A615 Grado 60		Tipo	Fabricante	Código del Fabricante	Equipo de Ajuste	Diámetro Interior del Dado		Torque promedio		Número y Diámetro de Tornillos Totales Torqueados	Verificación / Observación
	Diámetro (#) (pulg.) (mm)	Fabricante					mm	pulg.	N-m	lb-ft		
6ZS - 01	Nº6	SIDERPERÚ	ZAP SCREWLOK Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	06ZBA - HD - N24B	Llave de Palanca Tipo Ratchet con encastre de ½"	13	1/2	80	60	10 tornillos de 1/2"	OK
6ZS - 02	3/4	ACEROS AREQUIPA										
6ZS - 03	19.1	SIDERPERÚ										
8ZS - 01	Nº8	SIDERPERÚ	ZAP SCREWLOK Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	08ZBA - JW - N25BR	Llave de Palanca Tipo Ratchet con encastre de ½"	16	5/8	140	105	12 tornillos de 5/8"	OK
8ZS - 02	1	SIDERPERÚ										
8ZS - 03	25.4	ACEROS AREQUIPA										
11ZS - 01	Nº11	ACEROS AREQUIPA	ZAP SCREWLOK Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	11ZBA - A163 - N34CX	Llave de Palanca Tipo Ratchet con encastre de ½"	19	3/4	290	215	16 tornillos de 3/4"	OK
11ZS - 02	1 3/8	SIDERPERÚ										
11ZS - 03	34.9	SIDERPERÚ										

3.5.5. Traslado de probetas hacia el laboratorio de ensayo de materiales:

Con el apoyo de una camioneta se realizó el traslado de las 18 probetas elaboradas y ensambladas en el taller de la empresa CDV Ingeniería Antisísmica SAC ubicado en la Av. Javier Prado Este N°3349 – San Borja – Lima, hacia el Laboratorio de Ensayo de Materiales N°1 "ING. MANUEL GONZALES DE LA COTERA" perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería; el cual se encuentra ubicado en la Av. Túpac Amaru 210 – Rímac – Apartado 1301 – Lima – Perú.

3.5.6. Preparación de probetas para ensayos de tracción:

Estando ya en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM N°1–FIC–UNI), antes de la ejecución de los ensayos de tracción y en coordinación con el responsable técnico de este Laboratorio, el Lic. JESÚS BASURTO PINAO; se realizó la preparación de las probetas ensambladas y obtenidas en taller.

La preparación de las 18 probetas de acero corrugado unidas con conectores mecánicos, obedece y se realizó teniendo en cuenta las características técnicas, las dimensiones y tolerancias con las que cuentan cada una de las Máquinas Universales pertenecientes a este laboratorio; y de acuerdo a los requisitos técnicos establecidos en la norma ASTM A370-17 para especímenes o probetas de acero:

Este proceso de preparación de probetas, tuvo las siguientes actividades previas y como objetivo:

1. Determinar las dimensiones mínimas para cada una de las probetas según su diámetro; y tal como lo establecen las normas referidas a Ensayos de Tracción en Aceros.

En nuestro país se aplica la Norma Técnica Peruana **NTP 350.405:2015** – "Ensayo de Resistencia a la Tracción en Aceros"; así como también la norma internacional **ASTM A370-17** – "Métodos de ensayo normalizados y definiciones para ensayos mecánicos de productos de acero".

2. Con un la ayuda de un marcador, se procedió a colocar y dejar marcas en cada extremo de las barras empalmadas; a fin de garantizar una misma dimensión y longitud de las barras ensambladas hacia ambos extremos de los conectores mecánicos.
3. Primer Control Dimensional de cada probeta, con un flexómetro.

4. Corte de la longitud de exceso de las barras corrugadas, mediante el uso de una amoladora.
5. Segundo control dimensional de todas las probetas en su conjunto.

Como resultado de este proceso de preparación de las probetas de acero corrugado las cuales están debidamente empalmadas mediante conectores mecánicos, se obtuvieron **Probetas Normalizadas y Proporcionales**, clasificación que obedece a los criterios técnicos descritos en la página 20 de esta tesis.

Las probetas preparadas se ajustan y superan a las dimensiones mínimas establecidas en las normas ASTM A 370-17 y NTP 350.405:2015; la cuales refieren que toda probeta de acero deberá cumplir con el siguiente criterio técnico:

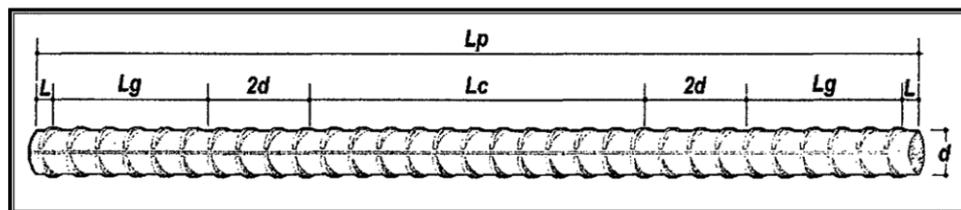
a) Probeta de Ensayo de Tracción:

Según normas las probetas para ensayos de tracción deben ser lo suficientemente largas para proveer 8 Pulg. (203.2 mm) de longitud calibrada, una distancia de por lo menos 2 diámetros de barra entre cada marca de calibración y las mordazas, más una longitud adicional suficiente para llenar las mordazas completamente dejando alguna longitud de exceso que sobresalga más allá de cada mordaza.

A continuación, se muestra un esquema general de una probeta de ensayo de tracción:

Figura 11:

Esquema general de una probeta de barra corrugada para ensayo de tracción, según la norma ASTM A 370-17



Fuente: Norma ASTM A370-17

Donde:

L: Longitud de exceso.

Lc: Longitud calibrada.

2d: Dos veces el diámetro nominal de la barra corrugada.

Lg: Longitud de la mordaza.

Lp: longitud total de la probeta

Para cada una de las probetas o especímenes de acero y según el diámetro de las barras corrugadas utilizadas en el presente estudio, se consideró y calculó los valores de L, Lc, 2d, Lg y la longitud mínima de probeta Lp; según lo establece la norma ASTM A 370-17:

Tabla 12:

Dimensiones de las probetas de acero según la norma ASTM A 370-17

Número y Diámetro de Barra Corrugada	L (mm)	Lg (mm)	2d (mm)	Lc (mm)	Longitud Total Mínima Lp (mm)
# 6 (ϕ 3/4")	50	100	38.2	203.20	391.40
# 8 (ϕ 1")	50	100	50.8	203.20	404.00
# 11 (ϕ 1 3/8")	50	100	69.8	203.20	423.00

Teniendo como base los valores de la Longitud Total Mínima **Lp** obtenidos e indicados en la tabla anterior; y luego de haber verificado las dimensiones y características técnicas de las Máquinas Universales con las que cuenta el Laboratorio de Ensayo de Materiales N°1 ING. MANUEL GONZALES DE LA COTERA (LEM N°1 – UNI); las probetas preparadas presentan las siguientes Dimensiones Iniciales:

Tabla 13:

Dimensiones de las probetas de acero con Conectores de Tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2 preparadas en el laboratorio para los ensayos de tracción

Número y Diámetro de Barra Corrugada	Código de la Probeta	Longitud Total de la Probeta de Acero corrugado (Incluye Conector de Tornillo)		Control de Calidad QC/QA
		Según ASTM A370-17	Preparadas en el LEM N°1 – UNI	Verificación / Observación
# 6 (ϕ 3/4")	6ZS - 01		703 mm	Cumple / Ok
	6ZS - 02	391.40 mm	695 mm	Cumple / Ok
	6ZS - 03		702 mm	Cumple / Ok
# 8 (ϕ 1")	8ZS - 01		986 mm	Cumple / Ok
	8ZS - 02	404.00 mm	995 mm	Cumple / Ok
	8ZS - 03		1005 mm	Cumple / Ok
# 11 (ϕ 1 3/8")	11ZS - 01		1102 mm	Cumple / Ok
	11ZS - 02	423.00 mm	1106 mm	Cumple / Ok
	11ZS - 03		1103 mm	Cumple / Ok

Tabla 14:

Dimensiones de las Probetas de Acero con Conectores de Presión BARGRIP XL Tipo 2 preparadas en el laboratorio para los ensayos de tracción

Número y Diámetro de Barra Corrugada	Código de la Probeta	Longitud Total de la Probeta de Acero corrugado (Incluye Conector de Presión)		Control de Calidad QC/QA
		Según ASTM A370-17	Preparadas en el LEM N°1 – UNI	Verificación / Observación
# 6 (φ 3/4")	6BG - 01		604 mm	Cumple / Ok
	6BG - 02	391.40 mm	598 mm	Cumple / Ok
	6BG - 03		592 mm	Cumple / Ok
# 8 (φ 1")	8BG - 01		610 mm	Cumple / Ok
	8BG - 02	404.00 mm	602 mm	Cumple / Ok
	8BG - 03		605 mm	Cumple / Ok
11 (φ 1 3/8")	11BG - 01		1161 mm	Cumple / Ok
	11BG - 02	423.00 mm	600.5 mm	Cumple / Ok
	11BG - 03		1157 mm	Cumple / Ok

Estas dimensiones iniciales de cada una de las probetas detalladas en las tablas 13 y 14; se tomaron y registraron antes de la realización de los respectivos ensayos de tracción en el laboratorio de ensayo de materiales. Las dimensiones iniciales registradas, incluyen la longitud de cada uno de los conectores mecánicos utilizados para empalmar o unir los diferentes diámetros de barras corrugadas y formar probetas en un sistema Barra-Conector-Barra.

3.5.7. Ensayos de tracción en el Laboratorio de Ensayo de Materiales:

Este proceso está directamente relacionado a la ejecución de los Ensayos de Tracción a cada una de las probetas de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 ensambladas y preparadas en un Sistema Barra-Conector-Barra para los diámetros de 3/4" (#6), 1" (#8) y 1 3/8" (#11).

Estos ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio Ensayo de Materiales N°1 "ING. MANUEL GONZALES DE LA COTERA" perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), entre los meses de julio y agosto del 2019; teniendo una duración aproximada de 21 días hábiles entre actividades administrativas y la realización de ensayos en el laboratorio, el cual finalizó con la entrega de resultados debidamente validados y firmados por los responsables técnicos de dicho laboratorio.

a) Equipos utilizados para actividades antes y durante la realización de ensayos de tracción:

- ✓ Máquina Universal Swick/Roell SP1000 (Incluye tableros eléctricos, pulsador, mordazas, laptop con software específico)
- ✓ Máquina Universal TOKYOKOKY SEIZOSHO (Incluye mordazas y reloj de medición de carga)
- ✓ Termómetro ambiental analógico.
- ✓ Pie de rey o calibrador vernier, con rango de 0 a 6 pulgadas y precisión de 0.03mm con sus respectivas pinzas o mordazas para medidas internas o externas.
- ✓ Flexómetro o wincha metálica de 3m, con precisión de 1/8" en el rango de pulgadas.

En ingeniería, se denomina **Máquina Universal**, a una máquina semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. En este tipo de equipos, la presión se logra con placas o mordazas adicionales y accionadas por tornillos o un sistema hidráulico.

Las máquinas universales, con las que cuenta este Laboratorio de Ensayo de Materiales, presentan las siguientes características técnicas:

• **Máquina Universal N°02**

Marca	: TOKYOKOKI SEIZOSHO
N° de serie del equipo	: 177 T 128
Código Interno UNI	: MUNV-2
Capacidad del equipo	: 20000 kgf, 50000 kgf, 10000 kgf, 5000 kgf, 100000 kgf
División de escala	: 20 kgf, 100 kgf, 10 kgf, 10 kgf, 100 kgf
Panel digital	: Analógico.
Número de serie panel digital	: N.I. (No indica)
Procedencia / Origen	: japonés
Velocidad de Carga	: 10MPa/seg.
Certificado de Calibración N°	: CMC-066-2019
Fecha de calibración	: 17-06-2019
Equipo calibrado por	: CELDA EIRL
Método de calibración	: ASTM E-4
Temp. (°C) y H.R. (%) Inicial	: 19.8 °C / 76%
Temp. (°C) y H.R. (%) Final	: 19.8 °C / 76%

- **Máquina Universal N°03**

Instrumento de Medición	: MÁQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL
Intervalo de Indicaciones	: 0 kgf a 101 972 kgf (0 KN a 1000 KN)
Resolución	: 1 kgf
Marca	: ZWICK ROELL
Modelo	: SP 1000
N° de serie del equipo	: 57940
Código Interno UNI	: MUNV-3
Procedencia	: ALEMANIA
Clase de Exactitud	: NO INDICA
Automatizada	: SOFTWARE testXpert II – Versión 3.4
Velocidad de Carga	: 10MPa/seg.
Certificado de Calibración N°	: LFP-399-2018
Fecha de calibración	: 14-09-2018
Equipo calibrado por	: INACAL – Metrología Laboratorio de Fuerza y Presión
Método de calibración	: Método de Comparación – Norma ISO 7500-1
Temperatura Inicial (°C)	: 21.5 °C
Temperatura Final (°C)	: 22.0 °C

Esta Máquina Universal N° 03, se encuentra automatizada e implementada con un **Software de Pruebas** denominado **testXpert II – Versión 3.4**; el cual le permite realizar las mediciones y grabarlas de forma automática e inmediata; para luego obtener la gráfica Esfuerzo-Deformación de los diversos ensayos realizados.

Este Software utilizado para pruebas de materiales presenta un entorno e interfaz amigable, un funcionamiento sencillo logrando una integración de procesos flexible y un diseño preparado para el futuro como bien lo indica Zwick/Roell fabricante o creador de este software. Esto garantiza pruebas confiables y eficientes, ya sea para métodos de prueba estáticos o dinámicos realizados en máquina o instrumentos de pruebas.

b) Actividades previas a la realización de los ensayos de tracción:

Como parte del protocolo y procedimientos de calidad aprobados y establecidos en este Laboratorio de Ensayo de Materiales, el personal técnico conjuntamente con

el responsable del Laboratorio, planifican y ejecutan una serie de pasos previos a la realización de los ensayos de tracción, como:

- ✓ Inspección total de la integridad a cada uno de los elementos y partes que conforman las máquinas universales a utilizar.
- ✓ Realización de Pruebas en Vacío (sin carga) de cada máquina universal, para verificar la correcta instalación de las mordazas y mecanismos de sujeción con los que cuentan estos equipos de medición y ensayo.
- ✓ Verificación de la Operatividad de las Máquinas de Ensayo Universal Uniaxiales en su conjunto.

c) Ejecución de los ensayos de tracción:

En las instalaciones del laboratorio de ensayo de materiales LEM N°1 – FIC – UNI: “Ing. Manuel Gonzales de la Cotera”; se ensayaron un total de 18 probetas o especímenes elaboradas con barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 de diámetros 3/4", 1" y 1 3/8" unidas mediante conectores mecánicos; y para la ejecución de los ensayos de tracción se utilizaron las Máquinas Universales N°2 y N°3 de este laboratorio.

Las probetas o especímenes de ensayo, se agruparon por el tipo de conector mecánico utilizado en su ensamblaje. Así, se tienen:

- 09 probetas, donde se utilizó conectores de presión BARGRIP XL, y
- 09 probetas restantes donde se usó el conector mecánico de tornillo ZAP SCREWLOK SL.

En ambos casos se utilizaron barras de acero corrugado fabricadas bajo la norma ASTM A615 Grado 60; formando grupos de 03 probetas o especímenes por cada diámetro especificado y para cada tipo de conector mecánico utilizado.

Cada ensayo de tracción, se realizó bajo las normas: ASTM A 370-09 (Métodos de Ensayo y Definiciones Estándar para Ensayos Mecánicos de Productos de Acero) y la Norma Técnica Peruana NTP 350.405:2015 (Ensayo de Resistencia a la Tracción en Aceros).

Ambas normas establecen los métodos de ensayo mecánicos normalizados de productos de acero, así como los equipos, procedimientos, las definiciones y especificaciones dimensionales de las probetas requeridas para realizar los ensayos de tracción respectivos.

Un ensayo de tracción permite determinar las principales Propiedades Mecánicas de un material y dentro de las propiedades mecánicas requeridas para

las barras corrugadas fabricadas bajo la norma ASTM A615/A615M Grado 60, se tienen:

- Resistencia de Tracción (R ó RT), mínimo: 620 MPa <> 63.2 kgf/mm² <> 6320 kgf/cm²
- Esfuerzo de Fluencia (fy ó LF), mínimo: 420 MPa <> 42.8 kgf/mm² <> 4200 kgf/cm²
- Relación R/fy ó RT/LF ≥ 1.25 (sismo resistencia)
- Alargamiento en 8 pulg. (203.2 mm – Longitud calibrada); mínimo (7%, 8% y 9% según el diámetro de la barra ensayada a tracción)

En la siguiente tabla, se muestran estas propiedades mecánicas establecidas, según las normas NTP 341.031 y ASTM A615/A615M para barras corrugadas Grado 60:

Tabla 15:

Propiedades mecánicas de los Aceros NTP 341.031 G60 ó ASTM A615/A615M G60

Diámetro Nominal (d)		Requisitos de Tracción				Doblado a 180°
mm	Pulg.	Límite de Fluencia fy Mpa (Kgf/mm ²)	Resistencia de tracción R Mpa (Kgf/mm ²) mínimo	Relación R/fy ó RT/LF mínimo	% de alargamiento Lo= 203 mm mínimo	Diámetro de mandril de doblado
6	---					
8	---					
---	3/8	420 (42.8)				3.5d
12	---				9	
---	1/2	A	620 (63.2)	1.25		
---	5/8	540 (55.1)				
---	3/4					5d
---	1				8	
---	1 3/8				7	7d

Nota: d = Diámetro nominal de la barra, Lo = Longitud calibrada de la probeta

Fuente: <https://www.siderperu.com.pe> y <https://www.acerosarequipa.com>

La Norma Técnica Peruana NTP 350.405:2015 en su Capítulo 7 Ensayo de Tracción – 7.1 Descripción – Ítem 7.1.1 establece y define: El ensayo de tracción referido al ensayo mecánico de productos de acero, consiste en someter una muestra maquinada o de sección completa del material bajo ensayo a una carga medida y suficiente para causar la ruptura o rotura.

Condiciones técnicas para los ensayos de tracción en el laboratorio:

El Laboratorio de Ensayo de Materiales N° 1 “ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA”; se encuentra debidamente Certificado por la Norma Internacional ISO 9001 y validada por la empresa certificadora SGS del Perú S.A.C. líder mundial en calidad e integridad.

Para los Ensayos de Tracción, se utilizó las Maquinas Universales Uniaxiales: MUNV-2 – Marca TOKYOKOKI SEIZOSHO y MUNV-3 – ZWICK ROELL SP 1000, considerando una Velocidad de Carga de 10MPa/seg. Las características técnicas de ambas Máquinas de Ensayo Universal, se han detallado en las páginas 129 y 130 de la presente tesis.

- Las 09 probetas elaboradas, ensambladas y preparadas con aceros corrugados ASTM A615 Grado 60 de diámetros 3/4", 1" y 1 3/8" de las marcas ACEROS AREQUIPA y SIDERPERU unidas mediante Conectores de Presión BARGRIP XL Tipo2, fueron ensayadas en la fecha 13-08-2019 y durante la realización de estos ensayos de tracción, se registró una temperatura ambiente de 19.3 °C con una humedad atmosférica relativa de 11%.
- Las otras 09 probetas restantes, también elaboradas, ensambladas y preparadas con barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 de diámetros 3/4", 1" y 1 3/8" de las marcas ACEROS AREQUIPA y SIDERPERU empalmadas Conectores de Tornillo ZAP SCREWLOK Tipo 2; se ensayaron el 14-08-2019, día en que se tuvo una temperatura ambiente y humedad atmosférica relativa de 19.6°C y 17% respectivamente.

Así mismo, el responsable técnico del Laboratorio de Ensayo de Materiales LEM N°1 – FIC – UNI, el **Lic. Jesús Basurto Pinao** y la Jefa (e) de Laboratorio **MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata**, emitieron los INFORMES respectivos, donde se contemplan los diferentes datos técnicos relacionados a cada uno de los ensayos de tracción realizados.

Estos datos técnicos obtenidos e inherentes a cada una de las probetas ensayadas, se presentan y detallan en el Anexo J: CERTIFICADOS DEL LABORATORIO – ENSAYOS DE TRACCIÓN del presente trabajo de investigación.

Se coordinó directamente con el responsable técnico del laboratorio, para llevar a cabo la supervisión permanente durante la realización de todos los ensayos de tracción; lo cual ha permitido verificar y validar los valores alcanzados en los INFORMES TÉCNICOS, emitidos por este laboratorio de ensayo de materiales.

A continuación, se muestran los códigos de las probetas con sus diámetros respectivos; ensayadas en la Máquina Universal Uniaxial N°2 (MUNV-2) y en la Máquina Universal N°3 (MUNV-3) del laboratorio de ensayo de materiales:

Tabla 16:

Probetas ensayadas en la Máquina Universal MUNV-2 – TOKYOKOKI SEIZOSHO

Código de Probeta	Diámetro Nominal	Tipo de Conector Mecánico
11BG-01 11BG-03	1 3/8"	De Presión – BARGRIP XL
8ZS-01 8ZS-02 8ZS-03	1"	De Tornillo – ZAP SCREWLOK
11ZS-01 11ZS-02 11ZS-03	1 3/8"	De Tornillo ZAP SCREWLOK

Tabla 17:

Probetas ensayadas en la Máquina Universal MUNV-3 – ZWICK ROELL SP 1000

Código de Probeta	Diámetro Nominal	Tipo de Conector Mecánico
6BG-01 6BG-02 6BG-03	3/4"	De Presión BARGRIP XL
8BG-01 8BG-02 8BG-03	1"	De Presión BARGRIP XL
11BG-02	1 3/8"	De Presión BARGRIP XL
6ZS-01 6ZS-02 6ZS-03	3/4"	De Tornillo ZAP SCREWLOK

El Anexo E de esta tesis, constituye una recreación fotográfica completa de todo el proceso de ejecución de los ensayos de tracción en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales N°1 – ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA – FIC – UNI, incluyendo las actividades previas a la realización de estos ensayos.

3.6. Población de estudio, muestra, unidad de análisis

3.6.1. Población de estudio

Estuvo constituida por 18 probetas elaboradas con barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 empalmadas con conectores mecánicos tipo 2 de la marca BPI; para los diámetros de barras 3/4", 1" y 1 3/8".

3.6.2. Muestra

En este trabajo de investigación el tamaño de la muestra es igual al número de elementos que constituyen la población objetivo o población de estudio. Sin embargo, en la población de estudio, se emplearon dos tipos de conectores mecánicos para unir las barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60, de diámetros 3/4", 1" y 1 3/8"; obteniéndose y diferenciándose dos grupos o sub conjuntos de probetas, que a la vez describen a la muestra:

- 09 probetas de acero unidas con conectores mecánicos de presión BARGRIP XL
- 09 probetas elaboradas con barras de acero empalmadas con conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL

3.6.3. Unidad de Análisis

La resistencia a la tracción del acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas con conectores mecánicos para los diámetros 3/4", 1" y 1 3/8".

3.6.4. Unidad de Observación

Cada probeta ensayada.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos e información:

a. Técnica:

- Experimental, mediante la realización de los respectivos ensayos de tracción.

b. Instrumentos:

- Probetas o especímenes elaboradas con barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas con conectores mecánicos BARGRIP XL y ZAPSCREWLOK SL para los diámetros 3/4", 1" y 1 3/8"; ensayadas en una Máquina Universal Uniaxial.
- Para registrar los datos de cada uno de los ensayos de tracción realizados, el laboratorio utilizó sus formatos estándares aprobados en su plan de calidad.

3.8. Técnicas e instrumentos de procesamiento y análisis de datos:

- a. Técnicas: Se utilizó la estadística descriptiva e inferencial, porque:
 - Se clasificó y agrupó a las probetas de ensayo, por diámetros de barras y por el tipo de conector mecánico utilizado en su empalme.
 - Se ha inferido que los valores de resistencia a la tracción para cada una de las probetas, superen el valor umbral o nominal establecido por las normas de diseño y que a su vez son inherentes al material de los especímenes (Acero corrugado ASTM A615 Grado 60) y a la condición de empalme (Unidas con conectores mecánicos tipo2).
- b. Instrumentos: Para el procesamiento y análisis de la información, se utilizó el software Excel, que es una Hoja de cálculo muy versátil la cual forma parte de Microsoft Office,

3.9. Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados:

3.9.1. Tratamiento y análisis de datos

En el tratamiento y análisis de datos, se aplicó la estadística descriptiva e inferencial para cada una de las variables identificadas. Esto permitió determinar los valores promedio, máximos y mínimos de la resistencia a la tracción y esfuerzo de fluencia registrados en total de probetas ensayadas y en cada uno de los grupos de probetas diferenciadas según el tipo de conector mecánico que se utilizó en su ensamblaje.

Este tratamiento y análisis de datos, también permitió clasificar los diferentes valores y fenómenos técnicos sucedidos antes, durante y posterior a la ejecución de los ensayos de tracción.

Así mismo, con el tratamiento y análisis de datos, se logró comparar los valores de resistencia a la tracción obtenidos en el laboratorio para cada una de las probetas, con el valor mínimo nominal establecido en las normas de diseño (ACI 318-19(22), y la norma peruana E.060); y según la normativa de fabricación de las barras corrugadas (ASTM A615 o NTP 341.031)

Estas normas establecen valores para la resistencia a la tracción, considerando que es una propiedad mecánica inherente al material de las probetas de ensayo y al tipo de conector mecánico utilizado para su empalme (Acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas con conectores mecánicos tipo 2)

3.9.2. Presentación de Resultados

En las tablas 18, 19, 20 y 21; se presentan los valores de esfuerzo de fluencia y resistencia a la tracción obtenidos en el laboratorio de ensayo de materiales; para el total de probetas ensayadas.

Tabla 18:

Esfuerzos de fluencia obtenidos en los ensayos de laboratorio para probetas de acero corrugado unidas con conectores mecánicos de presión BARGRIP XL Tipo 2

Código de Probeta	Barra de Acero Corrugado			DATOS TÉCNICOS DEL CONECTOR MECÁNICO			DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN		Esfuerzo de fluencia según norma (Kg/cm ²)	Verificación del Esfuerzo de Fluencia obtenido en el LEM	
	ASTM A615 Grado 60			Conector Mecánico de Presión			Sistema Barra-Conector-Barra				
	N°	Diámetro mm pulg.		Fabricante	Tipo	Fabricante	Código del fabricante	Esfuerzo de Fluencia (Kg/mm ²)			Esfuerzo de Fluencia (Kg/cm ²)
6BG - 01				ACEROS AREQUIPA			6XL - 8H	45.1	4507.04		CUMPLE
6BG - 02	N°6	19.1	3/4	SIDERPERU	BARGRIP XL Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	6XL - 8H	47.5	4753.52	4200	CUMPLE
6BG - 03				SIDERPERU			6XL - 8H	46.5	4647.89		CUMPLE
8BG - 01				SIDERPERU			8XL - DS	44.3	4431.37		CUMPLE
8BG - 02	N°8	25.4	1	SIDERPERU	BARGRIP XL Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	8XL - DS	49.0	4901.96	4200	CUMPLE
8BG - 03				ACEROS AREQUIPA			8XL - DS	44.5	4450.98		CUMPLE
11BG - 01				ACEROS AREQUIPA			11XL - WS	47.7	4771.37		CUMPLE
11BG - 02	N°11	34.9	1 3/8	SIDERPERU	BARGRIP XL Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	11XL - WS	47.6	4761.43	4200	CUMPLE
11BG - 03				SIDERPERU			11XL - WS	47.1	4711.73		CUMPLE

Tabla 19:

Esfuerzo de fluencia obtenidos en laboratorio para probetas de acero corrugado unidas con conectores mecánicos de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2.

Código de Probeta	Barra de Acero Corrugado			DATOS TÉCNICOS DEL CONECTOR MECÁNICO			DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN		Esfuerzo de fluencia según norma (Kg/cm ²)	Verificación del Esfuerzo de Fluencia obtenido en el LEM	
	ASTM A615 Grado 60			Conector Mecánico de Tornillo			Sistema Barra-Conector-Barra				
	N°	Diámetro mm pulg.		Fabricante	Tipo	Fabricante	Código del fabricante	Esfuerzo de Fluencia (Kg/mm ²)			Esfuerzo de Fluencia (Kg/cm ²)
6ZS - 01				SIDERPERU			06ZBA - HD - N24B	46.5	4647.89		CUMPLE
6ZS - 02	N°6	19.1	3/4	ACEROS AREQUIPA	ZAP SCREWLOK Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	06ZBA - HD - N24B	45.1	4507.04	4200	CUMPLE
6ZS - 03				SIDERPERU			06ZBA - HD - N24B	46.8	4683.10		CUMPLE
8ZS - 01				SIDERPERU			08ZBA - JW - N25BR	49.4	4941.18		CUMPLE
8ZS - 02	N°8	25.4	1	SIDERPERU	ZAP SCREWLOK Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	08ZBA - JW - N25BR	49.0	4901.96	4200	CUMPLE
8ZS - 03				ACEROS AREQUIPA			08ZBA - JW - N25BR	46.3	4627.45		CUMPLE
11ZS - 01				ACEROS AREQUIPA			11ZBA - A163 - N34CX	49.5	4950.30		CUMPLE
11ZS - 02	N°11	34.9	1 3/8	SIDERPERU	ZAP SCREWLOK Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	11ZBA - A163 - N34CX	47.6	4761.43	4200	CUMPLE
11ZS - 03				SIDERPERU			11ZBA - A163 - N34CX	48.3	4831.01		CUMPLE

Tabla 20:

Resistencia a la tracción registrada en los ensayos de laboratorio para probetas de acero corrugado empalmadas con conectores mecánicos de presión BARGRIP XL Tipo 2

Código de Probeta	Barra de Acero Corrugado			DATOS TÉCNICOS DEL CONECTOR MECÁNICO			DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN		Resistencia a la Tracción según norma (Kg/cm ²)	Verificación de la Resistencia a la Tracción obtenida	
	ASTM A615 Grado 60			Conector Mecánico de Presión			Sistema Barra-Conector-Barra				
	N°	Diámetro mm	Fabricante	Tipo	Fabricante	Código del fabricante	Resistencia a la Tracción (Kg/mm ²)	Resistencia a la Tracción (Kg/cm ²)			
6BG - 01			ACEROS AREQUIPA	BARGRIP XL Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	6XL - 8H	77.7	7770.00	6320	CUMPLE	
6BG - 02	N°6	19.1	3/4			SIDERPERU	6XL - 8H	73.3		7330.00	CUMPLE
6BG - 03			SIDERPERU			6XL - 8H	73.4	7340.00		CUMPLE	
8BG - 01			SIDERPERU	BARGRIP XL Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	8XL - DS	74.1	7410.00	6320	CUMPLE	
8BG - 02	N°8	25.4	1			SIDERPERU	8XL - DS	69.2		6920.00	CUMPLE
8BG - 03			ACEROS AREQUIPA			8XL - DS	74.8	7480.00		CUMPLE	
11BG - 01			ACEROS AREQUIPA	BARGRIP XL Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	11XL - WS	69.6	6960.00	6320	CUMPLE	
11BG - 02	N°11	34.9	1 3/8			SIDERPERU	11XL - WS	67.8		6780.00	CUMPLE
11BG - 03			SIDERPERU			11XL - WS	65.6	6560.00		CUMPLE	

Tabla 21:

Resistencia a la tracción obtenida en los ensayos de laboratorio para probetas de acero corrugado empalmadas con conectores mecánicos de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2

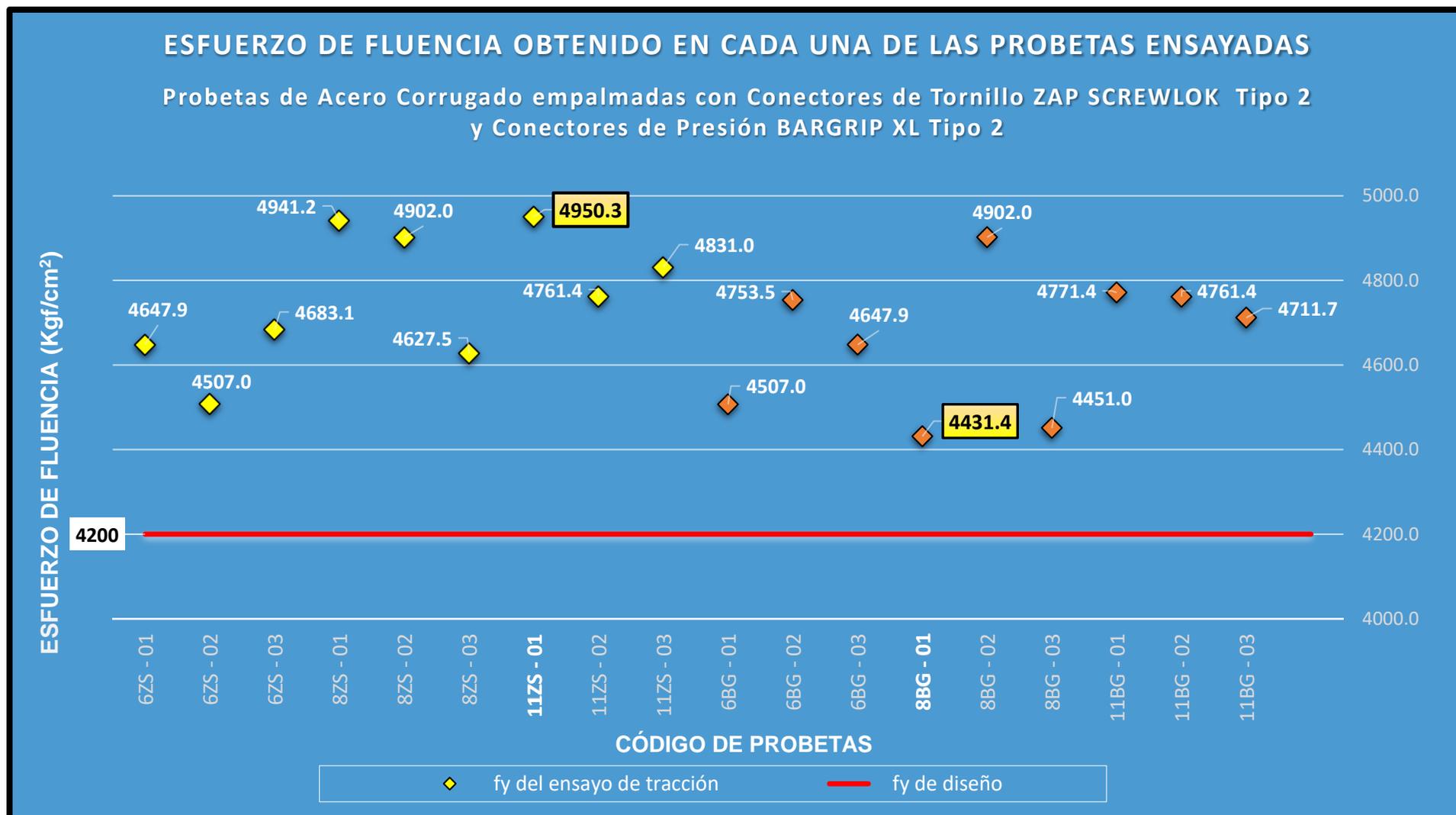
Código de Probeta	Barra de Acero Corrugado			DATOS TÉCNICOS DEL CONECTOR MECÁNICO			DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN		Resistencia a la Tracción según norma (Kg/cm ²)	Verificación de la Resistencia a la Tracción obtenida	
	ASTM A615 Grado 60			Conector Mecánico de Tornillo			Sistema Barra-Conector-Barra				
	N°	Diámetro mm	Fabricante	Tipo	Fabricante	Código del fabricante	Resistencia a la Tracción (Kg/mm ²)	Resistencia a la Tracción (Kg/cm ²)			
6ZS - 01			SIDERPERÚ	ZAP SCREWLOK Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	06ZBA - HD - N24B	64.5	6450.70	6320	CUMPLE	
6ZS - 02	N°6	19.1	3/4			ACEROS AREQUIPA	06ZBA - HD - N24B	72.8		7280.99	CUMPLE
6ZS - 03			SIDERPERÚ			06ZBA - HD - N24B	65.0	6496.83		CUMPLE	
8ZS - 01			SIDERPERÚ	ZAP SCREWLOK Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	08ZBA - JW - N25BR	61.8	6176.47	6320	NO CUMPLE	
8ZS - 02	N°8	25.4	1			SIDERPERÚ	08ZBA - JW - N25BR	64.3		6431.37	CUMPLE
8ZS - 03			ACEROS AREQUIPA			08ZBA - JW - N25BR	67.8	6784.31		CUMPLE	
11ZS - 01			ACEROS AREQUIPA	ZAP SCREWLOK Tipo 2	BarSplice Products, Inc. (USA)	11ZBA - A163 - N34CX	66.6	6660.04	6320	CUMPLE	
11ZS - 02	N°11	34.9	1 3/8			SIDERPERÚ	11ZBA - A163 - N34CX	64.9		6491.05	CUMPLE
11ZS - 03			SIDERPERÚ			11ZBA - A163 - N34CX	63.6	6361.83		CUMPLE	

- **Análisis de los Datos para el total de probetas ensayadas:**

Con la ayuda de gráficos, figuras y tablas, se realizó la presentación de resultados y el análisis de datos respectivo, correspondientes al total de 18 probetas ensayadas en el laboratorio LEM N°1 – FIC – UNI:

Figura 12:

Esfuerzo de fluencia obtenido en el total de probetas ensayadas



- Al analizar los valores de esfuerzo de fluencia presentados en la figura 12, permite concluir que el 100% de las probetas ensayadas, superó el esfuerzo de fluencia especificado en la normativa vigente ($f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$); y que pertenece a barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60.
- **Valor máximo y mínimo del esfuerzo de fluencia obtenidos en el total de probetas ensayadas**

La figura 12 permitió determinar con precisión los valores Máximos y Mínimos del esfuerzo de fluencia registrados en el total de probetas ensayadas.

En la tabla siguiente, se especifican los códigos de probetas que obtuvieron estos valores. Estos códigos y nomenclatura permiten inmediatamente identificar los diámetros de barras y el tipo de conector mecánico utilizado en su ensamblaje:

Tabla 22:

Valor máximo y mínimo del esfuerzo de fluencia obtenidos en el laboratorio, para el total de probetas ensayadas

ESFUERZO DE FLUENCIA ALCANZADO EN LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN			
Valor	f_y (Kg/cm²)	Código de Probeta	Observación
<i>MÁXIMO</i>	4950.30	11ZS-01	Probeta elaborada con barras de acero corrugado de ACEROS AREQUIPA de 1 3/8" y empalmadas mediante un Conector de Tornillo ZAP SCREWLOK Tipo 2.
<i>MÍNIMO</i>	4358.23	8BG-01	Probeta elaborada con barras de acero corrugado SIDERPERÚ de 1" y empalmadas mediante un Conector de Presión BARGRIP XL Tipo 2.

Nota: Ambos valores cumplen con el valor mínimo establecido según norma ($f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$)

- En la figura que se muestra a continuación, se graficó y presentó los valores de Resistencia a la Tracción registrados en el LEM N°1 – FIC – UNI, para el total de probetas ensayadas; conformado por 18 especímenes de acero corrugado de diámetros 3/4", 1" y 1 3/8" unidas con conectores mecánicos BARGRIP XL y ZAP SCREWLOK SL, ambos acoples del tipo 2:

Figura 13:

Resistencia a la tracción obtenida en el laboratorio para el total de probetas ensayadas



Del análisis e interpretación de los resultados presentados en la figura 13, se extrajo la siguiente información:

- **Valor máximo y mínimo de la resistencia a la tracción obtenida en el total de probetas ensayadas:** En la tabla 23, se presentan los valores máximo y mínimo de la variable resistencia a la tracción, que se registró en los ensayos realizados en el laboratorio para un total de 18 probetas de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas con conectores mecánicos tipo 2 (BARGRIP XL y ZAP SCREWLOK SL):

Tabla 23:

Valor máximo y mínimo de la resistencia a la tracción alcanzados en los ensayos de tracción, para el total de probetas

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ALCANZADA EN LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN			
Valor	R_óRT (Kgf/cm²)	Código de Probeta:	Observación
<i>MÁXIMO</i>	7770.0	6BG-01	Probeta elaborada con barras de acero corrugado de ACEROS AREQUIPA de diámetro 3/4" y empalmadas mediante un Conector de Presión BARGRIP XL Tipo 2.
<i>MÍNIMO</i>	6176.5	8ZS-01	Probeta elaborada con barras de acero corrugado SIDERPERÚ de 1" y empalmadas mediante un Conector de Tornillo ZAP SCREWLOK Tipo 2. No cumple con el valor mínimo de Resistencia a la Tracción según norma (RT Mín. 6320 Kgf/cm ²)

- **Cálculo del promedio de la resistencia a la tracción en el total de probetas ensayadas:**

El promedio de la resistencia a la tracción, en el total de probetas ensayadas fue de **6871.31 Kgf/cm²**; y representa el **164% del esfuerzo de fluencia** para este tipo de barras que han sido fabricadas bajo la norma ASTM A615 Grado 60 y empalmadas mediante conectores mecánicos tipo 2.

La probeta de código **8ZS-01**, no alcanzó el valor de la resistencia a la tracción establecida en las normas de diseño. Esto, conllevó a considerar dos escenarios de análisis de datos, en el cálculo del valor promedio de la resistencia a la tracción:

- Primero:** Considerando las 18 probetas ensayadas, hayan o no alcanzado el valor de resistencia a la tracción especificado en las normas.
- Segundo:** Considerando solamente 17 probetas (Excluyendo a la Probeta de código **8ZS-01**; que no alcanzó el valor de resistencia a la tracción esperado.

Los valores promedio de resistencia a la tracción, calculados para ambos escenarios de análisis, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 24:

Valores promedio de la resistencia a la tracción registrados en los ensayos de laboratorio, para probetas de acero corrugado unidas con conectores mecánicos tipo 2

Número de Probetas	Valor Promedio de la Resistencia a la Tracción	Factor Promedio obtenido en función al Esfuerzo de Fluencia Fact. Prom. = f (f_y)	Observación
18	6871.31 Kg/cm ²	1.64	(*)
17	6912.18 Kg/cm ²	1.65	(**)

Notas:

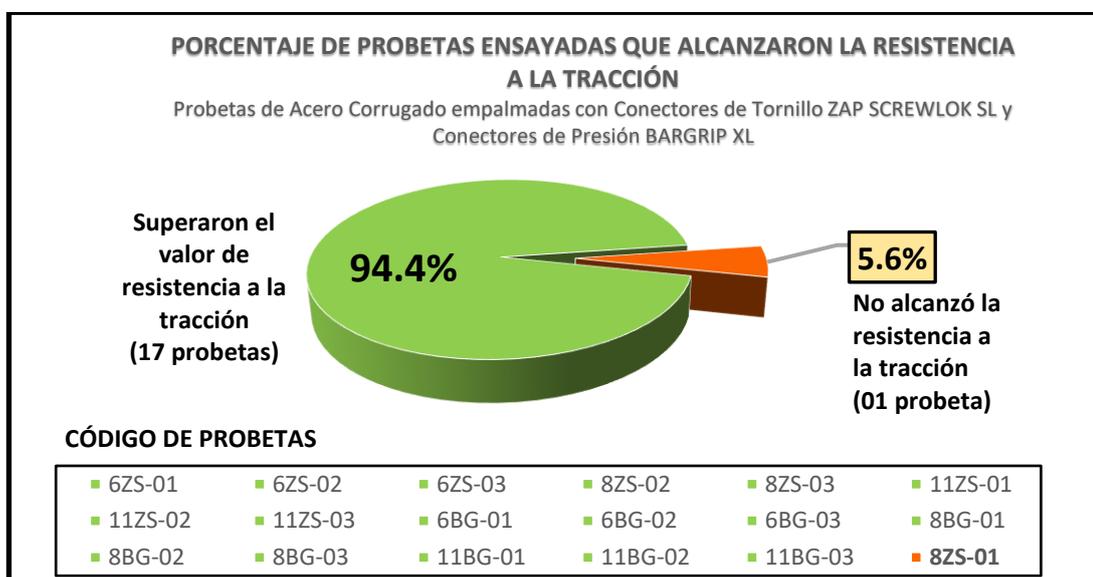
- (*) Valor Promedio, considerando el total de probetas ensayadas, que hayan o no alcanzado el valor de Resistencia a la Tracción.
- (**) Valor Promedio, sin considerar la o las probetas que no alcanzaron la Resistencia a la Tracción esperada ($RT \geq 1.50 f_y$)

En ambos casos, los valores promedio de la resistencia a la tracción, superaron los 6320 Kg/cm² valor especificado en las normas de diseño ACI 318-19(22) y E.060 Concreto Armado; para barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas con conectores mecánicos tipo 2. Este valor de 6320 Kg/cm² representa el 150% del valor del esfuerzo de fluencia ($f_y=4200$ Kg/cm²)

- **Número y porcentaje de probetas que alcanzaron la resistencia a la tracción en el total de probetas ensayadas:**

Figura 14:

Porcentaje de probetas ensayadas que alcanzaron la resistencia a la tracción

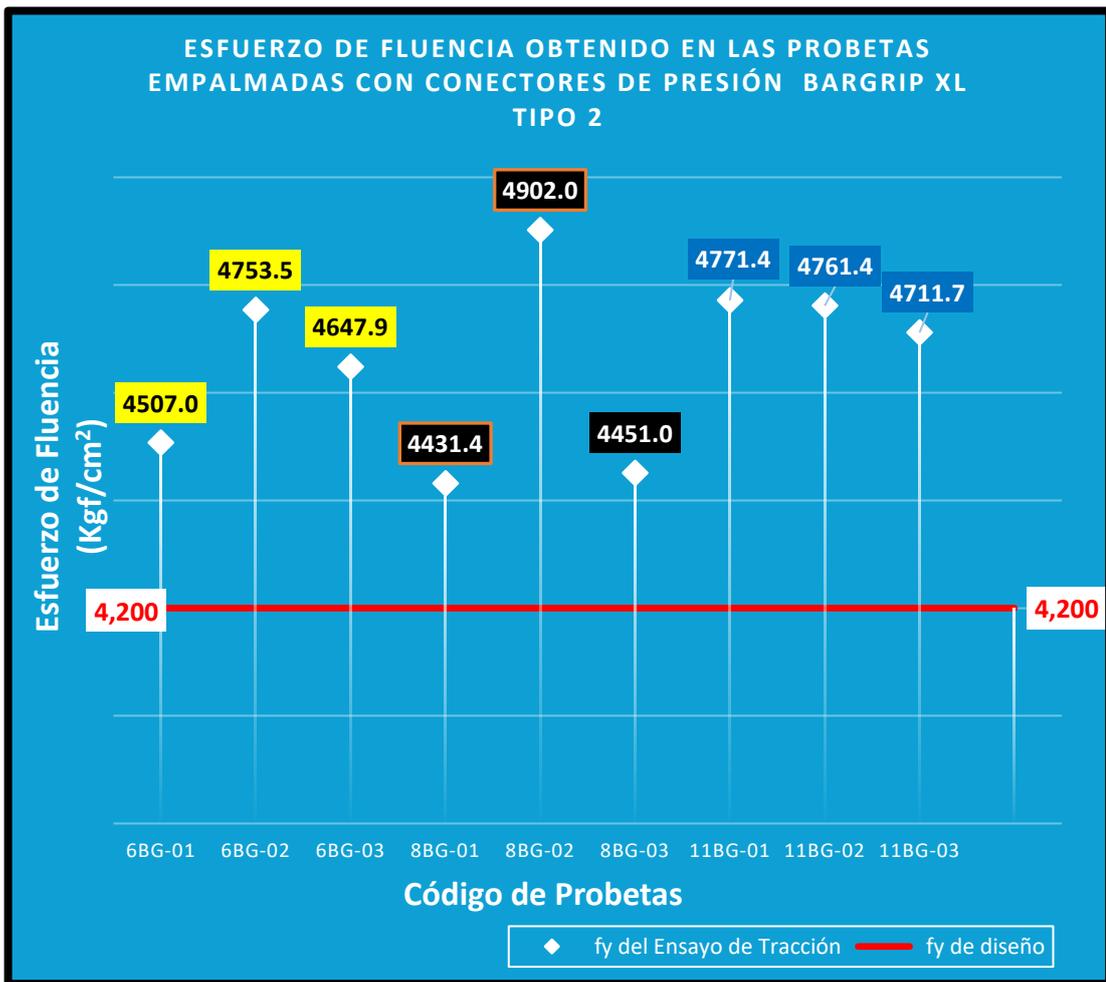


- **Análisis de datos en el grupo de probetas de acero corrugado unidas con conectores mecánicos de presión BARGRIP XL Tipo 2:**

En la figura 15 se grafican y presentan los valores de esfuerzo de fluencia que se registraron en este grupo de probetas (09 probetas ensambladas con Conectores de Presión BARGRIP XL Tipo 2):

Figura 15:

Valores del esfuerzo de fluencia obtenidos en probetas ensayadas y ensambladas con Conectores de Presión BARGRIP XL Tipo 2

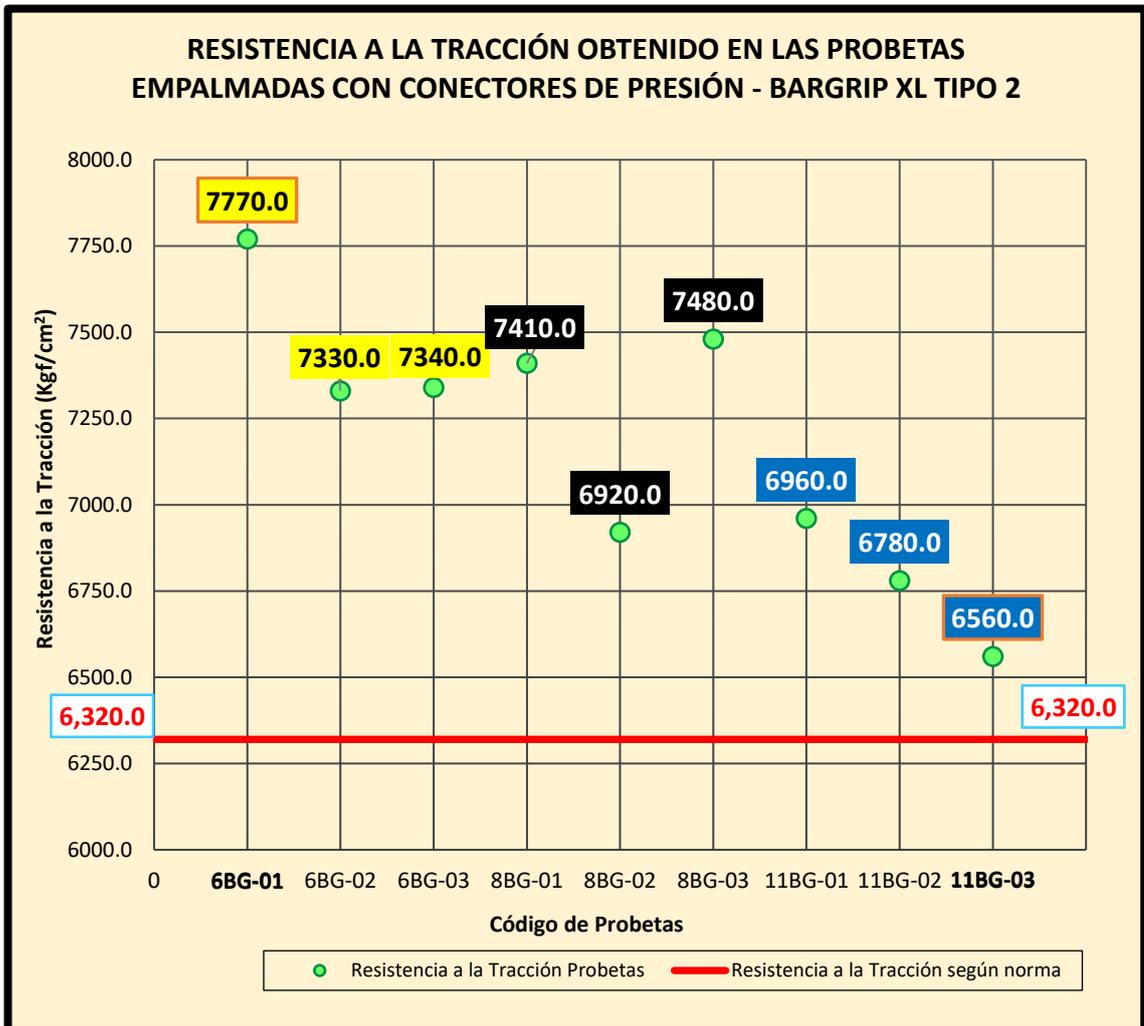


El análisis de estos datos, indica que el 100% de las probetas pertenecientes a este grupo, alcanzó y superó el valor de Esfuerzo de Fluencia ($f_y=4200 \text{ Kgf/cm}^2$) esperado y establecido en la normativa vigente que corresponde a barras de acero corrugado ASTM A 615 Grado 60.

Del mismo modo, para este grupo de probetas, se graficó los valores de Resistencia a la Tracción obtenidos y registrados en el laboratorio de ensayo de materiales. A continuación, en la figura 16 se presentan estos valores:

Figura 16:

Valores de resistencia a la tracción obtenidos en probetas ensayadas y ensambladas mediante conectores de presión BARGRIP XL Tipo 2



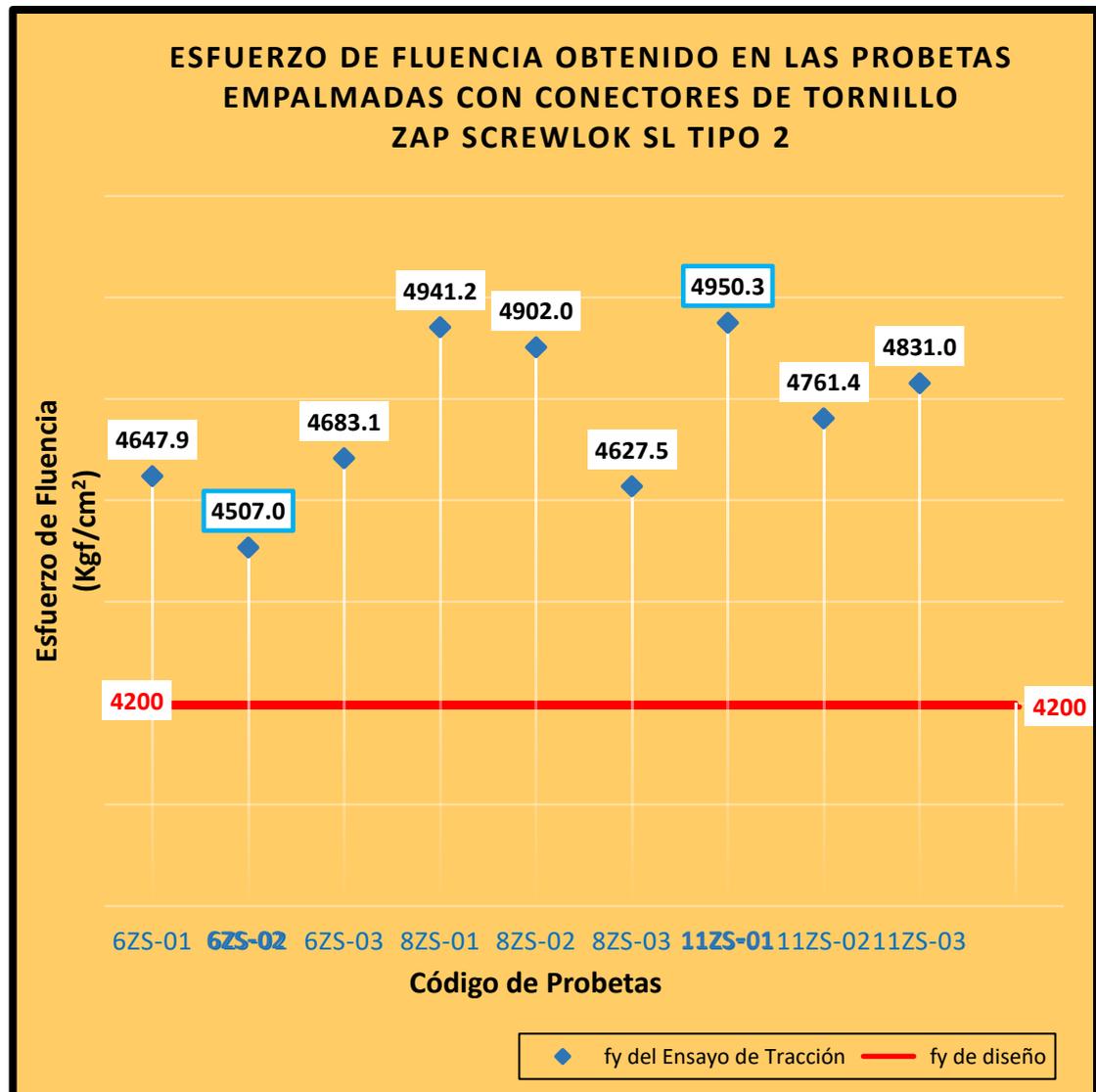
De forma inmediata, el gráfico muestra que el 100% de probetas o especímenes pertenecientes a este grupo alcanzó y superó el valor de Resistencia a la Tracción establecido por el ACI 318-19(22) y la norma peruana E.060-Concreto Armado. Ambas normas indican como valor umbral o valor nominal $RT=6320 \text{ Kgf/cm}^2$, el cual corresponde a barras de acero corrugado ASTM A 615 Grado 60 unidas con conectores mecánicos tipo 2.

- **Análisis de los Datos obtenidos para el grupo de probetas de acero corrugado unidas con conectores mecánicos de tornillo ZAP SCREWLOK SL:**

En las figuras 17 y 18, se muestran y grafican los valores tanto de Esfuerzo de Fluencia como de Resistencia a la Tracción que se registraron en cada uno de los ensayos de las probetas que pertenecen a este grupo.

Figura 17:

Valores del esfuerzo de fluencia obtenido en probetas ensayadas y ensambladas con conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2



El análisis de los datos presentados en esta figura, indican y demuestran que el 100% de estas probetas superó el valor de esfuerzo de fluencia establecido por norma y correspondiente a las barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60.

A continuación, en las figuras 18 y 19 se presentan los valores de Resistencia a la Tracción obtenidos en el laboratorio de ensayo de materiales, para este grupo de probetas o especímenes de acero corrugado unidas mediante conectores mecánicos de tornillo ZAP SCREWLOK SL para los diámetros de 3/4", 1" y 1 3/8". Estos valores de resistencia a la tracción, fueron expresados y graficados como valores puros y de manera porcentual respectivamente: las cuales fueron ensambladas utilizando barras.

Figura 18:

Valores de resistencia a la tracción obtenidos en las probetas ensayadas y ensambladas con conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2

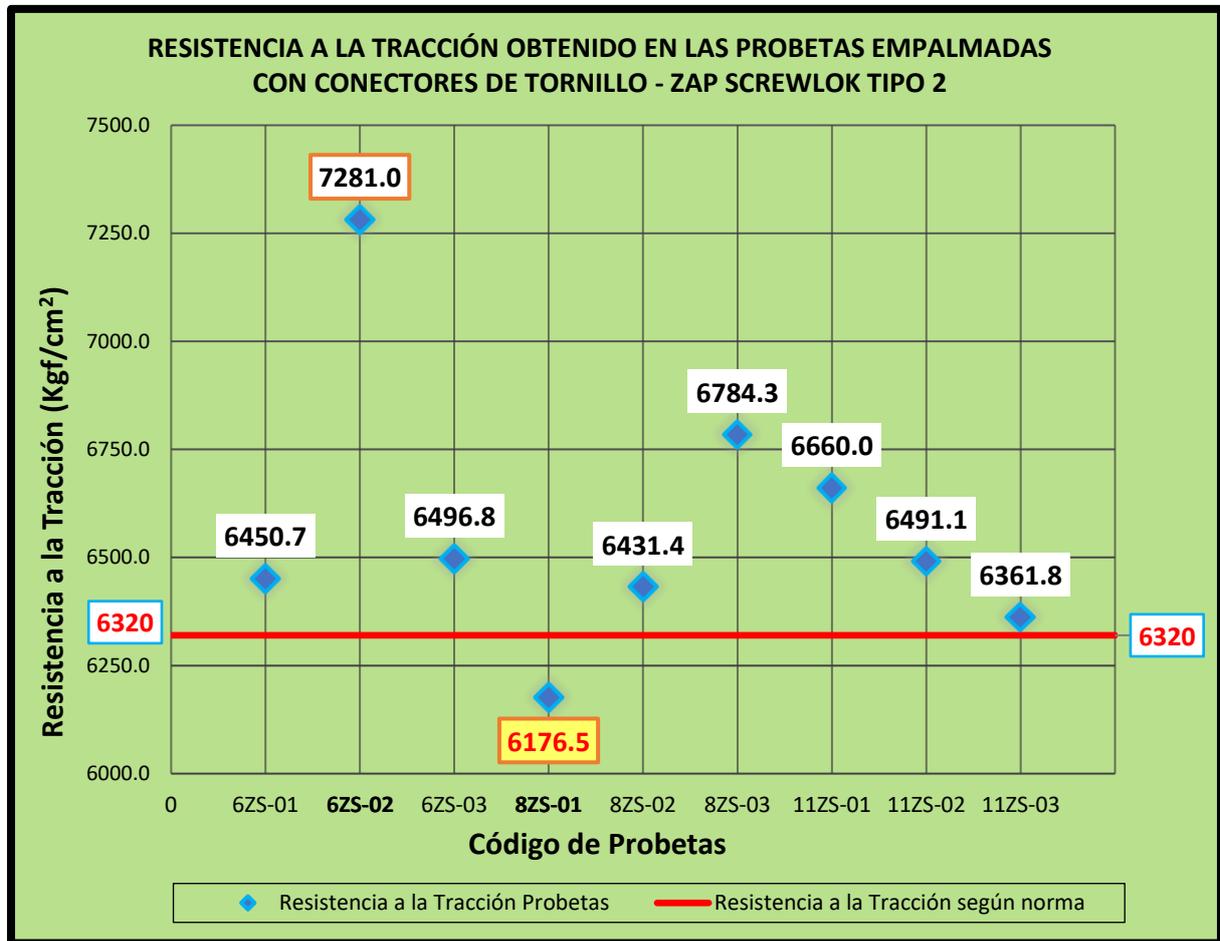
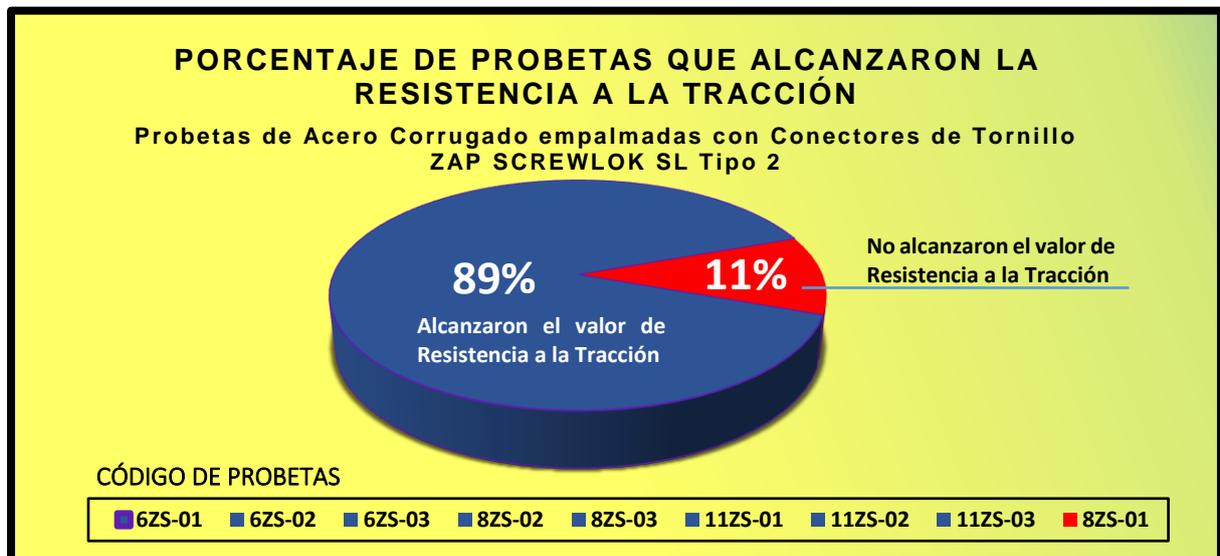


Figura 19:

Porcentaje de probetas ensayadas que alcanzaron la resistencia a la tracción (Probetas ensambladas con conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2)



- **Análisis, identificación y clasificación de tipos de falla presentados en el total de probetas ensayadas:**

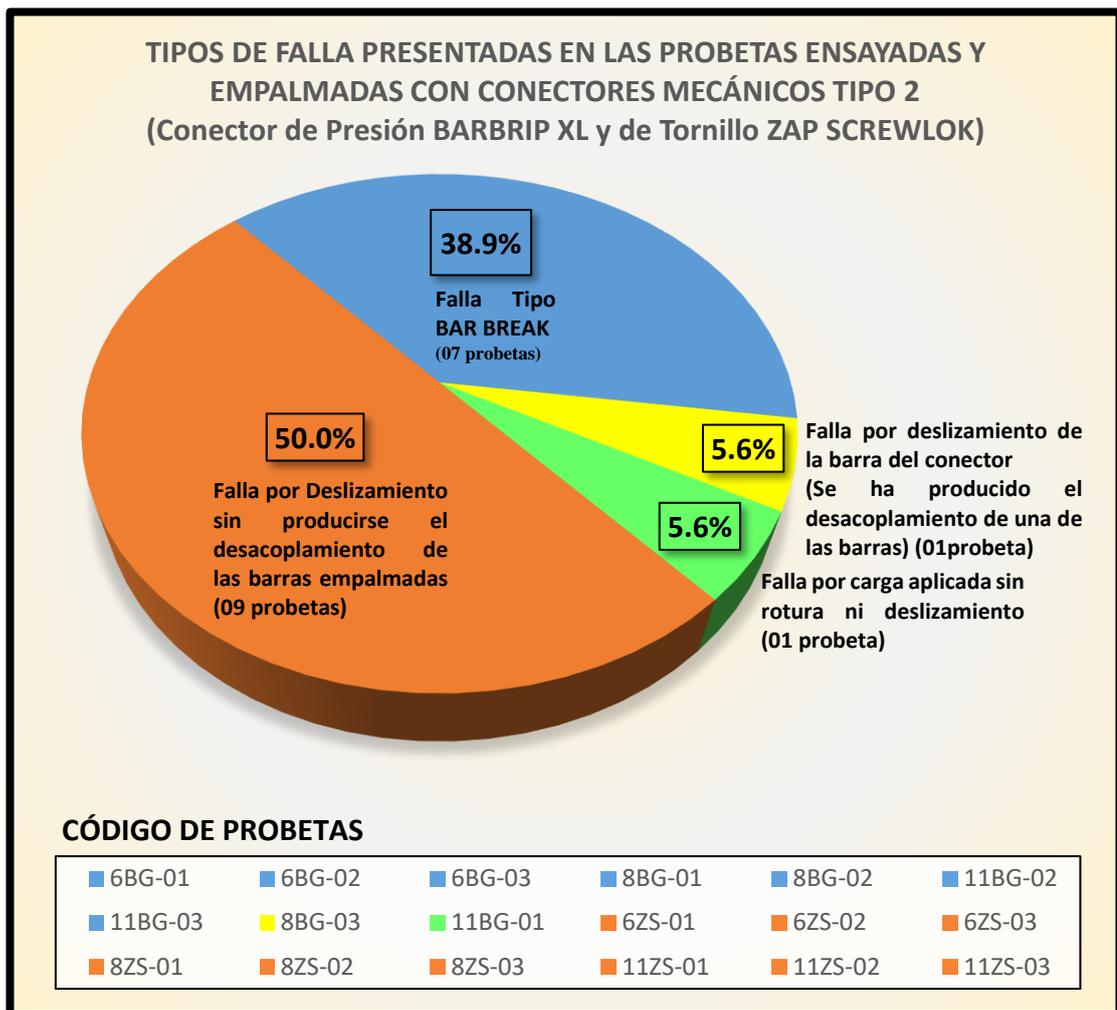
De manera complementaria, se determinó los tipos de falla identificados, clasificados y que presentó cada una de las probetas al ser sometidas al ensayo de tracción respectivo.

En este análisis se ha considerado el total de probetas, conformada por 18 especímenes de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas mediante conectores mecánicos de Presión y de Tornillo, ambos acoples del Tipo 2; para los diámetros de 3/4", 1" y 1 3/8".

En la figura siguiente se muestran el número y porcentajes de probetas, agrupadas por tipos de fallas que presentaron:

Figura 20:

Porcentajes, número y códigos de probetas clasificadas por tipos de falla identificados en el total de probetas ensayadas y ensambladas con conectores mecánicos tipo 2



- **Análisis, identificación y clasificación de tipos de falla presentados en el grupo de probetas de acero corrugado unidas con Conectores Mecánicos de Presión BARGRIP XL Tipo 2:**

Tanto la tabla 25 como la figura 21, presentan los porcentajes de probetas agrupadas de acuerdo al tipo de falla que se ha identificado y presentado en este grupo:

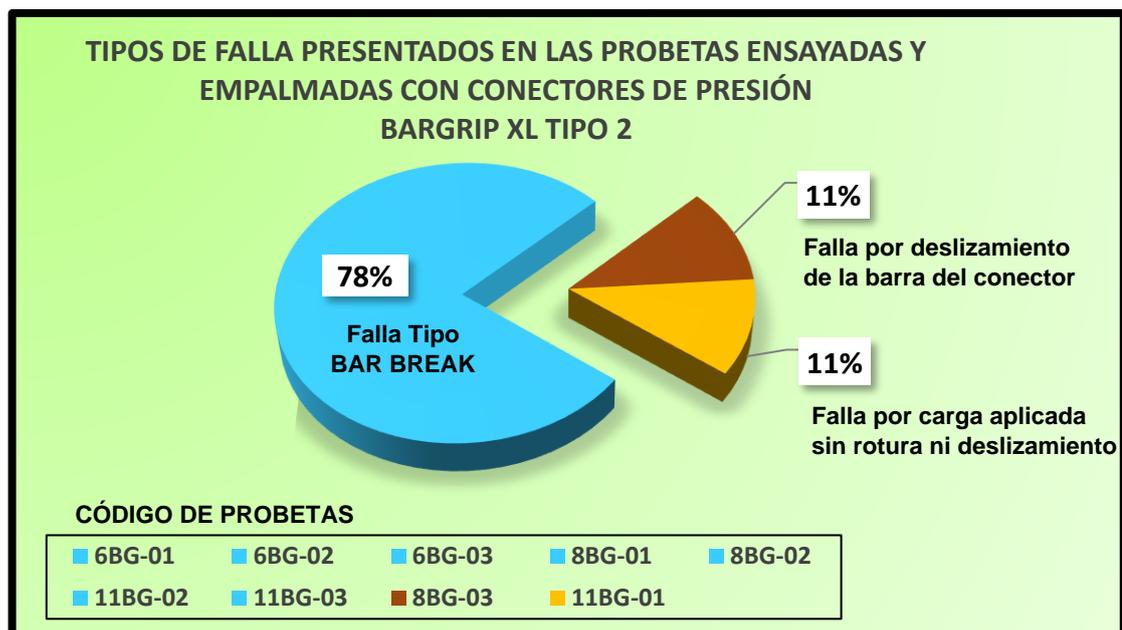
Tabla 25:

Tipos de Falla presentados en las probetas empalmadas con Conectores de Presión BARGRIP XL Tipo 2

GRUPO DE PROBETAS ENSAMBLADAS Y EMPALMADAS MEDIANTE CONECTORES MECÁNICOS DE PRESIÓN BARGRIP XL TIPO 2			
Tipo de Falla	Código de Probetas	Número y Porcentaje de Probetas	
BAR BREAK	6BG-01, 6BG-02, 6BG-03, 8BG-01, 8BG-02, 11BG-02 y 11BG-03	07	78%
Falla por carga aplicada sin rotura ni deslizamiento	11BG-01	01	11%
Falla por deslizamiento de la barra del conector	8BG-03	01	11%

Figura 21:

Porcentajes de probetas agrupadas por tipos de falla que presentaron en las probetas ensambladas con conectores de presión BARGRIP XL Tipo 2)



A) Análisis, identificación y clasificación de tipos de falla en el grupo de probetas de acero corrugado unidas con conectores mecánicos de tornillo ZAP SCREWLOK SL:

El análisis de datos mostrados en la figura 65, y la identificación de las probetas mediante sus respectivos códigos, permite concluir que el 100% de este grupo de probetas (09 especímenes), presentó un tipo de falla típico denominado **Falla por Deslizamiento**.

Estos valores de deslizamiento que se registraron en cada una de las probetas de acero elaboradas con conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2, se muestran y detallan en la tabla 26, a continuación:

Tabla 26:

Valores de Deslizamiento registrado en las probetas ensayadas y empalmadas con Conectores de Tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2

Código de Probeta	Barra de Acero Corrugado ASTM A615 Grado 60				Valor de Deslizamiento		Control de Calidad
	N°	Diámetro		Fabricante	(mm)	(cm)	Observación
		mm	pulg.				
6ZS - 01				SIDERPERÚ	45.5	4.6	Ok (*)
6ZS - 02	N°6	19.1	3/4	ACEROS AREQUIPA	64.5	6.5	Ok (*)
6ZS - 03				SIDERPERÚ	44.0	4.4	Ok (*) (**)
8ZS - 01				SIDERPERÚ	83.0	8.3	Ok (*) (***)
8ZS - 02	N°8	25.4	1	SIDERPERÚ	77.0	7.7	Ok (*)
8ZS - 03				ACEROS AREQUIPA	75.5	7.6	Ok (*)
11ZS - 01				ACEROS AREQUIPA	73.0	7.3	Ok (*)
11ZS - 02	N°11	34.9	1 3/8	SIDERPERÚ	69.0	6.9	Ok (*)
11ZS - 03				SIDERPERÚ	70.5	7.1	Ok (*)

NOTAS TÉCNICAS:

- (*) En ningún caso se presentó el desacople o separación de las barras de acero corrugado conectadas o desde el interior de cada uno de los Conectores Mecánicos utilizados.

- (**) Probeta que registró el Mínimo valor de Deslizamiento.

- (***) Probeta que registró el Máximo valor de Deslizamiento.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego de ejecutar los ensayos de tracción para cada una de las probetas elaboradas con barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60, de diámetros 3/4", 1" y 1 3/8" unidas con conectores mecánicos tipo 2 de la marca BarSplice Products, Inc.; estos resultados fueron registrados y debidamente validados a través de los Certificados e Informes Técnicos emitidos por los responsables del Laboratorio de Ensayo de Materiales N°1 – Ing. Manuel Gonzáles de la Cotera – FIC – UNI.

Con estos resultados se realizó su análisis y discusión, considerando los siguientes escenarios:

- i. Análisis y discusión de resultados en el total de probetas ensayadas (18 especímenes)
- ii. Análisis y discusión de resultados solamente en el grupo de probetas que se ensamblaron con conectores de presión BARGRIP XL (09 probetas)
- iii. Análisis y discusión de resultados en el grupo de probetas ensambladas con conectores de tornillo ZAP SCREWLOK Tipo 2 (09 probetas)
- iv. Asimismo, se realizó el análisis y discusión de los tipos de falla identificados, y que presentaron cada uno de los grupos de probetas detallados en los ítems anteriores (i, ii y iii)

5.1. Análisis y discusión de resultados obtenidos en el total de probetas ensayadas

Considerando el total de probetas ensayadas, el cual está conformado por 18 especímenes que se elaboraron con barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas mediante conectores mecánicos de continuidad tipo 2, tanto de Presión (BARGRIP XL) como de una Sola fila de Tornillos (ZAP SCREWLOK) para los diámetros 3/4", 1", 1 3/8"; se realizó el análisis y discusión de resultados de la siguiente manera:

5.1.1. Análisis de los Esfuerzos de Fluencia registrados en el total de probetas

En la figura 12, en las tablas 18 y 19 de esta tesis; se grafican y presentan los valores de Esfuerzo de Fluencia obtenidos en el laboratorio en este grupo de probetas. El análisis y la discusión de estos datos, permiten afirmar que:

- El **100%** de las probetas ensayadas, **cumplieron y superaron el valor de Esfuerzo de Fluencia** ($f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$), establecido en las normas de diseño de estructuras de concreto armado; y que corresponde a las barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60.

- En el total de probetas ensayadas, el **máximo valor del Esfuerzo de Fluencia** obtenido fue de: **$f_{y\text{máx.}}=4950.30 \text{ Kgf/cm}^2$** y corresponde a la probeta de código **11ZS-01**, elaborada con barras de acero corrugado de la marca Aceros Arequipa de diámetro 1 3/8", unidas mediante un Conector de Tornillo ZAP SCREWLOK Tipo 2.

Este valor representa el **118%** del esfuerzo de fluencia (f_y) considerado para el diseño de estructuras de concreto armado.

- El **valor Mínimo del Esfuerzo de Fluencia** registrado en los ensayos, fue de **$f_{y\text{min.}}= 4358.23 \text{ Kgf/cm}^2$** y le pertenece a la probeta de código **8BG-01**, la cual fue elaborada con barras de acero corrugado SIDERPERÚ de 1" empalmadas mediante un Conector de Presión BARGRIP XL Tipo 2.

Este valor mínimo, representa el **104%** del valor umbral especificado en las normas de diseño.

5.1.2. Análisis de la Resistencia a Tracción registrados en el total de probetas ensayadas

Los valores de Resistencia a la Tracción registrados para cada una de las 18 probetas, han sido presentados en las tablas 20 y 21 para clasificarlos de acuerdo al tipo de conector mecánico utilizado, y en forma gráfica mostrados en la figura 13, facilitando el análisis y la discusión de estos resultados:

- Analizando la figura 13 donde se tuvo en cuenta que la resistencia a la tracción mínima especificada para barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60, está en función del esfuerzo de fluencia ($f_y=4200 \text{ Kgf/cm}^2$) y debe ser mayor o igual al 150% ó el 1.50 de f_y , tal cual lo establecen el ACI 318-19(22) y la normativa peruana E.060, Este análisis permitió afirmar que:
 - i. Las probetas de códigos **6BG-01** y **8ZS-01** registraron el Máximo y Mínimo valor de Resistencia a la Tracción respectivamente. La probeta **8ZS-01**, no cumplió o no superó el valor de resistencia a la tracción esperado y especificado por norma (RT Mín. 6320 Kgf/cm^2)
 - ii. Sin embargo y a pesar de que esta probeta de código **8ZS-01**, no alcanzó el valor mínimo de la resistencia establecida en las normas, al calcular **el valor promedio de la resistencia a la tracción para las 18 probetas ensayadas**; se obtuvo un valor de **6871.31 Kgf/cm^2** el cual representa el **164% del esfuerzo de fluencia** ($f_y=4200 \text{ Kgf/cm}^2$), y este valor promedio, contradictoriamente demuestra que si se alcanzó la

resistencia a la tracción en las barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas con conectores mecánicos tipo 2.

- iii. Por otro lado, se calculó el promedio de la resistencia a la tracción, **excluyendo la probeta de código 8ZS-01** que no superó el valor mínimo nominal. Este valor promedio fue de **6912.18 Kgf/cm²** que representa **el 165% del esfuerzo de fluencia** para este tipo de barras corrugadas.
- iv. De la figura 13, también se puede extraer de forma inmediata, el valor máximo registrado para la variable resistencia a la tracción, el cual fue de **7770.0 Kgf/cm²**, y que corresponde a la probeta elaborada con barras de acero corrugado de diámetro 3/4", de la marca Aceros Arequipa, empalmadas mediante un conector de presión BARGRIP XL Tipo 2, cuyo código de probeta es el **6BG-01**.
- v. Este valor máximo representa el **185% del Esfuerzo de Fluencia**, y a su vez supera en un **35% más** al valor establecido en las normas ACI 318 y E.060 Concreto Armado, para barras de acero corrugado empalmadas con conectores mecánicos tipo 2.
- vi. El análisis e interpretación de los resultados presentados en la figura 13, indica que el mínimo valor registrado de resistencia a la tracción, pertenece a la probeta de código **8ZS-01** y este fue de **6176.5 Kgf/cm²**. Esta probeta fue elaborada con barras de acero corrugado Siderperú de diámetros 1" y empalmadas mediante un Conector de Tornillo ZAP SCREWLOK Tipo 2.

Es posible atribuir que esta probeta no alcanzó el valor de resistencia a la tracción, debido a que **presentó el mayor valor de deslizamiento 83mm u 8.3 cm**, tal como se puede apreciar en la tabla 27 del presente trabajo de investigación.
- vii. Al mínimo valor de Resistencia a la Tracción (6176.5 Kgf/cm²), registrado en el total de probetas ensayadas y que le pertenece a la probeta de código **8ZS-01**; le ha faltado tan solo un **2.27%** que se traduce en **143.50 Kgf/cm²**, para alcanzar el valor umbral establecido.

- viii. Sin embargo, si se efectúan los valores de la Resistencia a la Tracción y Esfuerzo de Fluencia alcanzados por esta probeta de código **8ZS-01**, a fin de obtener la Relación de Sismo-resistencia tendremos como resultado **1.25**; demostrando que las barras de acero corrugado de 1” utilizadas para su ensamblaje **cumplen** con lo establecido en la norma ASTM A615 para barras de acero corrugado Grado 60.
- El análisis e interpretación de los resultados de Resistencia a la Tracción que se presentaron y expresaron en términos de porcentajes en la figura 14, permiten afirmar que:
 - i. El **94.4%** representado por 17 probetas del total de probetas ensayadas, **alcanzaron el Valor de Resistencia a la Tracción** esperado para especímenes elaborados con barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 y unidas con Conectores Mecánicos Tipo 2.
 - ii. Un **5.6 %** del total de probetas ensayadas, **no alcanzó la Resistencia a la Tracción** y este porcentaje está representado por la única probeta de código **8ZS-01**.

5.1.3. Análisis de ambas variables (fy y RT) en términos generales:

- Al analizar los valores máximos y mínimos obtenidos, tanto para el Esfuerzo de Fluencia como de la Resistencia a la Tracción; se puede visualizar y concluir que no necesariamente la probeta que alcanzó el mayor valor de Esfuerzo de Fluencia vaya a alcanzar el máximo valor de la Resistencia a la tracción.
- Otra conclusión que se puede extraer de forma inmediata, es que, no necesariamente las probetas que han sido elaboradas con los diámetros mayores (1 3/8”) van a llegar alcanzar los máximos valores de esfuerzo de fluencia y resistencia a la tracción durante la realización de los ensayos.
- Lo señalado en el párrafo anterior, explica que esta variabilidad de valores de esfuerzo de fluencia y resistencia a la tracción, pueda deberse a múltiples factores, tanto de composición química, molecular, etc., de las barras de acero corrugado y del tipo de conector mecánico utilizado. Así como también puede deberse a factores externos como la temperatura, humedad relativa, mala

sujeción y desgaste de los mecanismos pertenecientes a los equipos de medición y ensayo, velocidad de carga, etc.

Todos estos factores y parámetros externos, se conjugan e influyen directa e indirectamente durante la realización de un ensayo de tracción en un laboratorio de ensayo de materiales; por lo que se sugiere un adecuado control de calidad y supervisión concurrente.

5.2. Análisis del grupo de probetas de acero ensambladas mediante conectores mecánicos de presión BARGRIP XL Tipo 2

Considerando sólo y específicamente a las 09 probetas de acero corrugado y ensambladas mediante Conectores Mecánicos de Presión BARGRIP XL Tipo 2, como unidades muestrales del total de probetas ensayadas a tracción; se tiene:

5.2.1. Análisis de los Esfuerzos de Fluencia en este grupo de probetas

El análisis e interpretación de la figura 15 en la cual se graficó y presentó los valores de esfuerzo de fluencia obtenidos en el laboratorio para este grupo de probetas, indican que:

- El **100%** de estas probetas de acero empalmadas con Conectores Mecánicos de Presión BARGRIP XL Tipo 2, alcanzó y superó el valor de Fluencia ($f_y=4200\text{Kgf/cm}^2$) establecido en la normatividad vigente para barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60.
- De esta misma figura, se extrajo rápidamente los valores Máximo y Mínimo del Esfuerzo de Fluencia registrados en los ensayos de tracción para este grupo de probetas; los cuales fueron de **4902.0** y **4431.4 Kgf/cm^2** ; que corresponden a las probetas de códigos **8BG-02** y **8BG-01** respectivamente. Ambas probetas fueron ensambladas con barras 1" de diámetro, de la marca SIDERPERU, unidas mediante acoples de presión BARGRIP XL Tipo 2.
- Al calcular el valor promedio del Esfuerzo de Fluencia para este grupo de probetas, se obtuvo **4659.70 Kgf/cm^2** , que representa el **1.11% más del esfuerzo de fluencia** conocido y considerado en el diseño de estructuras de concreto armado, con barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60.

5.2.2. Análisis de la Resistencia a la Tracción en este grupo de probetas

En la figura 16 muestra de manera gráfica los valores de resistencia a la tracción registrados en el laboratorio de ensayo de materiales y que pertenecen a este grupo de probetas. El análisis e interpretación de esta figura, permite afirmar que:

- i. El **100% de las probetas de este grupo alcanzaron los valores de resistencia a la tracción**, establecido para empalmes mecánicos con acopladores Tipo 2. Este valor de resistencia a la tracción mínimo requerido, se traduce en el 150% del Esfuerzo de Fluencia, cuyo valor equivalente es de 6320 Kgf/cm²; establecidos tanto en la Norma E.060-Concreto Armado, como en el ACI 318-19(22).
- ii. El máximo valor de resistencia a la tracción alcanzado en este grupo de probetas fue de **7770.0 Kgf/cm²**, y que le corresponde a la probeta de código **6BG-01** (Probeta de acero con conector mecánico de presión BARGRIP XL Tipo 2 para un diámetro de barras de 3/4" de la marca Aceros Arequipa).
- iii. El menor valor de Resistencia a la Tracción registrado en este grupo de probetas fue de **6560.0 Kgf/cm²** y le corresponde a la probeta con código **11BG-03** (Probeta de acero con conector mecánico de presión BARGRIP XL Tipo 2 para un diámetro de barras de 1 3/8" de la marca SIDERPERÚ).
- iv. Al analizar lo descrito en los item ii y iii, permitió afirmar que **no necesariamente las barras de acero corrugado de mayor diámetro van a alcanzar el mayor valor de Resistencia a la Tracción**, las cuales han sido ensambladas o empalmadas bajo el sistema Barra-Conector-Barra. Muy por el contrario y para el caso se puede indicar lo siguiente:
- v. Que el mayor valor de Resistencia a la Tracción, se registró en una probeta ensamblada con barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 para un diámetro 3/4" mientras que el menor valor de Resistencia a la Tracción se obtuvo en una probeta elaborada con barras de 1 3/8".
- vi. El promedio de la resistencia a la tracción en este grupo de probetas, fue de **7172.22 Kgf/cm²**; que representa el **113%** más del valor nominal de la resistencia a la tracción y en función del esfuerzo de fluencia; podremos afirmar que este promedio es el **171% del fy**; que supera ampliamente al valor

establecido en la normatividad vigente para el diseño de estructuras de concreto armado (150% del f_y); específicamente para barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas con conectores mecánicos tipo 2.

5.2.3. Análisis de ambas variables (f_y y RT) para este grupo de probetas:

Al analizar los valores Esfuerzo de Fluencia y Resistencia a la Tracción que se registraron en los ensayos de laboratorio para este grupo de probetas, permite concluir, que no necesariamente la probeta que alcanzó el máximo valor del esfuerzo de fluencia; logre alcanzar el mayor valor de resistencia a la tracción.

5.3. Análisis del grupo de probetas de acero ensambladas mediante conectores mecánicos de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2

Este grupo está conformado por 09 probetas ensambladas en un sistema Barra-Conector-Barra, donde se utilizó barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas mediante Conectores Mecánicos de una Sola Fila de Tornillos de la marca BPI que corresponden a los conectores ZAP SCREWLOK Tipo 2.

Los resultados de Esfuerzo de Fluencia y Resistencia a la Tracción obtenidos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales LEM N° 1 – FIC – UNI; pertenecientes a las probetas que conforman este grupo; se han graficado y se presentan en las figuras 17, 18 y 19 de esta tesis. El análisis e interpretación de estas figuras, se muestra a continuación:

5.3.1. Esfuerzos de Fluencia registrados en este grupo de probetas

- Los datos graficados y presentados en la figura 17, demuestran que el **100%** de las probetas pertenecientes a este grupo, alcanzó y superó **el Valor de Fluencia ($f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$)**, valor intrínseco para las barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 y establecido como valor de diseño, tanto en la norma peruana E.060-Concreto Armado y como en el ACI 318-19(22),
- En esta misma figura (Figura 17), se pueden extraer rápidamente los valores máximo y mínimo del esfuerzo de fluencia registrados en este grupo de probetas, los cuales fueron de **4507.0 Kg/cm²** y **4950.3 Kg/cm²**; y que a su vez pertenecen a las probetas de códigos **6ZS-02** y **11ZS-01** respectivamente.

- Estos códigos **6ZS-02** y **11ZS-01**, indican cuál es el diámetro de las barras que se utilizó para el ensamblaje de estas probetas; y corresponden a **3/4"** y **1 3/8"** respectivamente.
- El valor **promedio del Esfuerzo de Fluencia** que se registró en este grupo de probetas, fue de **4761.26 Kgf/cm²**, que supera en un **113% más**, al valor nominal establecido ($f_y=4200 \text{ Kgf/cm}^2$) para las barras corrugadas ASTM A615 Grado 60.

5.3.2. Análisis de Resistencia a la Tracción en este grupo de probetas

Los valores obtenidos en este grupo de 09 probetas, para la variable Resistencia a la Tracción, han sido expresados y graficados como valores puros y de forma porcentual en las figuras 18 y 19 respectivamente. Los análisis correspondientes a esta variable, se detallan a continuación:

- Análisis y discusión de los resultados presentados en la figura 18:
 - i. El **Máximo valor** de Resistencia a la Tracción que se registró para este grupo de probetas; fue de **7281.0 Kgf/cm²** y le pertenece a la probeta de código **6ZS-02** (Probeta de acero con conector mecánico de Tornillo ZAP SCREWLOK Tipo 2, para un diámetro de barras de 3/4")
 - ii. Si queremos expresar este valor máximo alcanzado y registrado en la probeta de código **6ZS-02** para la variable Resistencia a la Tracción, en términos porcentuales y en función al esfuerzo de fluencia diremos que representa el **173% más**, del valor nominal establecido y que está expresado por la siguiente relación $RT \geq 150\%$ de f_y .
 - iii. El análisis y por lo expuesto en el ítem (i) se puede afirmar, que no necesariamente las barras de acero corrugado de mayor diámetro o sección transversal van a alcanzar el mayor valor de Resistencia a la Tracción. En este grupo, el máximo valor de Resistencia a la Tracción se registró en una probeta conformada por barras de diámetro 3/4".
 - iv. El menor valor de Resistencia a la Tracción que se registró en este grupo de probetas, fue de **6176.50 Kgf/cm²** y corresponde a la probeta de código **8ZS-01**, la cual está conformada por barras de acero corrugado de 1" unidas con un conector mecánico de tornillo ZAP SCREWLOK Tipo 2; el cual a su vez presenta una sola fila de tornillos de sujeción.

- v. Este menor valor de Resistencia a la Tracción, no ha superado el valor nominal mínimo establecido por la normatividad vigente e intrínseco para barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60, el cual tiene un valor equivalente los 6320 Kgf/cm², y representa el 150% del fy (Esfuerzo de fluencia considerado en el diseño de estructuras de concreto armado)
- vi. Sin embargo, y a pesar de que la probeta de código **8ZS-01**, no alcanzó el valor de resistencia a la tracción esperado; se calculó el **valor promedio de la variable Resistencia a la Tracción** en este grupo de probetas, obteniéndose **6570.40 Kgf/cm²**, el cual representa el **156% más del fy** de diseño y correspondiente a las barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60.

- **Análisis y discusión de los resultados presentados en la figura 19:**

En esta figura se muestran los valores de Resistencia a la Tracción en términos de porcentaje y al mismo tiempo se indican el número y código de probetas empalmadas con conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2 que alcanzaron y otras que no lograron superar el valor de resistencia a la tracción según normativa nacional e internacional.

El análisis e interpretación de estos resultados, indican que:

- i. El **89%** de las probetas ensayadas y pertenecientes a este grupo de probetas, alcanzaron la Resistencia a la Tracción establecida para empalmes mecánicos mediante acopladores o conectores tipo 2; cuyo valor nominal es de 6320 Kgf/cm² y que a su vez representa el 150% del Esfuerzo de Fluencia según lo indica el ACI 318-19(22) y la norma E.060-Concreto Armado. Este porcentaje está representado por 08 probetas.
- ii. Por otro lado, la única probeta de código **8ZS-01**, no alcanzó el valor mínimo de Resistencia a la Tracción, la cual representa el **11%** de las probetas que conforman grupo. Esta probeta, estaba compuesta por barras de acero corrugado de diámetro 1" empalmadas mediante un conector mecánico de tornillo ZAP SCREWLOK Tipo 2 (Conector de una sola fila de tornillos).

5.4. Determinación y análisis de los tipos de falla presentadas en las probetas ensayadas

La determinación de los Tipos de Fallas, presentados en los ensayos de tracción para las 18 probetas; se realizó mediante la observación directa en el laboratorio de ensayo de materiales, donde se verificó las condiciones e integridad de cada una de la probetas ensayadas; y se determinó que se presentaron hasta 4 tipos de fallas:

- **Falla por deslizamiento**, sin que se produzca el desacoplamiento de las barras empalmadas.
- **Falla Tipo BAR BREAK**, típica de los conectores mecánicos y que constituye una de las características y grandes ventajas técnicas que ofrecen este tipo de acoples o empalmes mecánicos.
- **Falla por carga aplicada sin rotura ni deslizamiento.**
- **Falla por deslizamiento de la barra del conector**, donde se ha producido el desacople de una de las barras corrugadas desde el interior del conector mecánico.

5.4.1. Tipos de fallas presentadas en el total de probetas ensayadas

Teniendo en cuenta los tipos de falla descritos anteriormente y evidenciados durante la ejecución de los ensayos de los 18 de tracción; se procedió agrupar y clasificar a las probetas de acuerdo a la tipología de falla que presentaron en los ensayos respectivos. Estos valores y criterios de clasificación se muestran de forma porcentual en la figura 20 de esta tesis.

- Análisis y discusión de resultados presentados en la figura 20:
 - i. El **50%** de las probetas ensayadas, **presentaron la Falla por Deslizamiento – sin producirse el desacoplamiento de ninguna de las barras de acero corrugado empalmadas**. Este 50% corresponden a las 09 probetas elaboradas y ensambladas mediante los Conectores de Tornillo ZAP SCREWLOK Tipo 2; cuyos códigos son: 6ZS-01@03, 8ZS-01@03 y 11ZS-01@03.
 - ii. Si quisieramos conceptualizar esta tipología de falla, se traduce en un desplazamiento de una o de las barras de acero conectadas hacia el exterior o fuera de la zona de empalme, mostrándose en la superficie de la o las barras corrugadas un ahuellamiento y acanaladura producto de la tensión a la cual ha sido sometida la probeta.

- iii. Este ahuellamiento y acanaladura han sido directamente generados por cada una de las puntas de los tornillos que conforman el sistema de sujeción de estos conectores mecánicos; ya que durante el proceso de ensamblaje de estas probetas y el respectivo acoplamiento de las barras corrugadas en el interior de estos conectores; los Tornillos BPI de Torque Controlado, se incrustan e hincan en cada una de las barras de acero logrando conformar el sistema Barra-Conector-Barra y la sujeción requerida en estos tipos de empalme.
- iv. Al identificar los códigos de las probetas que presentaron este tipo de falla (Falla por Deslizamiento, sin producirse en ninguna de ellas el desacoplamiento de las barras empalmadas desde el interior de cada uno de estos conectores); este número de probetas representan el 100% de las probetas elaboradas y unidas mediante conectores mecánicos de tornillo ZAP SCREWLOK Tipo 2 para los diámetros de 3/4", 1" y 1 3/8".
- v. Por otro lado, esta acanaladura generada por los tornillos de sujeción sobre la superficie de las barras empalmadas y al ser sometidas al ensayo de tracción, evidencia que estos tornillos que conforman el sistema de sujeción en este tipo de conectores mecánicos; garantizan el monolitismo y permanencia del sistema Barra-Conector-Barra frente a solicitudes de esfuerzos de tracción y el desempeño estructural requerido.
- vi. Es preciso concluir, que los conectores de tornillo no permiten que las barras de acero corrugado se separen o en el peor de los casos se produzca el desacoplamiento de ellas a pesar de estar empalmadas de forma frontal una de otra; a diferencia de los empalmes tradicionales como en el caso del traslape simple convencional y las uniones soldadas donde las barras se unen o emplaman de manera lateral.
- vii. Continuando con el análisis de los tipos de falla producidos en el universo total de probetas, el **38.9%** de las probetas presentaron la **Falla Tipo BAR BREAK**, la cual se traduce **en la rotura o ruptura de la barra de acero fuera de la zona de empalme**; siendo esta una de las grandes ventajas que ofrecen los conectores mecánicos frente a los demás tipos de empalme tradicionales o convencionales conocidos.

Las probetas que presentaron este tipo de falla son siete y tienen los siguientes códigos: 6BG-01, 6BG-02, 6BG-03, 8BG-01, 8BG-02, 11BG-02 y 11BG-03.

- viii. En el caso de la probeta **11BG-01** se ha evidenciado **una falla por carga aplicada sin rotura ni deslizamiento** y representa el **5.6%** del universo total de probetas ensayadas. Esta probeta estuvo conformada por barras de acero corrugado cuyo diámetro corresponde a 1 3/8" unidas con un conector de presión BARGRIP XL Tipo 2 de la marca BPI.

Sin embargo, es preciso mencionar que esta probeta ha logrado superar los valores mínimos nominales establecidos por las normas de diseño E.060 - Concreto Armado y el ACI 318-19(22); tanto para el Esfuerzo de Fluencia ($f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$) y la Resistencia a la Tracción (6320 Kgf/cm^2)

Los valores de Esfuerzo de Fluencia y Resistencia a la Tracción registrados en esta probeta (Código **11BG-01**), fueron de 4711.7 Kg/cm^2 y 6560.0 Kgf/cm^2 respectivamente.

- ix. En el caso de probeta de código **8BG-03** se ha evidenciado una **falla por deslizamiento de la barra del conector**; es decir, la barra inferior cuyo diámetro es de 1" se ha separado o se ha desacoplado del interior del conector mecánico de presión BARGRIP XL Tipo 2, con código de fabricación 8XL-DS; pero precisamos que durante el desarrollo del ensayo de tracción esta probeta ha superado los valores de Esfuerzo de Fluencia y Resistencia a la Tracción establecidos por norma.

Esta probeta de código **8BG-03** también representa el **5.6%** del universo total de probetas ensayadas y los valores tanto del Esfuerzo de Fluencia como el de Resistencia a la Tracción, fueron de 4451.0 Kgf/cm^2 y 7480.0 Kgf/cm^2 respectivamente.

- **Análisis y discusión de resultados presentados en la tabla 27**

Esta tabla muestra los valores de Deslizamiento evidenciados y registrados en los ensayos de tracción, que se ejecutó a cada una de las probetas elaboradas con barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas mediante conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2, para los diámetros de 3/4", 1" y 1 3/8", que son diámetros importantes y más utilizados en las estructuras de concreto armado de gran embergadura.

El análisis e interpretación de estos valores presentados en la tabla 27 de esta tesis, permite afirmar que:

- i. Los valores de deslizamiento registrados durante los ensayos de tracción respectivos, fluctúan desde los **44.0 mm (4.4 cm)** hasta **un valor máximo de 83.0 mm (8.3 cm)**, valores que pertenecen a las probetas de códigos **6ZS-03** y **8ZS-01** respectivamente.
- ii. La probeta de código 8ZS-01 registró el máximo valor de deslizamiento (8.3cm); hecho que podría explicar el porqué esta probeta no logró alcanzar el valor de resistencia a la tracción tal como se evidencia en las figuras 91 y 96 de la presente tesis,
- iii. Por otro lado, es preciso indicar que ninguna de las 09 probetas unidas con conectores de tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2, presentó la separación o desacople de la barra o barras corrugadas del interior de cada uno de estos conectores mecánicos utilizados.

Muy por el contrario, se ha mantenido y garantizado el monolitismo de este tipo de empalme en un sistema Barra-Conector-Barra, lo cual repercute directamente en la ductilidad de los elementos estructurales así como en el correcto desempeño estructural propio y característico de este tipo de conectores mecánicos.

5.4.2. Tipos de falla presentados en el grupo de probetas unidas con conectores de presión BARGRIP XL Tipo 2

Al realizar el análisis y clasificación de los tipos de fallas que registraron específicamente en este grupo de probetas; tendremos que:

- i. El **78% de las probetas ensayadas han presentado el tipo de falla denominada BAR BREAK** que se traduce en la ruptura o rotura de la barra corrugada fuera de la zona de empalme. Este tipo de falla es típica y es una de las ventajas técnicas más importantes que ofrecen estos conectores mecánicos.
- ii. Un **11%** de las probetas han presentado el tipo de falla denominada **Falla por carga aplicada sin rotura ni deslizamiento**, valor porcentual que representa a una sola probeta de este sub universo y corresponde al código **11BG-01**.
- iii. La probeta de código **8BG-03**, ha presentado la **falla por deslizamiento de la barra del conector**; es decir, se ha producido el **Desacoplamiento de la**

barra del interior del conector mecánico; y éste espécimen representa el **11%** de este sub universo de probetas analizado.

La tabla 25 y la figura 21 de esta tesis, presentan y clasifican los tipos de falla que se registraron en este grupo de probetas debidamente ensayadas; y estos tipos de falla fueron analizados en términos de porcentajes o valores porcentuales; mostrando al mismo tiempo los respectivos códigos de las probetas.

5.4.3. Tipos de falla presentadas en el grupo de probetas empalmadas con Conectores de Tornillo ZAP SCREWLOK SL Tipo 2

Es preciso mencionar que, **el común denominador de este grupo de probetas, presentaron FALLA POR DESLIZAMIENTO**, es decir, que el **100%** de las probetas de acero ASTM A615 Grado 60 debidamente ensambladas mediante Conectores Mecánicos de una sola Fila de Tornillos - ZAP SCREWLOK SL Tipo 2, presentaron este tipo de falla.

Finalmente, en las fotografías mostradas en el Anexo F del presente trabajo de investigación; ilustran al detalle los diferentes Tipos de Fallas presentados, evidenciados y registrados en los 18 ensayos de tracción, ejecutados en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales LEM N°1 – FIC – UNI, el cual se encuentra ubicado en la Av. Túpac Amaru N° 210, Lima 25 (Rímac) – Apartado 1301 – Perú.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.5. Conclusiones

- La probeta de código 6BG-01 fue la que alcanzó la mayor Resistencia a la Tracción, la cual estuvo conformada por barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 de diámetro 3/4" unidas con el Conector de Presión BARGRIP XL Tipo 2 en un sistema Barra-Conector-Barra. Este valor de resistencia a la tracción fue de 7770 Kgf/cm².
- El valor promedio de Resistencia a la Tracción de las 18 probetas ensayadas, fue de 6871.31 Kgf/cm² y representa el 164% del esfuerzo de fluencia. Esto demuestra que se alcanzó y superó el valor especificado en las normas de diseño, para las barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 unidas con conectores mecánicos tipo 2.
- En el grupo de probetas de acero corrugado ensayadas y ensambladas con Conectores de Tornillo ZAP SCREWLOK SLTipo 2, el mayor valor de resistencia a la tracción fue de 7281.0 Kgf/cm² y corresponde a la probeta de código 6ZS-02, la cual estuvo ensamblada con barras de diámetro 3/4".
- El BAR BREAK, es una de las ventajas importantes que presentan los conectores mecánicos, el cual garantiza que la falla por rotura o ruptura de las barras empalmadas se genere fuera del área del conector o de la zona de empalme.
- En el total de probetas ensayadas, el 94.4% alcanzó el valor de Resistencia a la Tracción y solamente una probeta de código 8ZS-01 no superó el valor de resistencia a la tracción especificado en las normas, para este tipo de barras corrugadas ASTM A615 Grado 60 unidas con conectores mecánicos tipo 2. Esta única probeta (8ZS-01) representa el 5.6% del total de probetas ensayadas.
- La probeta de código 8ZS-01, no logró alcanzar el valor de resistencia a la tracción especificado en las normas de diseño (RT=6320 Kgf/cm²), esto podría deberse a que esta probeta registró el máximo valor de deslizamiento tal como se muestra en la Tabla 26 de esta tesis (Probeta 8ZS-01 con deslizamiento de 8.3cm ó 83mm).
- Los conectores mecánicos son una solución técnica singular, que deben ser considerados en los diseños de los proyectos donde la actuación, fiabilidad, desempeño estructural, alta capacidad y producción eficaz son obligatorios.
- Al usar conectores mecánicos de Presión y de Tornillo, no es necesario realizar trabajos previos, no se alteran las propiedades físico-químicas, ni las secciones de las

barras de acero corrugado a ser unidas o empalmadas. Tampoco se requiere personal especializado o calificado para realizar este tipo de empalmes a nivel de obra

- En el ensamblaje de probetas unidas mediante los conectores mecánicos de Presión BARGRIP XL, se pudo evidenciar que, mientras mayor es el diámetro del conector y de las barras de acero, menor es el ancho de la mordaza utilizada en el equipo de prensado, lo cual implica tener un mayor número de mordidas o estampados en los conectores de diámetros mayores. Esto se traduce en garantizar los valores de presión respectivos.
- En los empalmes realizados con conectores mecánicos de presión BARGRIP es importante generar y lograr el enclavamiento mecánico o trabazón mediante un proceso de estampado o prensado en frío, utilizando equipos de presando portátil o equipos estacionarios tanto en taller, como en las mismas estructuras de concreto armado que se vayan a construir en un proyecto.

5.6. Recomendaciones

- A pesar de que el ACI 318-19(22) y la Norma E.060, indican que cuando se realicen empalmes de barras de acero corrugado con conectores mecánicos se puede realizar en una misma sección del elemento estructural; en la práctica, y donde se evidencie una alta concentración o congestionamiento del acero de refuerzo, se recomienda realizar estos tipos de empalmes de forma alternada.
- En los conectores de presión BARGRIP XL, se detectó una oportunidad de mejora: Se recomienda que cuenten con un tope central o realizar un marcado mecanizado en la parte central y externa del conector, para reducir tiempos de instalación, mejorar los rendimientos en obra y favorecer al control de las longitudes de inserción durante la instalación de estos conectores en las barras de acero de refuerzo.
- En obra, se recomienda verificar los conectores mecánicos instalados para asegurar, que **no existan o queden espacios sin prensar** durante el proceso de estampado en frío para el caso de los Conectores de Presión; y que, además se hayan ejecutado el número mínimo de mordidas según lo indica el fabricante en su ficha técnica.
- Se recomienda, revisar detenidamente las hojas y fichas técnicas de cada conector mecánico antes de su ensamblaje e instalación. Así, mismo, se recomienda llevar a cabo un control y supervisión concurrente a pie de obra, para evitar fallas o desviaciones en su instalación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LLIQUE, Rosa H.; **“Seminario de Proyecto de Tesis”**, 2023. Escuela de Post grado – Universidad Nacional de Cajamarca – Cajamarca – Perú.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI / (Instituto Americano del Concreto); **“Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, ACI 318 – 19(22)”**; 2022 – Estados Unidos de América – USA.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM / (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales); **“Especificación estándar para barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de hormigón, ASTM A615/A615M-22”**, 2022 – Estados Unidos de América – USA.
- Castillo, Fernando. (2019); **Conectores Mecánicos** [[Webinar: Conectores Mecánicos - YouTube](#)]. CVD Ingeniería Antisísmica/Empresa, 2017, Lima – Perú.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO / SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – SENCICO; **“Norma E.060 – Concreto Armado”**, 2019 – Lima – Perú.
- BARSPLICE Products, Inc.; “Página Web – Fichas y Hojas Técnicas de los Conectores Mecánicos BPI”, 2019 – Estados Unidos de América – USA.
- ICC EVALUATION SERVICE – ICC-ES AC133–“Criterios de Aceptación para sistemas de empalme mecánico para barras de refuerzo de acero” – 2019 – Estados Unidos de América – USA.
- INSTITUTO NACIONAL DE CALIDAD – INACAL – Dirección de Normalización; **“Norma Técnica Peruana, NTP 341.031 Grado 60. PRODUCTOS DE ACERO Barras de acero al Carbono corrugadas, para refuerzo de concreto armado. Requisitos”**, 2018 – Lima – Perú.
- INSTITUTO NACIONAL DE CALIDAD – INACAL – Dirección de Normalización; **“Norma Técnica Peruana, NTP 339.186 Grado 60. PRODUCTOS DE ACERO Barras de acero de baja aleación, soldables y corrugadas, para refuerzo de concreto armado. Requisitos”**, 2018 – Lima – Perú.
- HARMSEN, Teodoro; **“Diseño de Estructuras de Concreto Armado”**, 2017. 5ta. Edición – Lima – Perú.

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM / (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales); **“Especificación Estándar para Tubos Mecánicos de Acero al Carbono y Aleados sin costura, ASTM A519/A519M-17”**, 2017 – Estados Unidos de América – USA.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM / (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales); **“Métodos de prueba estándar para ensayar empalmes mecánicos para las barras de acero de refuerzo, A1034/A1034M-10a”**, 2015 – Estados Unidos de América – USA.
- DÍAZ, Carlos E.; **“Tesis: Soldabilidad del Acero Corrugado ASTM A 615 Grado 60 en relación al Acero Corrugado ASTM A 706 Grado 60”**, 2014 – E.A.P. Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Cajamarca – Cajamarca – Perú.
- SÁNCHEZ, José y PÉREZ, Víctor; **“Conectores de Tercera Generación”**, 2012 – Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural – México.
- * MENDOZA, Carlos J.; * AIRE, Carlos; * VILLEGAS, Jorge A.; ** HERNÁNDEZ, Daniel H.; ***LÓPEZ, Jorge; (* Investigador, Instituto de Ingeniería, UNAM ** Técnico Académico, Instituto de Ingeniería, UNAM *** Becario, Instituto de Ingeniería, UNAM); **“Conectores Roscados de barras de refuerzo (Tercera Generación)”**, 2012 – Universidad Nacional Autónoma de México – México.
- AMERICAN WELDING SOCIETY – AWS / (Sociedad Americana de Soldadura), , **“Código de Soldadura Estructural – Acero de refuerzo, ANSI/AWS D1.4/D1.4M:2011-7^{ma}. Edición”**, 2011 – Estados Unidos de América – USA.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI / (Instituto Americano del Concreto); **“Tipos de Conexiones Mecánicas para Barras de Refuerzo, ACI PRC-439.3-07”**; 2007 – Estados Unidos de América – USA.
- VINNAKOTA, S., "Estructuras de Acero: Comportamiento y LFRD", 2006. 1era Edición, McGraw Hill – México

ANEXOS

ANEXO A: DETALLES, VENTAJAS Y TIPOS DE CONECTORES MECÁNICOS – BPI

La empresa norteamericana BarSplice Products, Inc. (BPI); fabrica varios tipos de conectores mecánicos que permiten unir o empalmar barras de acero corrugado formando un sistema Barra-Conector-Barra. Estos acoples o conectores mecánicos permiten unir barras de diámetros que van desde 3/8" (#3) hasta 1 3/4" (#14) y tienen diversas aplicaciones de acuerdo a las características técnicas de diseño y las necesidades o condiciones de obra que se tengan.

La instalación de estos conectores mecánicos a nivel de obra ofrece múltiples ventajas técnicas, como:

- Permiten optimizar procesos constructivos, mejorando los rendimientos de instalación del acero de refuerzo tanto en talleres como en obra y tener un impacto en costos y tiempo de un proyecto de ingeniería. Es decir, permiten alcanzar las fechas de entrega de una obra, sin impactar en la calidad de las estructuras de concreto armado.
- Mejoran el desempeño estructural de los empalmes, las condiciones de distribución, alineamiento de las barras y alivian de forma significativa la congestión o altas tasa de acero de refuerzo en las zonas de empalme; favoreciendo a la colocación, vibrado y consolidación del concreto.
- Otra ventaja técnica importante, es que su instalación a nivel de obra no necesita de condiciones especiales (Microclimas, controles minuciosos de temperaturas, amperaje, etc.) ni es necesario contar con la calificación de materiales y personal para realizar los empalmes de las barras corrugadas, como sí sucede en las uniones soldadas. Es decir, los conectores mecánicos, no alteran las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las varillas.
- Por otro lado, el uso de conectores mecánicos no genera cambios ni reducciones de las secciones o áreas del acero de refuerzo. Es decir, que para su instalación no se realizan trabajos previos en las barras para lograr unir las o empalmarlas. Entiéndase como trabajos previos en las barras a: Generación de hilos para un sistema roscado, precalentamiento de las zonas a empalmar, etc.
- Para el caso de los conectores mecánicos tipo 2, que son los que se utilizaron en esta investigación; estos permiten ser utilizados en cualquier ubicación de la estructura de concreto armado. Es decir, no presenta restricciones para en su ubicación e incluso permiten usarlos en una misma sección, sin duplicar cuantías ni generar congestión en las zonas de empalme.
- Es importante y exigencia plena, mantener las diferentes áreas de una obra libre de elementos punzantes, o elementos de acero sobresalientes que puedan atentar con la seguridad e integridad física del personal que labora en un proyecto; por ello, el uso de conectores mecánicos evita tener aceros expuestos o "mechas" para continuar con los procesos constructivos o realizar futuras etapas en las estructuras de concreto armado, a la vez que evita que la armadura de refuerzo se exponga a los agentes externos como brisa marina, precipitaciones o lluvias u otro agente corrosivo.

En la siguiente figura se muestra un empalme de barras de acero corrugado con un conector mecánico:

Figura 1:

Conector Mecánico.

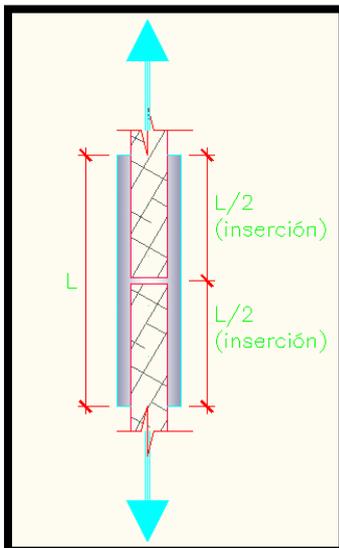


Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

A continuación, se muestra un corte longitudinal de un empalme mecánico (figura 2), donde se evidencia la linealidad axial de las barras, además que este tipo de empalme permite y garantiza la transferencia de esfuerzos de una barra u otra sin depender del concreto circundante.

Figura 2:

Corte longitudinal de un empalme de barras corrugadas mediante un Conector Mecánico.



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

TIPOS DE CONECTORES MECÁNICOS BPI.

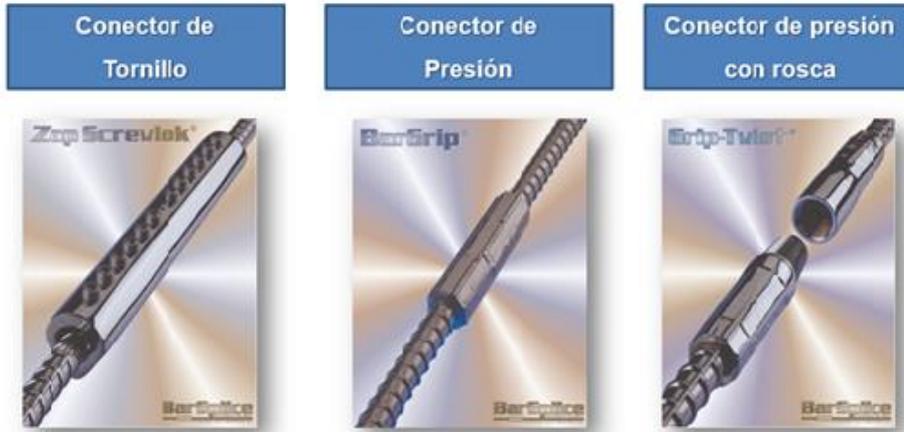
BPI, ha clasificado sus conectores mecánicos en 4 grupos:

- a) Conectores de Continuidad.
 - b) Conectores de Terminales o de Cabeza.
 - c) Conectores de Transición.
 - d) Conectores Estructurales.
- **Conectores Mecánicos de Continuidad:** Dentro de los conectores de continuidad de la marca BPI, se tienen:
 - Conectores de Tornillo
 - Conectores de Presión

- Conectores de Presión con Rosca Cónica

Figura 3:

Conectores mecánicos de Continuidad.



Fuente: Página Web de la empresa CVD Ingeniería Antisísmica SAC - Perú.

▪ **Conectores Mecánicos de Terminales o de Cabeza:**

Estos conectores de Terminales o de Cabeza, los hay de varios tipos, es decir, para cada tipo de necesidad de un proyecto se tienen diferentes modelos y tipos aplicables a cada solución y requerimiento técnico de obra y diseño. Dentro de estos tipos de conectores o acopladores de Terminales o de Cabeza, fabricados por la empresa BarSplice Products, Inc. – USA, se tienen:

- Conector de Tornillo – Zap T-Lok
- Conector de Presión – ButtonHead – Cabeza de Botón
- Conector de Cabeza de Rosca Paralela – BPI FITT.
- Conector de Presión con Rosca Extender.

Figura 4:

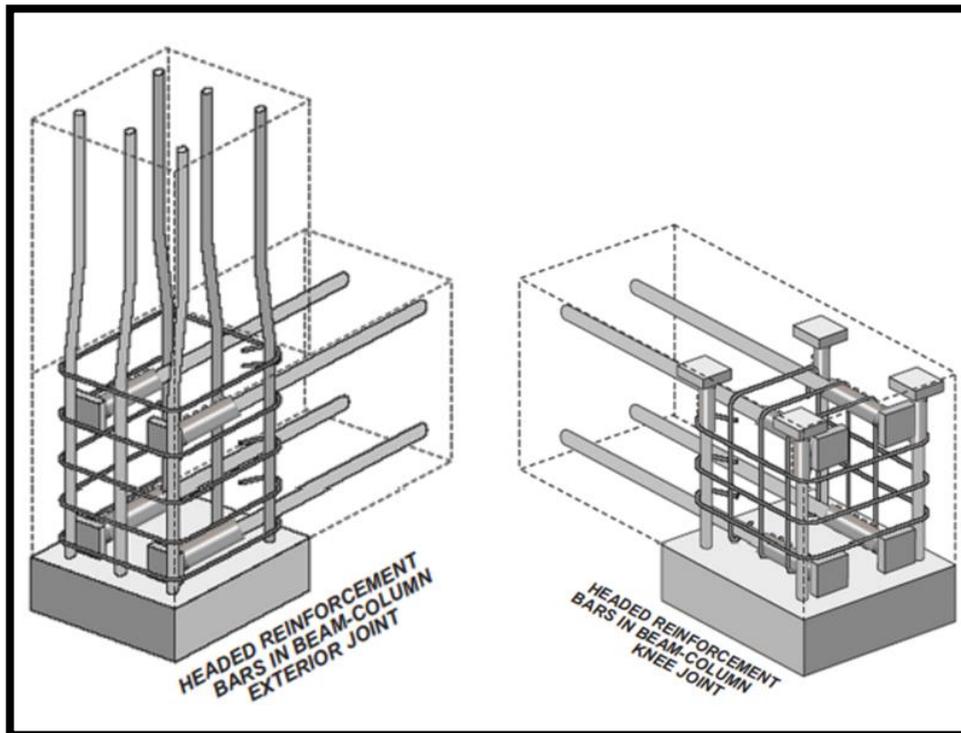


Fuente: Página Web de la empresa CVD Ingeniería Antisísmica SAC - Perú.

En comparación con los ganchos convencionales de las barras, la aplicación de estos conectores mecánicos de Terminales o de Cabeza, permite aliviar notablemente la congestión típica del acero de refuerzo generada en las zonas de las juntas de codo, juntas de articulación y empotramiento de los elementos que conforman los sistemas estructurales; facilitando la colocación de las mismas y mejorando la consolidación del concreto en los nodos o nudos y las zonas de empotramiento de las diferentes estructuras de concreto armado.

Figura 5:

Aplicaciones del conector Zap T-Lok en las uniones vigas con columnas.



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

▪ **Conectores Mecánicos de Transición:**

Los conectores de Transición, permiten realizar cambios de diámetro de las barras corrugadas que conforman la armadura de refuerzo en las estructuras de concreto armado. El fabricante BPI, recomienda que este cambio de diámetro no sea abrupto, es decir, que se debe realizar el cambio de un diámetro superior al inmediato inferior o viceversa. Es importante considerar que estos cambios de diámetros o zonas de transición se realicen bajo un análisis estructural exhaustivo y sea validado por un profesional de ingeniería estructural.

BPI (BarSplice Products, Inc. – USA); fabrica y comercializa los siguientes tipos de conectores mecánicos de transición:

- Conector de Tornillo de Transición – **ZAP SCREWLOK TRANSITION**
- Conector de Rosca Cónica – **GRIP-TWIST DE TRANSICIÓN**
- Conector de Presión de Transición – **BARGRIP XL DE TRANSICION**

Figura 6:



Fuente: Página Web de la empresa CVD Ingeniería Antisísmica SAC - Perú.

▪ **Conectores Mecánicos Estructurales:**

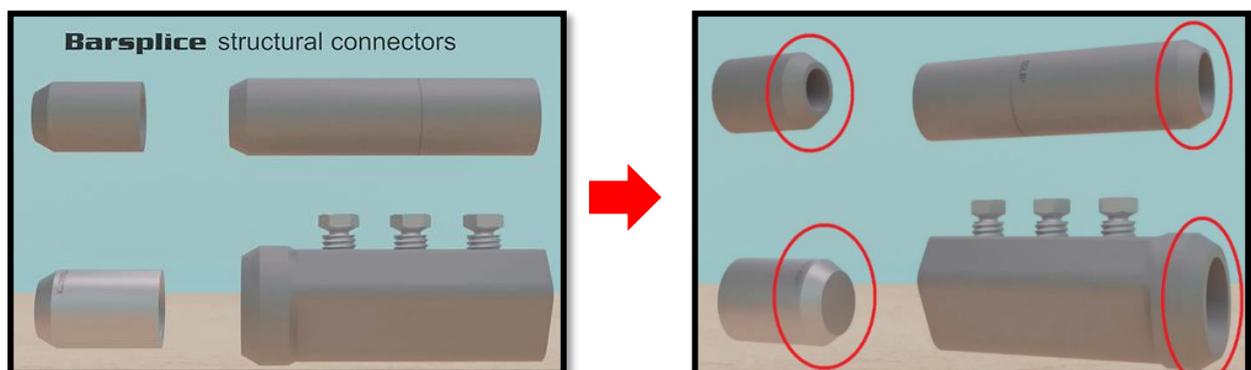
Los Conectores Estructurales presentan una gran versatilidad, para unir barras de refuerzo con acero estructural, placas de revestimiento, formas planas o para crear anclajes con cabeza. Soldable en taller o en campo, antes o después de la colocación de la barra.

En la marca BPI, existen conectores mecánicos estructurales de Tornillo, de Presión, del tipo Grip-Twist, etc. A continuación, se enumeran algunos de ellos:

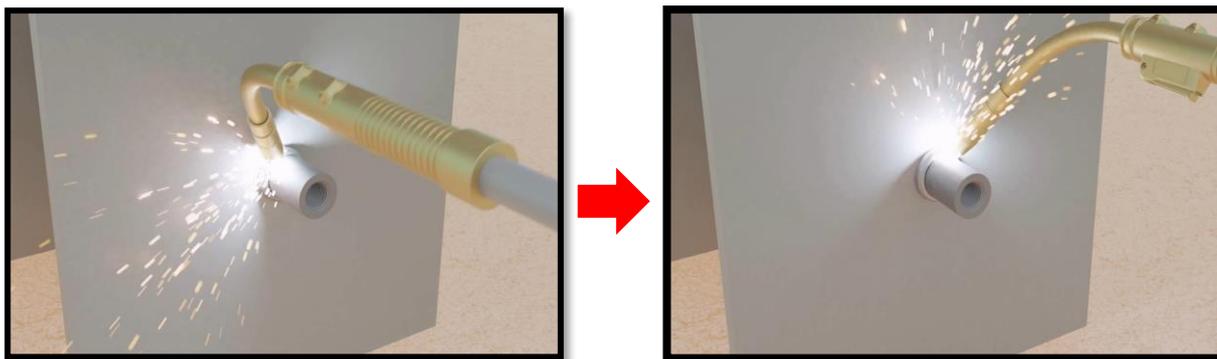
- Conector Estructural de Tornillo – ZAP CONECTOR ESTRUCTURAL.
- Conector Estructural de Presión – BARGRIP SC
- Conector de Rosca Cónica – GRIP-TWIST CONECTOR ESTRUCTURAL.

Figura 7.

Proceso de instalación de un conector mecánico estructural BPI - BarSplice Products, Inc.



Aquí se muestran algunos tipos de conectores mecánicos estructurales BPI. Estos conectores mecánicos, presentan o incluyen en uno de sus extremos **un bisel precortado, debidamente mecanizado** durante su fabricación; **para facilitar la colocación de la soldadura** y la unión hacia los elementos de acero estructural; logrando el empalme Barra–Acero estructural.

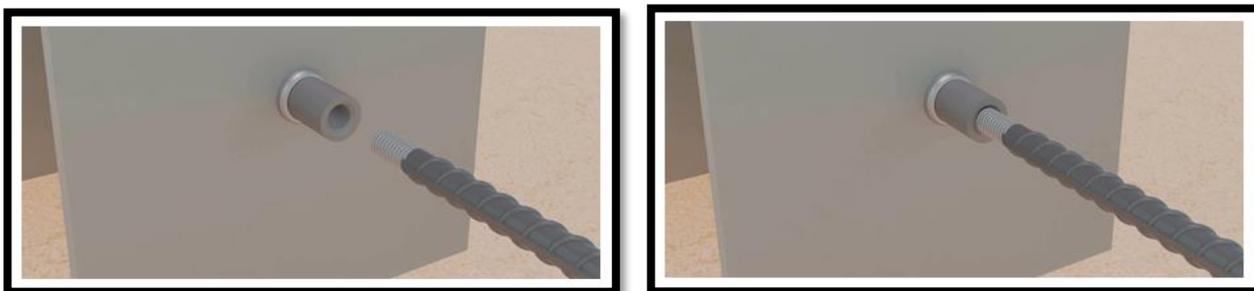


La calificación de los equipos, el soldador y de todo el personal involucrado en el proceso, así como la calificación y aprobación del procedimiento de soldadura, la integridad y el trabajo deberán ser validados por el profesional competente experto en soldadura y debidamente calificado. Soldar completamente alrededor del borde biselado, para lograr el grado de penetración y cordón de soldadura adecuados entre la estructura y el conector mecánico estructural.

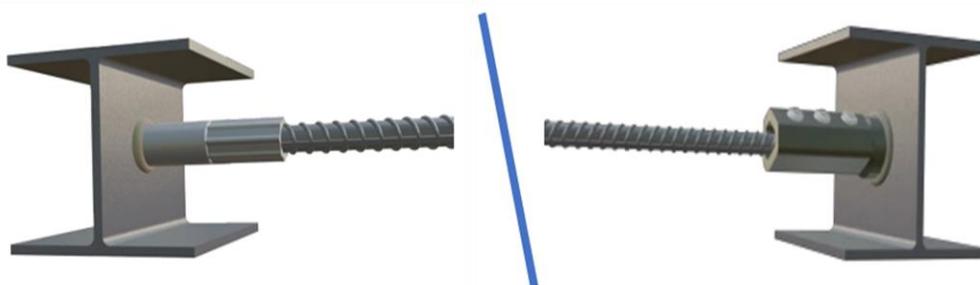


Los conectores estructurales se pueden soldar antes o después del ensamblaje de la barra corrugada de refuerzo. Luego de ejecutar completamente el proceso de soldadura alrededor del borde biselado, con lo cual se ha logrado la unión del conector mecánico al elemento estructural, se verifica la integridad del cordón de soldadura, la misma que será validada con los

métodos especificados y/o aprobados en el procedimiento de soldadura.



Posterior a la validación de la unión soldada del conector mecánico estructural con el elemento que forma parte del entramado de acero estructural de una edificación, nave industrial, etc.; se procederá a la instalación de la barra corrugada con rosca debidamente maquinada; para que de esta manera se pueda lograr **el empalme del tipo Barra a Estructura**.



Conectores mecánicos Estructurales totalmente Instalados a la estructura de acero estructural

Fuente fotográfica: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

ANEXO B: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, DETALLES, VENTAJAS Y APLICACIONES DEL CONECTOR MECÁNICO DE PRESIÓN BARGRIP

Los conectores de presión, forman parte de los conectores mecánicos de continuidad que fabrica y comercializa la marca estadounidense BarSplice Products, Inc. (BPI); a los cuales denomina **Conectores BARGRIP**. BPI en sus documentos técnicos indica que los hay del tipo 1 y del tipo 2; para ser usados de acuerdo a los requerimientos técnicos de diseño y obra.

En este tipo de conectores, se realiza un proceso de estampado o prensado en frío que consiste en ejecutar mordidas superpuestas utilizando prensas hidráulicas BPI, para generar **un enclavamiento mecánico o trabazón** entre el conector y las barras corrugadas empalmadas. El estampado en frío, es uno de los métodos de empalme más refinados del mundo. La clave de su éxito es la simplicidad, la adaptabilidad y la asequibilidad

Los conectores mecánicos de presión BARGRIP, consisten en manguitos o camisas de acero sin costura, que alojan a las barras corrugadas considerando como longitud de inserción a la mitad de la longitud total inicial de cada uno de estos conectores, para lograr una correcta unión o empalme.

Figura 1:

Conector Mecánico de Presión.



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Este tipo de conectores, se usan en estructuras donde los espacios son suficientes como para poder realizar un proceso de prensado en frío mediante el uso de tenazas portátiles automáticas e hidráulicas, El orden de estos espacios o distancias requeridas para el proceso de prensado deberá estar entre 6 a 7cm entre barras. No se requiere de mayores espacios para la instalación de estos conectores mecánicos de presión.

De acuerdo a la dimensión del conector mecánico y al diámetro de las barras de acero corrugado a empalmar, se realizan un número de mordidas o prensados en el conector; ello garantiza su correcta instalación y un empalme

adecuado de las varillas que conforman el acero de refuerzo en las estructuras de concreto armado.

La presión que se necesita para realizar el proceso de prensado o estampado en frío está alrededor de 10000 PSI; y este proceso se puede ejecutar en obra con equipos de prensado portátiles o estacionarios según la necesidad del proyecto.

En este trabajo de investigación, se eligió el conector mecánico BARGRIP XL que corresponde a un Conector de Presión Tipo 2; el cual se describe y detalla a continuación:

CONECTOR BARGRIP XL: Es un manguito de acero estampado en frío que se instala in situ. Estos conectores se estampan en el perfil de la barra de refuerzo para producir la trabazón o el enclavamiento mecánico entre las barras y el maguito o camisa de acero; donde los valores de la “prueba de deslizamiento” de los empalmes mecánicos prensados, son mínimos debido a la estrecha conformación de las camisas de acoplamiento al perfil de la barra.

Figura 2:

Conector Mecánico BARGRIP XL.



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

El estampado o prensado se realiza en frío; no siendo necesario ningún tipo de calentamiento o precalentamiento del conector mecánico, ni de las barras a unir o empalmar. El enclavamiento mecánico con deformaciones, orejetas, protuberancias o corrugas de la barra de refuerzo; es la base de la resistencia de un empalme prensado.

Figura 3:

Detalle del prensado o estampado en frío de un Conector de Presión BARGRIP XL para el empalme mecánico de barras corrugadas.



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

BarSplice Products, Inc.; ha desarrollado un **Código de Colores** para los conectores mecánicos BARGRIP; a fin de favorecer a su rápida identificación en obra o en taller; según los diámetros de barras que ensamblan y empalman. Este mismo código de colores, presentan los troqueles o mordazas que se utilizan para el proceso de estampado o prensado en frío al momento de realizar el empalme con las barras de acero corrugado. Esta identificación por colores permite garantizar una correcta instalación de estos acopladores en las diferentes varillas que se necesiten unir o empalmar.

Este código de colores establecido por el fabricante para estos conectores (BPI); se muestra en la página 30 de la presente tesis; donde además se indican las dimensiones iniciales de estos conectores mecánicos de presión y el modelo de prensa a utilizar en su ensamblaje con las barras corrugadas. Así, por ejemplo, en la siguiente figura, se aprecia que el conector mecánico BARGRIP instalado, es de color **Rojo**, el cual corresponde a un conector de presión que fue utilizado para unir barras corrugadas de diámetro **5/8"**.

Figura 4:

Conector BARGRIP XL de color Rojo, ensamblado con barras de acero corrugado de 5/8".



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

En el desarrollo de la presente tesis, se utilizaron **Conectores de Presión BARGRIP XL**, para los diámetros de barras **3/4"**, **1"** y **1 3/8"**; donde cada conector corresponde a los colores: **Amarillo, Negro y Azul** respectivamente.

EQUIPOS PARA EL PROCESO DE PRENSADO DE CONECTORES DE PRESIÓN – BARGRIP:

BPI (BarSplice Products, Inc. – USA), ha desarrollado equipos de prensado o estampado en frío, muy versátiles, fáciles de usar e implementar a nivel de obra y taller. Estos pueden ser alquilados o adquiridos en la empresa CDV Ingeniería Antisísmica SAC representante de BPI en el país. BPI, ha patentado y desarrollado dos clases de equipos de prensado, denominándolos y clasificándolos de la siguiente manera:

- Equipos de Prensado Portátiles.
- Equipos de Prensado Estacionarios.

Ambos equipos podrían ser utilizados en obra de forma individual o simultanea de acuerdo a los requerimientos y necesidades de ensamblaje e instalación, en los proyectos u obras de ingeniería.

Los equipos de prensado, están conformados por:

- ✓ Una prensa hidráulica de campo equipada con un juego de mordazas.
- ✓ Esta prensa hidráulica se conecta con una manguera de alta presión a una bomba hidráulica.
- ✓ Esta bomba hidráulica, opera por medio de corriente eléctrica.
- ✓ Además, se cuenta con un pedal que controla el sistema de prensado. Cuando se presiona este pedal, el fluido hidráulico es bombeado por la manguera a la prensa; con esto, el vástago

de la prensa es expulsado fuera del pistón y finalmente, las mordazas generan la presión radial al conector.

El proceso de prensado o estampado en frío, puede llevarse a cabo mediante el uso de:

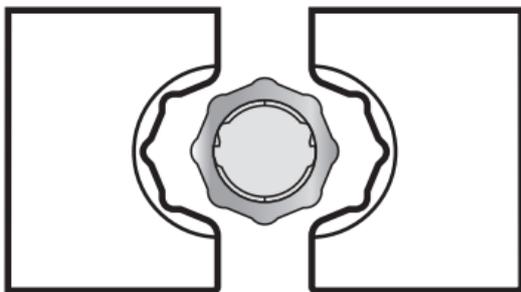
- Equipos portátiles acoplados a una bomba hidráulica portátil o estacionaria y;
- Equipos de prensado netamente estacionarios; si así lo requiere o exige el proyecto y las condiciones o facilidades de obra que se tengan.

En el proceso de prensado, el conector se deforma alrededor de la varilla corrugada con lo que genera el enclavamiento mecánico requerido. Cuando se libera el pedal el pistón se retrae y las mordazas se separan con lo que el acoplamiento regresa a su posición inicial listo para la siguiente prensada o mordida.

Estos equipos de prensado cuentan con un sistema y un juego de troqueles o mordazas. Los troqueles de estampado presentan una geometría particular, están estampados y codificados por colores para que coincidan con las camisas de acero correspondientes a los conectores de presión BARGRIP. La presión de estampado se preestablece en la fábrica y el equipo de campo está automatizado para liberarse del empalme después de cada "mordida" de los equipos de estampado o prensado en frío:

Figura 5:

Detalle de mordaza o troquel de un equipo de prensado BPI.



Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

- **Equipos de Prensado Portátiles - BPI:** Cada uno de estos equipos de prensado portátiles, están conformados por tenazas de acero y sus respectivas mordazas o troqueles. Estos equipos de prensado portátiles, se muestran en la página 29 de la presente tesis. BPI, tiene hasta 4 modelos de prensa diferentes y disponibles para adaptarse de la mejor manera al tamaño de la barra de refuerzo:
 - Prensa Portátil BG250 con un peso aproximado de 20 lbs <> 9 kg.
 - Prensa Portátil BG400 (Peso de 56 lbs<> 25 kg)
 - Prensa Portátil BG750M (Peso de 90 lbs <> 40 kg)
 - Prensa Portátil BG1140 (Peso de 207 lbs<> 94 kg)

A continuación, se detalla el código de colores asignado para las diferentes mordazas o troqueles que utilizan cada equipo de prensado portátil BPI:

Tabla 1:

Equipo de Prensado Portátil BPI - Modelo BG 250.

Equipo de Prensado Portátil BPI Tenaza Modelo BG 250 (20 lbs) Mini prensa de campo				
Código de Colores de las mordazas	Naranja	Rosado	Rojo	Amarillo
Número de Barra	#3	#4	#5	#6
Diámetro Comercial	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"

Nota: El fabricante recomienda utilizar este equipo de prensado principalmente en los diámetros de barras #4 y #5

Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. - USA

Tabla 2:

Equipo de Prensado Portátil BPI - Modelo BG 400.

Equipo de Prensado Portátil BPI Tenaza Modelo BG 400 (56 lbs)							
Código de Colores de las mordazas	Naranja	Rosado	Rojo	Amarillo	Azul	Negro	Rojo
Número de Barra	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9
Diámetro Comercial	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"

Nota: El fabricante recomienda utilizar este equipo de prensado principalmente en los diámetros de barras #6, #7 y #8

Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. - USA

Tabla 3:

Equipo de Prensado Portátil BPI - Modelo BG 750M.

Equipo de Prensado Portátil BPI Tenaza Modelo BG 750M (90 lbs)							
Código de Colores de las mordazas	Rojo	Amarillo	Azul	Negro	Rojo	Amarillo	Azul
Número de Barra	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11
Diám. Comercial	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"

Nota: El fabricante recomienda utilizar este equipo de prensado principalmente en los diámetros de barras #8, #9, #10 y #11

Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. - USA

Tabla 4:

Equipo de Prensado Portátil BPI - Modelo BG 1140M.

Equipo de Prensado Portátil BPI							
Tenaza Modelo BG 1140M (207 lbs)							
Código de Colores de las mordazas	Azul	Negro	Rojo	Amarillo	Azul	Rosado	Rojo
Número de Barra	#7	#8	#9	#10	#11	#14	#18
Diám. Comercial	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"	1 3/4"	2 1/4"

Nota: El fabricante recomienda utilizar este equipo de prensado principalmente en los diámetros de barras #10, #11, #14 y #18

Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Es preciso señalar también que, cada una de estas tenazas o equipos de prensado portátiles, necesitan de una Bomba Hidráulica ya sea del tipo estacionaria o portátil. Ambos equipos conforman el sistema que permitirá garantizar y llevar a cabo un correcto prensado e instalación de los acopladores o conectores de presión BARGRIP.

Los modelos de bombas hidráulicas más utilizadas, también patentadas y desarrolladas por BarSplice Products, Inc. (USA), son:

➤ **Bomba Portátil PE55**

Voltaje: 220v Monofásico

Amperaje: 10-15 Amp.

Motor: eléctrico de 1-1/8 HP

➤ **Bomba Estacionaria PE400**

Voltaje: 220v Trifásico

Amperaje: 15-30 Amp.

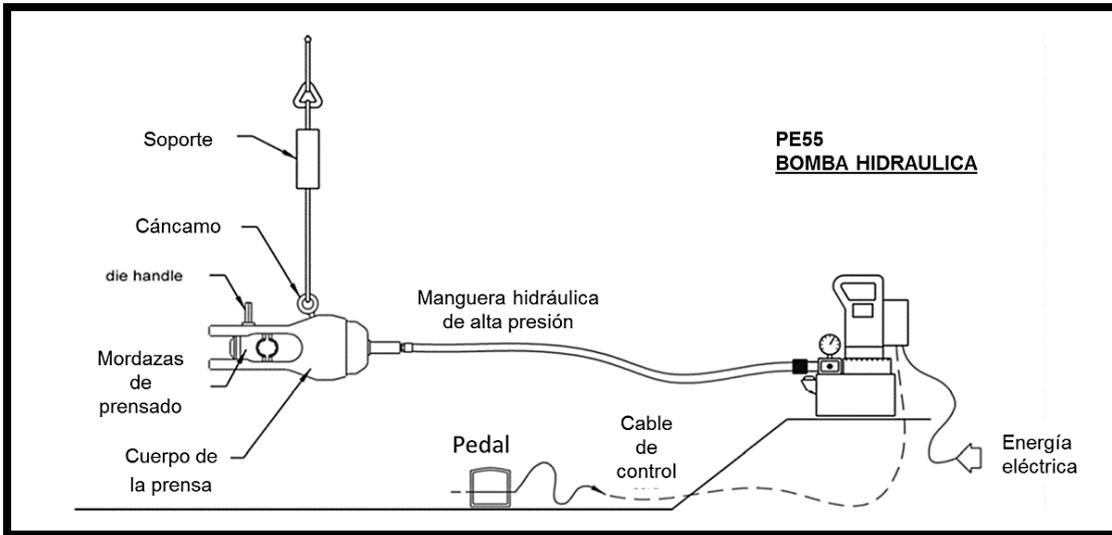
Motor: eléctrico de 10HP

El uso de cada uno de estos modelos de bombas hidráulicas, dependerá netamente de la evaluación y requerimientos de obra, donde se buscará la optimización de tiempos, ratios de productividad, facilidades de instalación, espacios, ubicación segura del personal y equipos, evaluación de riesgos, aplicación de controles, entre otros parámetros de obra ya establecidos en los procedimientos de trabajo y estándares de calidad y seguridad para los diferentes proyectos.

Los sistemas de prensado portátil BPI, utilizando la Bomba Portátil modelo PE55 y la Bomba Estacionaria modelo PE400, se muestran y detallan a continuación:

Figura 6:

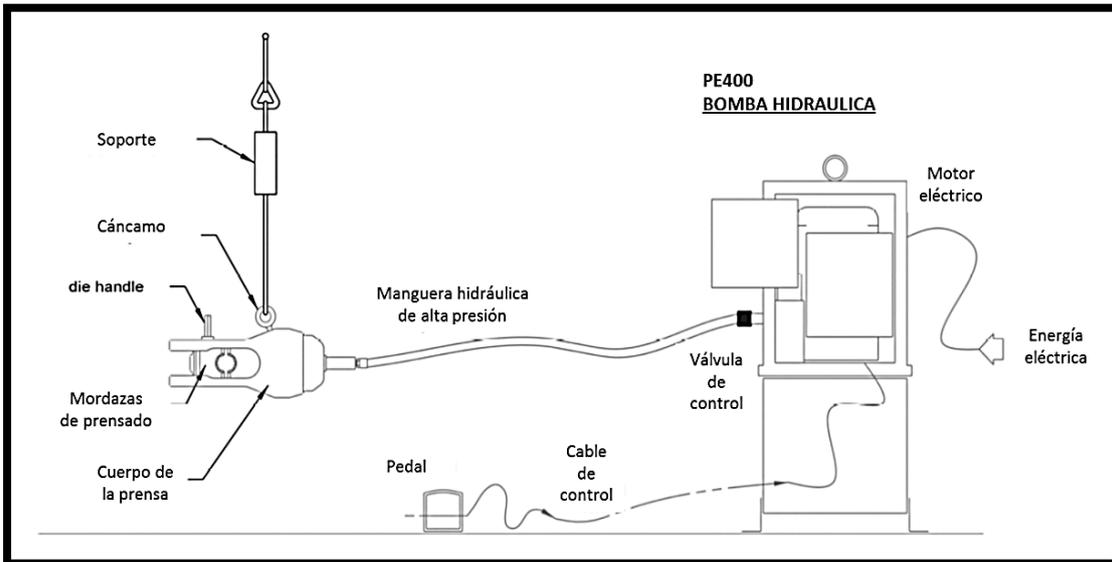
Sistema de Prensado Portátil BPI con Bomba Portátil Modelo PE55.



Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Figura 7:

Prensa Portátil BPI con Bomba Estacionaria Modelo PE400.



Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

- **Equipos de Prensado Estacionarios - BPI:**

Para realizar el proceso de estampado en frío o prensado de los conectores mecánicos de presión BARGRIP sea en un taller o en algún lugar acondicionado en obra, se utilizan Equipos Estacionarios; que ofrecen las mismas características de prensado y logran una correcta conexión de las barras corrugadas al maguito de acero que conforma el cuerpo de este tipo de acopladores o conectores mecánicos.

BPI también ha desarrollado Equipos de Prensado Estacionarios, cuya aplicación está referida a la implementación de un taller o maestranza como facilidad de obra; esto permitirá alcanzar mayores ratios de producción y una correcta instalación de los Conectores de Presión BARGRIP en el empalme o traslape de barras corrugadas; garantizando el monolitismo del sistema barra-conector-barra:

A continuación, en las figuras 8 y 9 se muestran estos equipos de prensado estacionario de la marca BPI:

Figura 8:

Prensa Estacionaria BPI.

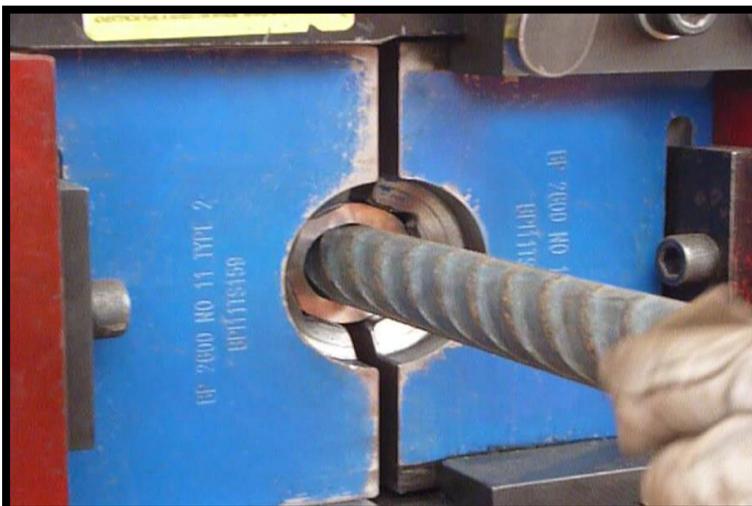


Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Estos equipos de prensado estacionarios también cuentan con diferentes troqueles o mordazas los cuales tienen implementados un código de colores de acuerdo al tipo de conector y diámetro de las barras corrugadas que serán unidas o empalmadas.

Figura 9:

Proceso de prensado de conectores, en taller u obra mediante Prensa Estacionaria.

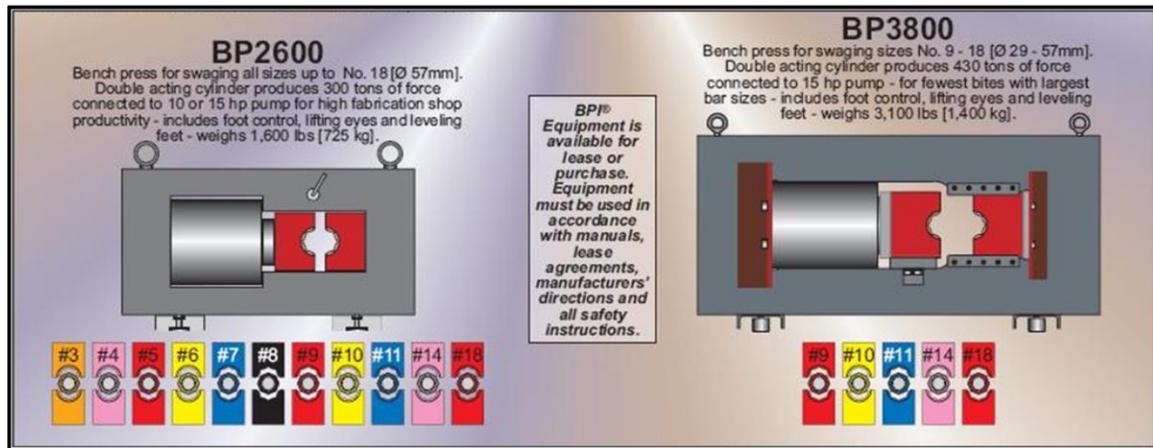


Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Al igual que los equipos de prensado portátiles, los estacionarios también utilizan un **código de colores en las diversas mordazas** que se colocan en estos equipos, para el prensado correcto de los conectores de presión hacia las barras de acero corrugado. En la figura 10, se muestran y detallan los equipos de prensado estacionarios de la marca BPI (BarSplice Products, Inc. – USA):

Figura 10:

Modelos de Prensas Estacionarias BPI.



Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Para cada equipo de prensado estacionario BPI, se detalla el código de colores utilizado para las diferentes mordazas o troqueles que usan cada modelo. Este código que varía de acuerdo al número o diámetro de barra corrugada a usar en los empalmes. En las tablas 5 y 6 de este anexo, se detallan los colores asignados a las mordazas o troqueles que utilizan los equipos de prensado estacionarios de la marca norteamericana BPI (BarSplice Products, Inc):

Tabla 5:

Equipo de Prensado Estacionario BPI - Modelo BP 2600.

Equipo de Prensado Estacionario BPI											
Modelo BP 2600											
Código de Colores para las mordazas	Naranja	Rosado	Rojo	Amarillo	Azul	Negro	Rojo	Amarillo	Azul	Rosado	Rojo
Número de Barra	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#14	#18
Diámetro Comercial	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"	1 3/4"	2 1/4"

Nota: El fabricante recomienda utilizar este equipo de prensado principalmente en los diámetros de barras #10, #11, #14 y #18

Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. - USA

Tabla 6:

Equipo de Prensado Estacionario BPI - Modelo BP 3800.

Equipo de Prensado Estacionario BPI					
Modelo BP 3800					
Código de Colores de las mordazas	Rojo	Amarillo	Azul	Rosado	Rojo
Número de Barra	#9	#10	#11	#14	#18
Diám. Comercial	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"	1 3/4"	2 1/4"

Nota: El fabricante recomienda utilizar este equipo de prensado principalmente en los diámetros de barras #9, #10, #11, #14 y #18

Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

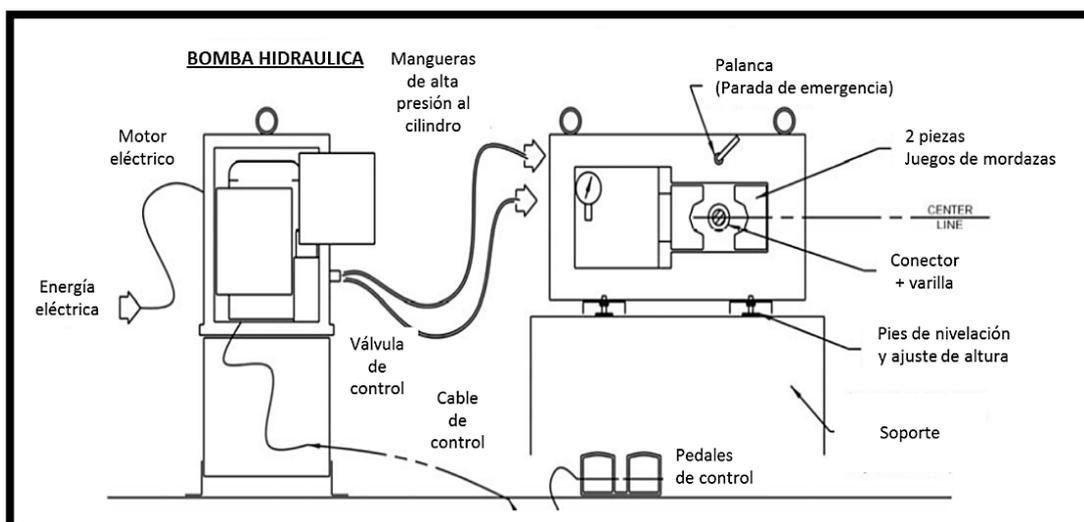
A diferencia de los equipos de prensado portátiles, los equipos estacionarios logran un mayor rendimiento y ratios de productividad más altos, debido a que la gran mayoría de estos trabajos se ejecutan en un mismo nivel o plataforma; lo cual permite el desplazamiento inmediato y de forma más segura del personal. Esta es una de las ventajas frente a los equipos portátiles.

Dentro de estos equipos de prensado estacionario se tienen a los siguientes:

- **Prensa Estacionaria BP2600** (Peso de 725 kg), la cual requiere de una Bomba hidráulica PE400 para su funcionamiento, además de la fuente de energía eléctrica respectiva. En la figura 7, se pueden apreciar los elementos que conforman todo el sistema del Equipo de Prensado Estacionario desarrollado por BPI:

Figura 11:

Prensa Estacionaria BP2600 con Bomba Estacionaria Modelo PE400.



Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. - USA

En cada uno de los proyectos y en general durante el desarrollo de una obra, se deberán evaluar siempre las condiciones o necesidades propias y únicas de cada proyecto como: accesibilidad, alturas,

facilidades de obra; los espacios mínimos contemplados para el uso de los equipos de prensado y para brindar el desplazamiento seguro del personal. En todo momento y por encima de cualquier objetivo organizacional estará la seguridad del personal involucrado en la instalación de estos conectores mecánicos.

Así mismo, deberá evaluarse la integridad del refuerzo, sus tolerancias de curvatura o de curvado, los diámetros y mínimo espaciamiento entre las barras a empalmar. Los costos, plazos y rendimientos requeridos son otras variables que deben evaluarse en campo. Todo ello, permitirá elegir de forma óptima el modelo de equipo de prensado portátil o estacionario; los cuales cuentan con sus elementos como: pedales, bombas hidráulicas, mangueras hidráulicas de alta presión, manómetros, troqueles o mordazas a usar según el diámetro o diámetros de las barras.

La elección del tipo o tipos de equipos de prensado a usar, garantizará la correcta instalación de estos conectores mecánicos de presión BARGRIP, logrando el monolitismo en un sistema Barra-Conector-Barra; y más allá de ello alcanzar los rendimientos y las metas de un proyecto que cada vez son más exigentes en el mundo de la construcción.

A continuación, se muestran algunas fotografías de los procesos de instalación y prensado de este tipo de conector mecánico BARGRIP XL en diferentes proyectos (Figura 12). Nótese que el acero de refuerzo muestra zonas de empalme mucho menos congestionadas, y se evidencia una correcta linealidad o alineamiento de las barras de acero corrugado (Acero de refuerzo vertical – figura 13 y acero horizontal – figura. 14).

Este mejor arreglo del acero de refuerzo, permitirá y favorecerá al proceso de vaciado del concreto de forma tal que se evite la generación de “cangrejeras” visibles e invisibles, oquedades de gran tamaño u otro defecto superficial en las caras externas del concreto, que por lo general se presentan en este tipo de estructuras de concreto armado donde se tienen arreglos de acero con diámetros importantes desde 3/4" a más.

Figura 12:

Instalación y prensado de conectores mecánicos BARGRIP XL, a nivel de obra.



Fuente: Página Web de la empresa CVD Ingeniería Antisísmica SAC - Perú.

Figura 13:

Detalle de Conectores Mecánicos BARGRIP XL instalados en las barras de acero vertical.



Figura 14:

Detalle de Conectores Mecánicos BARGRIP XL instalados en barras de acero horizontal.



Fuente: Página Web de la empresa CVD Ingeniería Antisísmica SAC - Perú.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS y VENTAJAS DEL CONECTOR DE PRESIÓN - BARGRIP:

Dentro de las características técnicas y ventajas más importantes de los conectores mecánicos de presión – BARGRIP, se tienen:

- Es un empalme mecánico de fácil instalación en obra, debido a que el proceso de instalación y prensado en frío es casi inmediato y no se requiere personal calificado y/o especializado para realizar los empalmes en barras de acero corrugado. Además, su instalación y versatilidad permite altos rendimientos en la construcción; así como un buen desempeño del acero de refuerzo en las zonas de empalme, frente a las solicitaciones de carga típicas a las que se encuentran sometidas las estructuras sismo resistentes de concreto armado.
- La tecnología de prensado en frío para empalmes mecánicos de barras corrugadas, es uno de los métodos más establecidos, refinados y desarrollados del mundo. La clave del éxito del prensado en frío es su simplicidad, bajo costo y adaptabilidad.
- En este tipo de conexión mecánica, no hay pérdida del área transversal de la barra de refuerzo en el empalme, lo que convierte al conector BARGRIP XL en una opción técnica natural cuando se consideran objetivos de diseño sísmico, resistencia a explosiones y aplicaciones nucleares relacionadas con la seguridad.
- El empalme y montaje en frío, se realiza sin calentamiento ni precalentamiento del conector mecánico, ni de las barras corrugadas a empalmar. Este empalme mecánico se logra sin humos, ni calentamientos excesivos de las barras de acero corrugado a unir, es decir, el uso de los conectores mecánicos de presión, no alteran ni modifican las propiedades físico-químicas de las varillas de acero; ya que el estampado es un proceso de prensado en frío por un número de mordidas consecutivas.

- Otra de las características importantes del conector de presión, es adaptable en obra e incluso existen conectores de presión de transición, los cuales permiten cambiar de diámetros de las barras corrugadas utilizando este tipo de acople o conector mecánico.
- Los conectores BARGRIP, permiten realizar la conexión a barras existentes, en zonas de ampliación de estructuras u otra necesidad de continuidad del acero de refuerzo. Esta conexión, se realiza con longitudes de empalme bastante reducidas, no siendo necesario contar con la longitud total de empalme requerido como en el caso de los empalmes por traslape simple. Es decir, se puede lograr de forma simple y rápida la continuidad del acero de refuerzo de las estructuras nuevas o existentes, reemplazando al empalme por traslape simple tradicional.
- No es necesario el corte de las barras con sierra o realizar cortes de forma tan precisa, ni tampoco realizar trabajos previos en las barras a empalmar como embuchamientos, sistemas roscados, etc.; para lograr el empalme mediante este tipo de conector mecánico.
- Los conectores de presión, se pueden instalar en cualquier clima (Climas muy fríos, muy calurosos, etc.; es decir, se pueden instalar en la Costa, Sierra o Selva sin ningún inconveniente de control de temperaturas como suceden en los empalmes por soldadura.
- Principalmente este tipo de conector mecánico, se puede utilizar en el interior o exterior del acero de refuerzo de diversas estructuras de concreto armado; donde los espacios son bastantes reducidos.
- Otra de las ventajas de estos conectores mecánicos de presión, radica en su versatilidad para brindar la continuidad al acero de refuerzo en estructuras pre formadas o pre armadas, como jaulas, “peinetas”, etc.
- Los conectores BARGRIP XL, permiten la instalación y montaje de las armaduras como: columnas, placas, pilares, pilotes, etc.; permitiendo inclusive realizar el empalme de las barras corrugadas en la misma sección transversal del elemento de concreto armado, sin duplicar las cuantías de acero.
- Por otro lado, este tipo de conectores mecánicos garantizan el correcto desempeño y la máxima ductilidad de las barras de acero corrugado empalmadas, alcanzando la integridad estructural requerida. Lo mejor de todo, es que se puede establecer una verdadera continuidad estructural en los sistemas de refuerzo, porque las resistencias de los empalmes prensados a diferencia de los empalmes traslapados, no dependen de la resistencia a la compresión ni de los requisitos de cobertura del concreto circundante.
- En comparación con la soldadura por arco manual, los empalmes prensados en frío son más rápidos de instalar, requieren un nivel de habilidad más bajo, no requieren una determinación química de la barra de refuerzo que está empalmada, no requiere precalentamiento o post calentamiento de la barra, y no requieren exámenes radiográficos.

APLICACIONES DE UN CONECTOR DE PRESIÓN:

Existen múltiples aplicaciones de este tipo de conector mecánico, donde se incluyen nuevas construcciones, reparaciones de campo, reacondicionamiento y diseño sísmico. Dentro de las estructuras de importantes dimensiones o gran envergadura, donde tienen aplicación los conectores mecánicos de presión, se tienen: Pilares, vigas tipo cajón, vigas de gran luz, puentes, esclusas, muros de contención, plateas de cimentación, muros esbeltos y de gran altura, sótanos, tanques y reservorios elevados, muelles, túneles, entre otras estructuras. He aquí, algunas aplicaciones que tiene este conector mecánico de presión BARGRIP, en el ámbito de la construcción:

1. **Reemplazo de traslapes:** En zonas de las estructuras de concreto armado, donde se solicite dar continuidad vertical u horizontal de las barras corrugadas en el acero de refuerzo. Los conectores de presión, son muy usados para reemplazar a los empalmes por traslape simple comúnmente utilizados y que generan una congestión significativa en el acero de refuerzo al utilizar diámetros importantes (mayores a 3/4"). Estos conectores permiten descongestionar las áreas de empalme, generando áreas de acero más libres, con mayor espaciamiento y brindan mayor facilidad para el colado del concreto.

Figura 15:

Reemplazo de traslapes mediante el uso de Conectores de Presión.



Fuente: Página Web de la empresa CVD Ingeniería Antisísmica SAC - Perú.

2. Los conectores de presión, también se pueden utilizar en trabajos de reparación y reforzamiento de estructuras que hayan podido sufrir algún tipo de daño por cargas de explosión, incendio, sismos entre otros agentes que han disminuido su capacidad e integridad estructural.
3. Otra aplicación de los conectores de presión BARGRIP, está en el **montaje de elementos pre armados o "jaulas"** para dar continuidad a estructuras como placas, columnas, pilotes, etc.; donde la zona de empalme se produce incluso en una misma sección transversal del elemento de concreto armado sin generar un aumento ni mucho menos una duplicidad de la cuantía del acero de refuerzo.

- **Montaje de Pilotes:**

Instalación de los conectores de presión en el acero de refuerzo principal de un pilote. Es importante señalar, que el empalme de las barras de acero corrugado se realiza en una misma sección transversal del elemento y no es una preocupación en el comportamiento y desempeño estructural del elemento. En segundo término, se realiza el izaje de la armadura de refuerzo del pilote, para luego realizar el prensado de los conectores en la zona de empalme; y así garantizar la continuidad del elemento.

Figura 16:

Empalmes y montaje de la armadura de refuerzo en pilotes mediante conectores de presión.

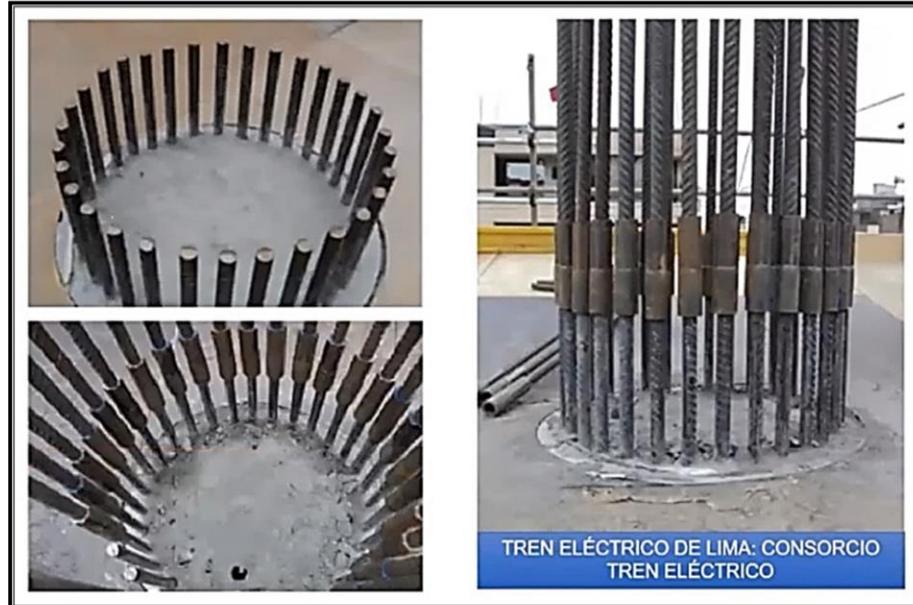


Fuente: Página Web de la empresa CVD Ingeniería Antisísmica SAC - Perú.

4. **Ampliación de Pilares:** En una de las obras de mayor envergadura del país como lo fue el Tren Eléctrico –Etapa 1 en la ciudad de Lima, se necesitaba realizar **la Ampliación y dar la continuidad a los pilares de concreto armado** que habían sido construidos y de algún modo “abandonados” por la primera empresa que tuvo a su cargo la ejecución de este proyecto.
 - **En el análisis técnico realizado se diagnosticó, la siguiente Problemática:** Falta de espacio y longitud mínima para la realización de un empalme por traslape simple en las barras de diámetros importantes que conforman la armadura de refuerzo de los pilares donde los requerimientos de ductilidad son altos. Además, no se quería realizar el picado del concreto existente para lograr las longitudes de empalme requeridas porque ello conllevaría a debilitar e impactar en la integridad estructural de los pilares existentes.
 - **Solución Técnica-Económica planteada y aprobada por el Consorcio del Tren Eléctrico:** Utilizar conectores de Presión BARGRIP XL que corresponden a conectores mecánicos Tipo 2, para la realización de los empalmes en las barras de acero corrugado existentes con las varillas de acero nuevas, logrando así la continuidad al acero de refuerzo en estos elementos estructurales donde las exigencias de ductilidad son muy altas. De esta manera también, se garantizó el desempeño sismorresistente de estos pilares.

Figura 17:

Instalación de conectores BARGRIP XL en la ampliación de pilares – Tren Eléctrico de Lima



Fuente: Página Web de la empresa CVD Ingeniería Antisísmica SAC - Perú.

En la figura 18, se aprecia que los conectores de presión BARGRIP XL Tipo 2 han sido correctamente instalados en cada una de las barras de acero corrugado para darles la continuidad requerida, sin que la estructura presente un mayor congestionamiento en el refuerzo, lo cual favorece al vaciado del concreto en estos pilares que son elementos de concreto armado importantes para esta línea férrea eléctrica que se construyó en la ciudad de Lima:

Figura 18:

Ampliación y continuidad del acero de refuerzo en pilares – Obra del Tren Eléctrico – Lima



Fuente: Página Web de la empresa CVD Ingeniería Antisísmica SAC - Perú.

ANEXO C: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, DETALLES, VENTAJAS Y APLICACIONES DE UN CONECTOR MECÁNICO DE TORNILLO ZAP SCREWLOK

En la marca BarSplice Products, Inc. (BPI) de procedencia norteamericana (EE. UU) se tiene el conector de tornillo ZAP SCREWLOK, el cual presenta un sistema de sujeción conformado por tornillos alineados en una o dos filas para lograr unir las barras corrugadas. El sistema Zap Screwlok, es un empalme mecánico de tornillo de corte, diseñado para conectar barras existentes y aplicaciones de reparación.

Figura 1:

Conector Mecánico de Tornillo BPI - Zap Screwlok



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Su estructura simple está diseñada para ser fácil de usar y no requiere equipo especializado para su instalación. La forma de cuña permite un rendimiento completo independientemente de la orientación.

Figura 2:

Detalle de tornillos y sección transversal del Conector Zap Screwlok.



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

En este tipo de conector mecánico ZAP SCREWLOK, los tornillos vienen alineados y listos para el ajuste respectivo. Estos tornillos de sujeción vienen fabricados formando una o dos filas, por lo que el fabricante BarSplice Products, Inc. (BPI), los clasifica y nombra en el idioma inglés americano como: **Zap Screwlok Single Row** (01 fila de tornillos) y **Zap Screwlok Double Row** (02 filas de tornillos); esto obedece al diámetro y dimensiones del conector como tal y de las barras corrugadas a empalmar.

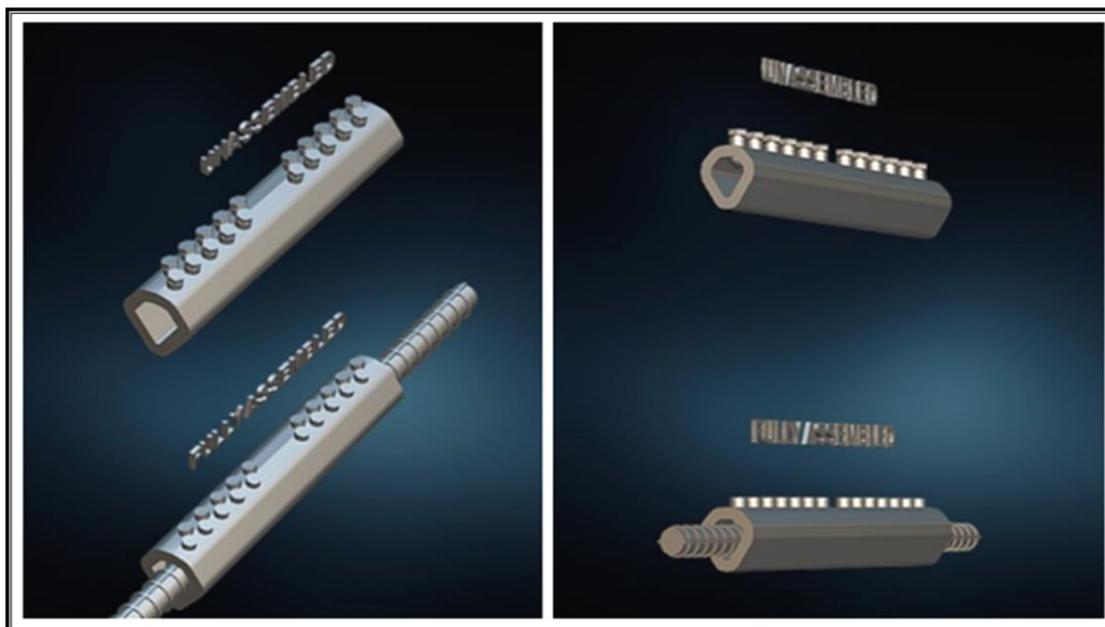
En la fabricación y comercialización de los conectores mecánicos de tornillo Zap Screwlok de una sola fila o de dos filas, BPI considera los siguientes diámetros a empalmar:

- **Conector de Tornillo Zap Screwlok Single Row Type 2 y Epóxicos (Única fila de tornillos)**
– Se fabrican y comercializan desde los diámetros **#3 (3/8")** hasta el diámetro **#11 (1 3/8")**
- **Conector de Tornillo Zap Screwlok Double Row Type 2 y Epóxicos (02 filas de tornillos)**
– Corresponde a los diámetros **#11 (1 3/8")** hasta el diámetro **#14 (1 3/4")**

A continuación, se muestra una imagen en 3D de los conectores mecánicos Zap Screwlok de una y dos filas de tornillos respectivamente:

Figura 3:

Vista 3D de los Conectores de Tornillo Zap Screwlok, Double Row y Single Row



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Por otra parte, cabe considerar, que la segunda fila de tornillos se incorpora para los conectores mecánicos de tornillo Zap Screwlok Double Row Type 2 y Epóxicos, donde los diámetros son bastante significativos y corresponden a diámetros de barras corrugadas ASTM A615 Grado 60 desde 1 3/8" hasta 1 3/4".

El fabricante BarSplice Products, Inc. (USA) garantiza que ambos conectores mecánicos descritos en los párrafos anteriores, cumplen con el monolitismo del empalme y la ductilidad del

elemento estructural según los requisitos de diseño establecidos en el ACI y la norma peruana Concreto Armado-E.060; que se aplica en nuestro país.

Todos los conectores de tornillo de la marca BPI, cuentan con una pegatina de certificación y en la cual se consigna un código de identificación según el diámetro y tipo al cual corresponde el conector mecánico de tornillo. El detalle de esta pegatina se muestra en la siguiente figura:

Figura 4:

Pegatina de certificación y código de identificación del conector de tornillo ZAP SCREWLOK según diámetro y tipo, por el fabricante BPI (USA)



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Este tipo de conector mecánico es ideal para áreas de espacios reducidos (Espacios muy confinados y de áreas mínimas para realizar el empalme de las barras del acero de refuerzo), es decir, espacios donde no se pueden realizar otro tipo de ensamble como por ejemplo el uso de tenazas portátiles automáticas.

La instalación del conector mecánico Zap Screwlok **es netamente manual y no requiere de personal calificado en obra**. Para su instalación simplemente se utiliza una **llave ratchet** o una **pistola neumática** que permite el rápido ajuste de los tornillos que conforman el sistema de sujeción de este conector mecánico.

Al realizar el apriete o ajuste de los tornillos y al alcanzar el torque requerido las cabezas de estos salen, se desprenden o simplemente se separan del cuerpo de cada uno de ellos, lo cual indica que han alcanzado el ajuste respectivo garantizándose el correcto ensamble del conector mecánico a las barras corrugadas en las zonas de empalme. Esta condición de ajuste es inherente al material del cual están fabricados cada uno de los tornillos que conforman el sistema en el conector Zap Screwlok.

Figura 5:

Ajuste de Pernos Tipo TC del Sistema de Fijación en el Conector Mecánico Zap Screwlok



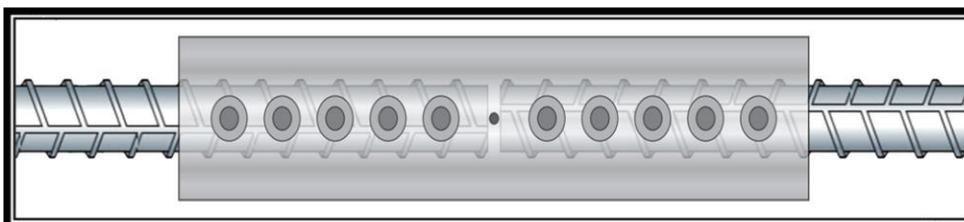
Fuente: Página Web de la empresa CVD Ingeniería Antisísmica SAC - Perú.

Los tornillos que usan estos tipos de conectores mecánicos, pertenecen a los **PERNOS O TORNILLOS TC (Twist-off torque)**, lo cual técnicamente se traduce en **Pernos o Tornillos de Torque Controlado BPI N22A**. Estos tornillos, vienen acoplados formando el sistema de sujeción y anclaje para este tipo de conector; y según su clasificación normada corresponden a Pernos o Tornillos Estructurales de Alta Resistencia cuya composición química está formada por carbono cromado.

La función principal de estos Tornillos TC (Twist-off torque), radica en lograr un acoplamiento monolítico entre el conector mecánico y las barras de acero corrugado; donde estos tornillos se incrustan en las barras e impiden su desplazamiento durante la puesta en servicio de este tipo de empalme en las estructuras de concreto armado:

Figura 6:

Detalle del empalme de barras corrugadas mediante el Conector Mecánico de Tornillo.



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Como parte de esta investigación en el **Anexo H**, se explica y detalla una guía o procedimiento de instalación para los Conectores Mecánicos de Tornillo Zap Screwlok; teniendo en cuenta las sugerencias o recomendaciones y lo establecido en las fichas técnicas del fabricante. Esto permitirá ejecutar y lograr los empalmes correctos de barras corrugadas ASTM A615 Grado 60 con este tipo de conectores mecánicos; que presentan, una gran versatilidad y utilidad en la industria de la construcción.

En la siguiente figura se muestra la aplicación de este tipo de conector de tornillo tipo 2 epóxico (Zap Screwlok de una sola fila de tornillos), para empalmar barras corrugadas ASTM A615 Grado 75 también con recubrimiento epóxico, permitiendo la continuidad del acero de refuerzo en muros, placas y pantallas de gran altura, etc.:

Figura 7:

Empalmes alternados con conectores mecánicos Zap Screwlok instalados en aceros de refuerzo vertical ambos con tratamiento superficial epóxico



Fuente: Página Web de la empresa CVD Ingeniería Antisísmica SAC - Perú.

APLICACIONES DEL CONECTOR ZAP SCREWLOK:

Dentro de las aplicaciones del conector de tornillo Zap Screwlok, en las estructuras de concreto armado, se tienen:

- Ampliaciones donde no hay o existen “mechas” o la longitud suficiente para realizar el empalme y la continuidad del acero de refuerzo.
- Ampliaciones de estructuras de concreto armado en espacios muy reducidos o espacios confinados.
- Ampliaciones del acero de refuerzo longitudinal y/o principal en columnas, pilotes, pilares, etc. permitiendo realizar los empalmes de las barras de acero corrugado en una misma sección transversal del elemento estructural.
- Conexión de elementos Prefabricados: Estos conectores permiten realizar la conexión de elementos prefabricados con estructuras de concreto armado vaciadas in situ u otras estructuras de acero.
- Ampliación y reforzamiento de Placas de concreto armado: Previamente se debe realizar identificación y cuantificación de los elementos que conforman el acero de refuerzo, para evitar daños significativos en el concreto y acero existente. Es allí donde surge la necesidad de empalmar el acero de refuerzo en espacios relativamente cortos donde las longitudes de empalme superan significativamente las dimensiones del área a reforzar.

ANEXO D: RECREACIÓN FOTOGRÁFICA DEL ENSAMBLAJE DE PROBETAS EN TALLER UTILIZANDO CONECTORES MECÁNICOS

En el ensamblaje de probetas de acero corrugado ASTM A615 Grado 60, para los diámetros 3/4", 1" y 1 3/8" unidas mediante Conectores Mecánicos de Presión y de Tornillo ambos acoples del Tipo 2 y de la marca BarSplice Products, Inc.; se evidenciaron dos momentos o escenarios los cuales se ha llevado a cabo en la ciudad de Lima, utilizando las instalaciones y equipamiento con el que cuenta el taller de la empresa CDV Ingeniería Antisísmica SAC, quien es la representante de la marca norteamericana BPI en el Perú.

Antes y durante el desarrollo de las actividades pertenecientes al ensamblaje de probetas, se contó con el apoyo del personal técnico y profesional de la empresa representante (CDV Ingeniería Antisísmica SAC); el cual se detalla en la tabla 1 de este anexo donde además se indica la dirección del taller de esta empresa especializada.

Tabla 1:

Datos del taller y personal técnico-profesional que participó en el proceso de ensamblaje de probetas

<i>Ubicación del Taller</i>	<i>: Taller de CDV Ingeniería Antisísmica - Av. Javier Prado Este 3349 – Distrito de San Borja – Lima – Perú</i>
<i>Fecha</i>	<i>: 24 y 25 de Julio del 2019</i>
<i>Técnico de CDV</i>	<i>: Sandro Acevedo Alarcón</i>
<i>Supervisión CDV</i>	<i>: Ing. Fernando Castillo Herrera</i>
<i>Tesista</i>	<i>: Bach. Ricardo Américo Cabrera Sánchez - EAPIC - UNC</i>

El desarrollo de las actividades referentes al ensamblaje de probetas, permitió entender y aprender la secuencia de los procesos, conocer los controles que se aplican en ellos para lograr un correcto ensamblaje de las probetas formadas por barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 para los diámetros 3/4", 1" y 1 3/8" unidas mediante conectores mecánicos de Continuidad tipo 2: BARGRIP XL y ZAP SCREWLOK SL, que son conectores de presión y de tornillo respectivamente.

A continuación, se detallan estos dos procesos de ensamblaje y elaboración de probetas:

I. ENSAMBLAJE DE PROBETAS DE ACERO CORRUGADO UNIDAS MEDIANTE CONECTORES DE PRESIÓN BARGRIP XL:

Mediante la siguiente recreación fotográfica mostrada, se ilustra el paso a paso de este proceso de ensamblaje correspondiente a las probetas de acero corrugado unidas con Conectores de Presión BARGRIP XL Tipo 2, para los diámetros especificados.

Fotografía N° 1.

Verificación del Tipo y Dimensiones de los conectores de Presión – Verificación de la Operatividad del Equipo de Prensado



Fotografía N° 2.

Ensamblaje de Probetas mediante el Proceso de Estampado en frío o Prensado de los Conectores BARGRIP XL Tipo2



II. ENSAMBLAJE DE PROBETAS DE ACERO CORRUGADO EMPALMADAS CON CONECTORES DE TORNILLO ZAP SCREWLOK:

A continuación, se muestra el paso a paso del proceso de ensamblaje y elaboración de probetas utilizando Conectores de Tornillo Zap Screwlok SL Tipo 2. En este proceso, solamente fue necesario contar con una llave Ratchet con su juego de dados respectivos, para realizar el ajuste de cada uno los tornillos que conforman el sistema de sujeción en este tipo de acopladores o conectores mecánicos:

Fotografía N° 3.

Control Dimensional e Integridad de los Conectores de Tornillo ZAP SCREWLOK TIPO 2 de una sola Fila de Tornillos



Fotografía N° 4.

Apriete o Ajuste de los Tornillos de Torque Controlado - Conectores ZAP SCREWLOK TIPO 2 de una Sola Fila de Tornillos



Fotografía N° 5.

Verificación de la linealidad de las barras empalmadas y del ensamblaje en su conjunto, mediante Conectores ZAP SCREWLOK TIPO 2 de una Sola Fila de Tornillos



Fotografía N° 6.

Separación de la cabeza hexagonal de cada Tornillo perteneciente al Sistema de Sujeción de los Conectores ZAP SCREWLOK TIPO 2, al haber alcanzado el Torque o Ajuste requerido.



Fotografía N° 7.

Proceso de Ensamblaje Finalizado para un Conector ZAP SCREWLOK TIPO 2 de una Sola Fila de Tornillos, formando el Sistema Barra-Conector-Barra



ANEXO E: RECREACIÓN FOTOGRÁFICA DE LAS ACTIVIDADES PREVIAS Y LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN EN EL LABORATORIO

I. ACTIVIDADES PREVIAS A LA REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:

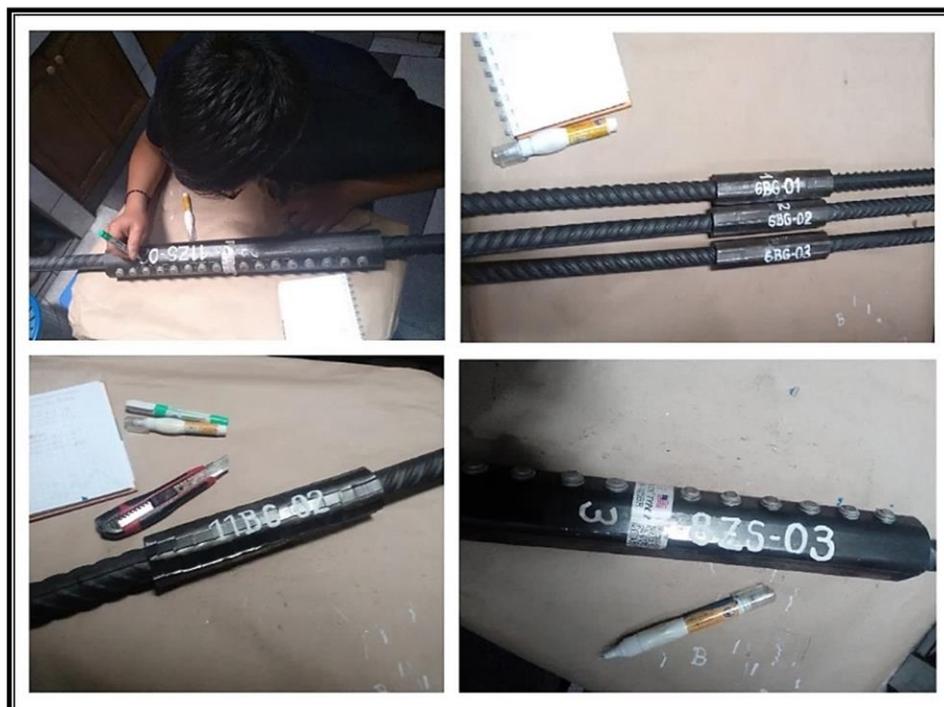
En esta etapa se realizaron varias actividades, las cuales se detallan paso a paso y se muestran en la siguiente ilustración fotográfica:

a) Codificación y Nomenclatura de probetas ensambladas:

Con un marcador líquido blanco se codificó todas las probetas ensambladas y elaboradas en taller; teniendo en cuenta los diámetros, tipos de conector mecánico y demás consideraciones técnicas descritas y detalladas en el ítem 3.5.3. Nomenclatura y codificación de probetas, perteneciente al Capítulo III de esta tesis.

Fotografía N° 1.

Codificación y nomenclatura de probetas



b) Proceso de preparación de probetas en el laboratorio

Para llevar a cabo este proceso se coordinó con el responsable del laboratorio de ensayo de materiales, a fin de obtener las dimensiones y características técnicas de las 02 Máquinas Universales de Ensayo Uniaxial con las que cuenta el LEM N°1 "ING. MANUEL GONZALES DE LA COTERA"; perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

La preparación de las probetas, fue realizado en las instalaciones y por el personal calificado que labora en este laboratorio de ensayo de materiales, tal como se aprecia en las fotografías siguientes:

Fotografía N° 2.

Marcado dimensional y preparación de probetas de acero con Conectores de Tornillo



Fotografía N° 3.

Preparación de probetas de acero con Conectores de Presión



c) Pruebas en vacío para verificar la operatividad de los equipos de medición y ensayo

Se verificó el ajuste, ubicación, integridad, dimensiones de los elementos y mecanismos de sujeción (mordazas) de cada una de las máquinas universales.

Fotografía N° 4.

Verificación de los elementos de sujeción y la operatividad de los equipos de medición y ensayo



Como parte de las actividades de control y aseguramiento de calidad de los ensayos de tracción; en las actividades previas a la realización de estos ensayos se revisó y verificó los certificados de calibración de cada uno de los equipos de medición y ensayo; donde se pudo apreciar su vigencia, código, marca, número de serie, etc.; a fin de asegurar y garantizar la calidad y confiabilidad de los datos al realizar cada uno de los ensayos de tracción.

Además, se llevó a cabo las respectivas pruebas en vacío para garantizar el correcto funcionamiento y operatividad de las máquinas universales uniaxiales y los diferentes equipos de medición y ensayo a utilizar durante los ensayos de tracción en el laboratorio de ensayo de materiales LEM N°1 "ING. MANUEL GONZALES DE LA COTERA" – FIC – UNI.

Fotografía N° 5.

Pruebas en vacío para verificar la Operatividad de los Equipos de Medición y Ensayo – Termo higrómetro y Máquina Universal N° 3 con su respectivo Software **testXpert II**.



Fotografía N° 6.

Proceso de verificación de la Operatividad de la Máquina Universal N° 2 – TOKYOKOKY SEIZOSHO conjuntamente con el responsable técnico del LEM



II. RECREACIÓN FOTOGRÁFICA DE LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE TRACCIÓN EN EL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES:

- 1) Ensayos de tracción a probetas de acero corrugado empalmadas con Conectores Mecánicos de Presión BARGRIP XL Tipo 2:

Fotografía N° 7.

Ensayo de tracción de las probetas **6BG-01**, **6BG-02** y **6BG-03** (MUNV-3 – ZWICK ROELL SP 1000)



Fotografía N° 8.

Ensayo de tracción de las probetas **8BG-01**, **8BG-02** y **8BG-03** (MUNV-3 – ZWICK ROELL SP 1000)



Fotografía N° 9.

Ensayo de tracción de la probeta 11BG-02 (MUNV-3 – ZWICK ROELL SP 1000)



De este grupo de probetas de acero corrugado, empalmadas mediante conectores mecánicos de presión BARGRIP XL Tipo 2; las probetas de código 11BG-01 y 11BG-03 fueron ensayadas en la Máquina Universal N° 2 – TOKYOKOKY SEIZOSHO. Ver fotografía siguiente:

Fotografía N° 10.

Ensayo de tracción de las probetas 11BG-01 y 11BG-03 (MUNV-2 – TOKYOKOKY SEIZOSHO)



2) Ensayos de Tracción – Probetas de Acero corrugado empalmadas con Conectores Mecánicos de Tornillo ZAP SCREWLOK Tipo 2:

Fotografía N° 11.

Ensayo de tracción de las probetas 6ZS-01, 6ZS-02 y 6ZS-03 (MUNV-3 – ZWICK ROELL SP 1000)



Fotografía N° 12.

Ensayo de tracción de las probetas 8ZS-01, 8ZS-02, 8ZS-03, 11ZS-01, 11ZS-02 y 11ZS-03 (Máquina Universal MUNV-2 – TOKYOKOKY SEIZOSHO)



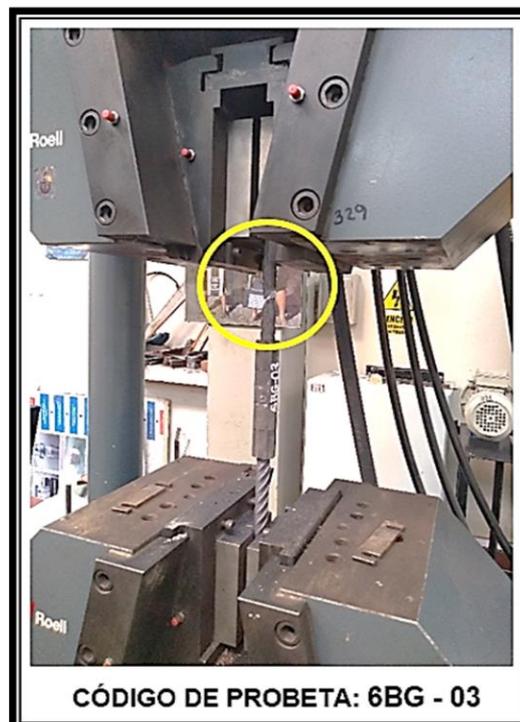
ANEXO F: TIPOS DE FALLA PRESENTADOS EN LAS PROBETAS ENSAYADAS

a) En el grupo de probetas empalmadas con Conectores de Presión BARGRIP XL Tipo2:

Las fotografías que a continuación se muestran, permiten identificar y clasificar los tipos de falla que se presentaron este grupo de probetas ensayadas.

Fotografía N° 1.

Falla Tipo BAR BREAK en las Probetas 6BG-01, 6BG-02 y 6BG-03



Fotografía N° 2.

Falla Tipo BAR BREAK en las Probetas 8BG-01 y 8BG-02



Fotografía N° 3.

Falla Tipo BAR BREAK en las Probetas 11BG-02 y 11BG-03



Fotografía N° 4.

Falla por Deslizamiento del Conector en la Probeta 11BG-01



Fotografía N° 5.

Falla por Deslizamiento del Conector en la Probeta 8BG-03



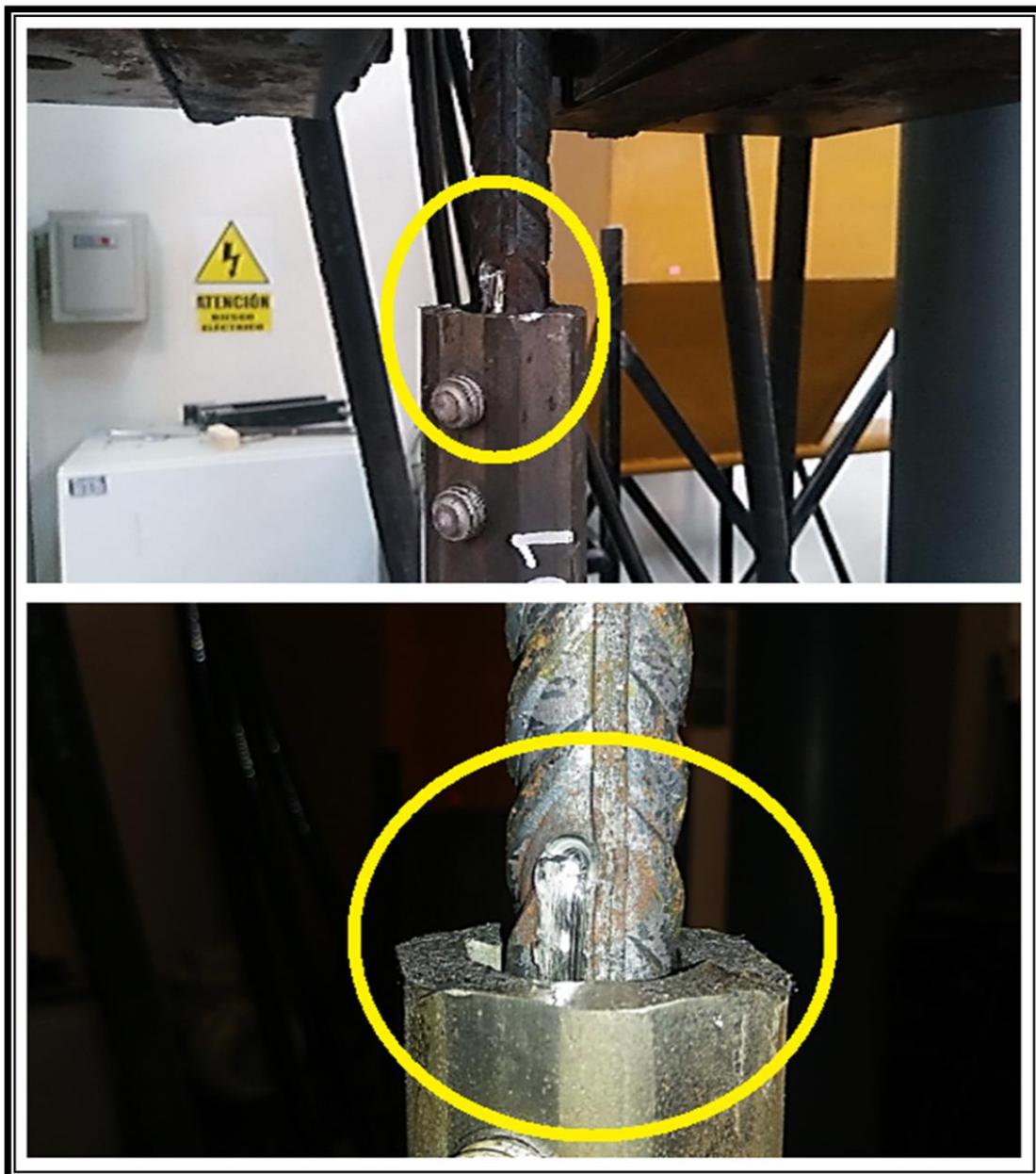
Al realizar el ensayo de tracción, en esta probeta de código 8BG – 03, se produjo el desacoplamiento de la barra desde el interior del conector mecánico de presión BARGRIP XL, es decir, se desacopló la barra de acero corrugado inferior de diámetro 1” que conformaba esta probeta.

b) Tipos de falla presentados en las probetas ensayadas y empalmadas con conectores de tornillo ZAP ESCREWLOK SL Tipo 2

En las fotografías 6, 7 y 8; se muestran las Fallas Típicas por Deslizamiento, que se presentaron en las probetas ensayadas a tracción; y que fueron elaboradas utilizando barras de acero corrugado ASTM A615 Grado 60 de diámetros 3/4", 1" y 1 3/8" debidamente empalmadas con Conectores de Tornillo ZAP SCREWLOK Tipo 2, los cuales corresponde a conectores de una sola fila de tornillos para los diámetros especificados:

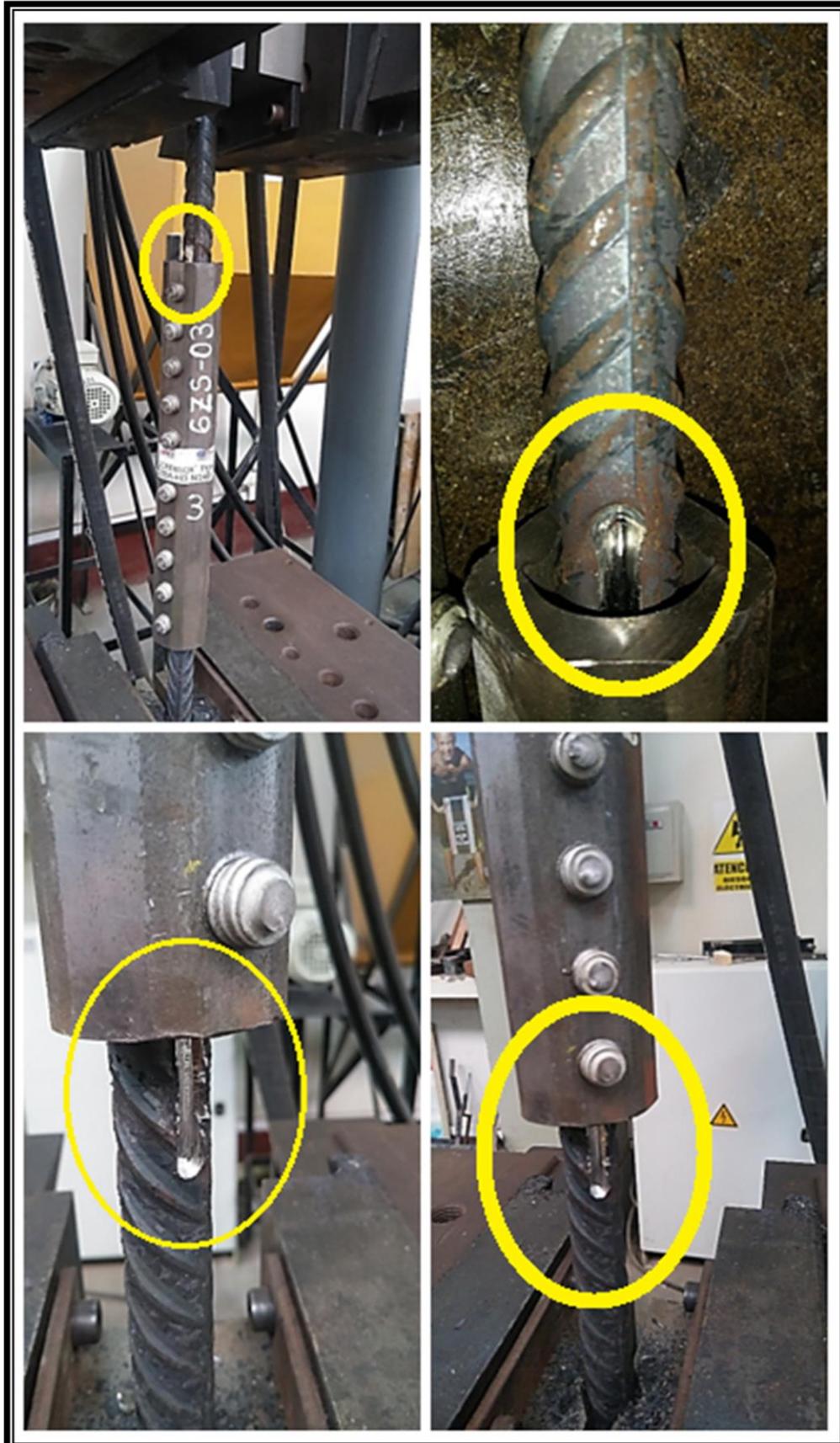
Fotografía N° 6.

Fallas Típicas por Deslizamiento en Conectores de Tornillo



Fotografía N° 7.

Fallas Típicas por Deslizamiento en Conectores de Tornillo



Fotografía N° 8.

Fallas Típicas por Deslizamiento en Conectores de Tornillo



ANEXO G: PROCEDIMIENTO E INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN PARA CONECTORES DE PRESIÓN

En el presente anexo, se detalla el procedimiento y las instrucciones de instalación aplicable a los Conectores Mecánicos de Presión de la serie **BARGRIP** fabricados por la empresa norteamericana BarSplice Products, Inc. – BPI. Existe una gran diversidad de conectores de presión de esta marca.

En esta tesis, se elaboró y unificó este procedimiento, teniendo en cuenta las fichas técnicas e instrucciones de instalación establecidas por el fabricante (BPI). Además, se consideró que el proceso de estampado y prensado en frío es común y tiene gran similitud en todos los tipos de conectores mecánicos de presión:

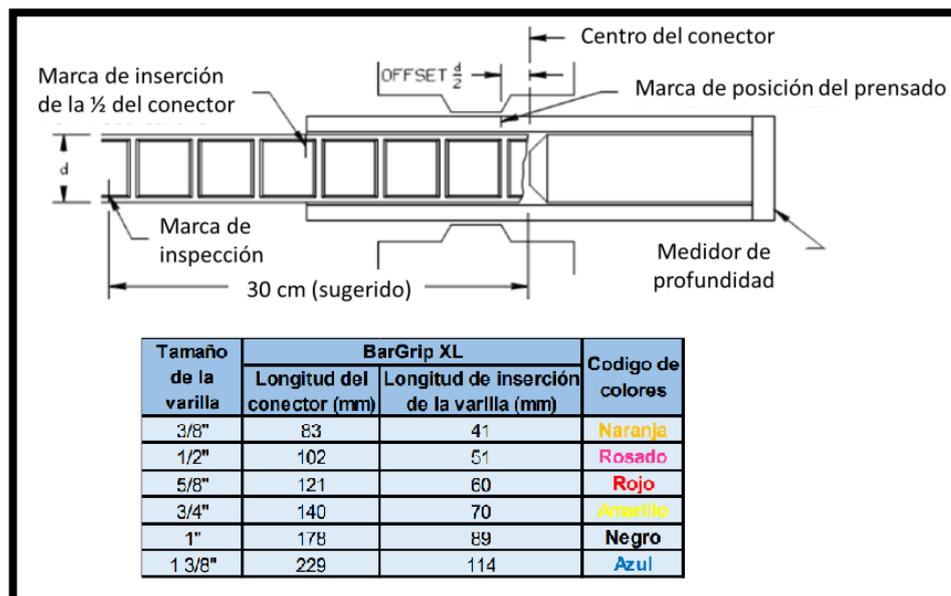
Procedimiento de Instalación:

Luego de haber conocido las ventajas y descrito las características técnicas más importantes de los Equipos de Prensado con los que cuenta BPI, pasamos a detallar el procedimiento de instalación de los conectores de presión BARGRIP conjuntamente con las barras de acero corrugado y brindar el detalle del proceso de estampado en frío, para lograr una correcta instalación:

1. Asegúrese de que la mordaza haya sido correctamente instalada en la prensa manual tomando como referencia el estampado y/o los códigos de color que se muestran en la tabla de la Figura 1. El código de color del conector debe coincidir con el código de color de la mordaza.
2. Insertar la varilla hasta la mitad del conector con ayuda de algún instrumento de medida o trozo de alambre como marca de inserción (Figura 7). La varilla de refuerzo debe deslizarse fácilmente, y si no, comprobar si no se presentan altas costillas longitudinales. **no trate de forzar el ingreso de la varilla, no utilice varillas dobladas o con extremos curvados.**

Figura 1:

Gráfica del proceso de Instalación del Conector de Presión y las barras corrugadas.



Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

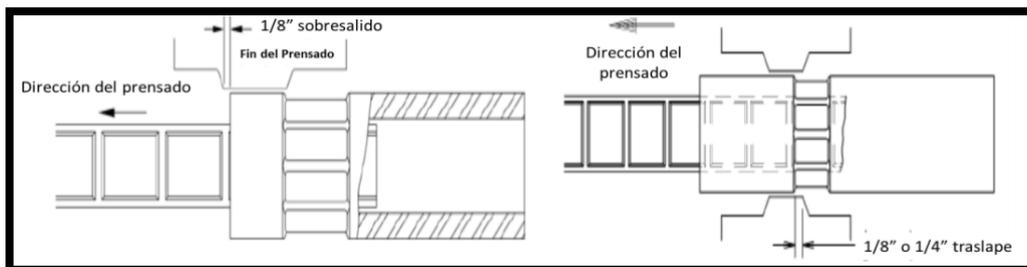
- Introducir el conector con la varilla entre las mordazas. Ajustar la posición del conector de manera que el área de mordida de la mordaza este sobre la varilla y fuera del centro, como se muestra en la Figura 8. NO TRATE DE PRENSAR NINGUNA PARTE DEL CONECTOR QUE NO PRESENTE LA VARILLA INSERTADA.
- Después de que el enganche esté en su lugar y la varilla haya sido insertada correctamente presione el pedal para cerrar la mordaza y permitir que la presión aumente a 10,000 psi mínimo (10,600 psi como máximo) en cuyo momento el equipo se apaga automáticamente. Suelte el pedal para retraer la mordaza. Si usted comete un error o hay algún problema, no olvide retirar el pie del pedal.
- Mantener siempre un traslape de mordida a partir de la segunda prensada, esto quiere decir que cada vez que se desarrolle una prensada la siguiente deberá estar colocada entre 1/8"-1/4" por encima de la anterior, tal como se muestra en las Figuras 2A y 2B del presente procedimiento:

Figura 2A:

Correcto Prensado del conector

Figura 2B:

Traslape y Dirección del Prensado en frío

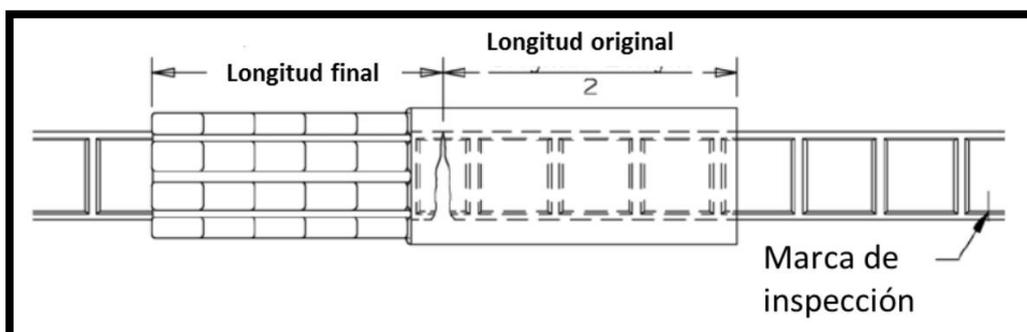


Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. - USA

- Una vez que el conector se vuelva a colocar para la siguiente prensada, presione el pedal para cerrar la mordaza. Espere que la presión de la bomba llegue a 10,000 psi y esta se apagará automáticamente. Suelte el pie del pedal para retirar la mordaza. Cuando se instala correctamente, la primera mitad del conector se verá como la figura que se muestra a continuación:

Figura 3:

Correcta Instalación de la Primera Mitad del Conector de Presión y las barras corrugadas.



Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. - USA

7. Hacer una marca de inspección a 12" del extremo de la varilla como se muestra en la Figura 10 de este procedimiento, y luego inserte la segunda varilla a fin de apoyarse contra la primera.
8. Continuar con las prensadas traslapadas sucesivamente, comenzando desde el centro hasta el extremo del conector de manera que esté totalmente prensado tal como se aprecia en la figura 4. Es importante, revisar y referirse a la siguiente tabla para identificar el mínimo de prensadas a desarrollar de acuerdo al conector utilizado. Los traslapes deberán seguir siendo entre 1/8" y 1/4" a menos que se encuentre en el final del conector en cuyo caso el traslape deberá ser de 1/8":

Tabla 1.

Número mínimo de Prensadas del Conector de Presión BarGrip XL por cada varilla

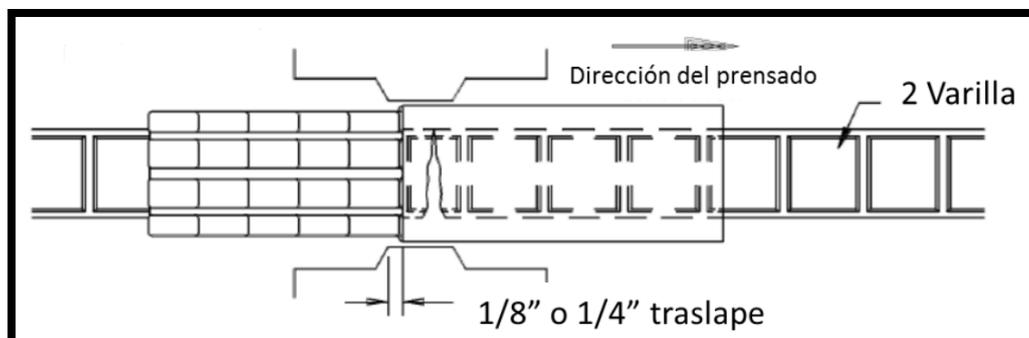
Diámetro de la varilla corrugada	Conector de Presión BarGrip XL			Longitud Total Promedio del conector antes y después de ser prensado (mm)	
	Número de Mordidas por Varilla			Longitud Inicial	Longitud Final
	Prensa Estacionaria	Prensa Manual			
		Prensa BG400	Prensa BG750		
3/8"	1	2	2	83	90
1/2"	1	3	2	102	110
5/8"	1	3	2	121	130
3/4"	1	5	2	140	155
1"	1	7	3	178	200
1 3/8"	2	N/A	7	229	255

N/A: No aplica

Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. - USA

Figura 4:

Correcta instalación de la barra corrugada y prensado de la Segunda mitad del Conector BarGrip.



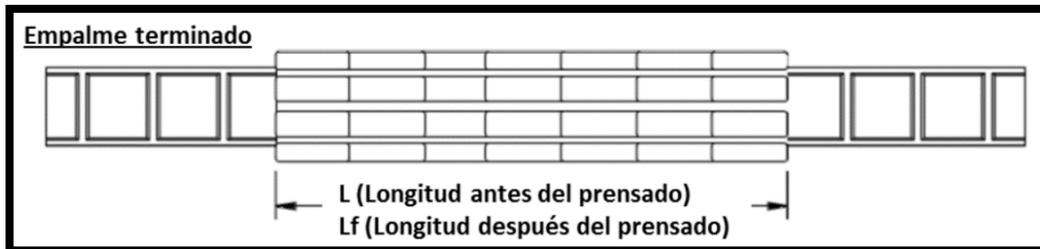
Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. - USA

9. Un conector totalmente prensado deberá verse como en la figura 5. Durante la verificación de la instalación y el correcto prensado de los Conectores de Presión, deberá inspeccionarse y

asegurar que ninguna parte del conector quede sin prensar, es decir, **NO debe presentarse ninguna parte del conector sin prensar.**

Figura 5:

Estampado en frío completado en un Conector de Presión BarGrip XL.

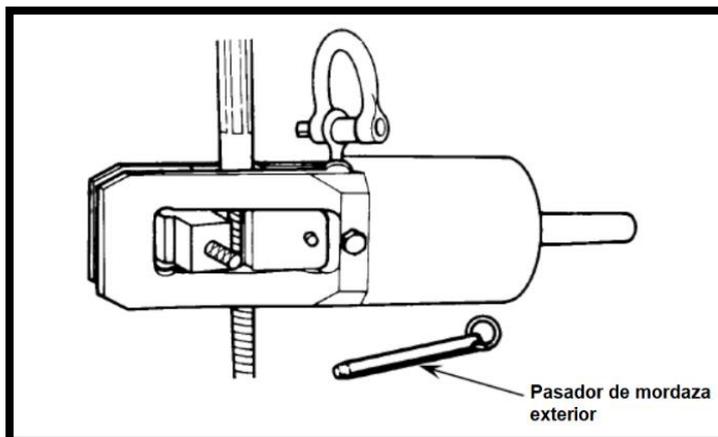


Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. - USA

10. Para quitar la prensa del conector se mueve desde el claro del conector, saque el pin de seguridad exterior y retire la mordaza (Figura 6). Siempre asegúrese de que el pin de seguridad vuelva ser colocado para la siguiente conexión. Desconecte la energía de la bomba cuando no esté en uso:

Figura 6:

Forma segura de retirar el equipo de prensado portátil.



Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. - USA

11. Seguridad y Salud Ocupacional en el trabajo:

En todos los casos, tenga en cuenta su propia seguridad personal y la de su equipo de trabajo. Asegúrese de identificar los riesgos y aplicar los controles respetivos como: Contar con todas las herramientas de gestión, autorizaciones, permisos de trabajo seguro, estar correctamente posicionado y durante la instalación de estos conectores mecánicos, no se resbalará ni mucho menos podrá sufrir una caída a un mismo o distinto nivel.

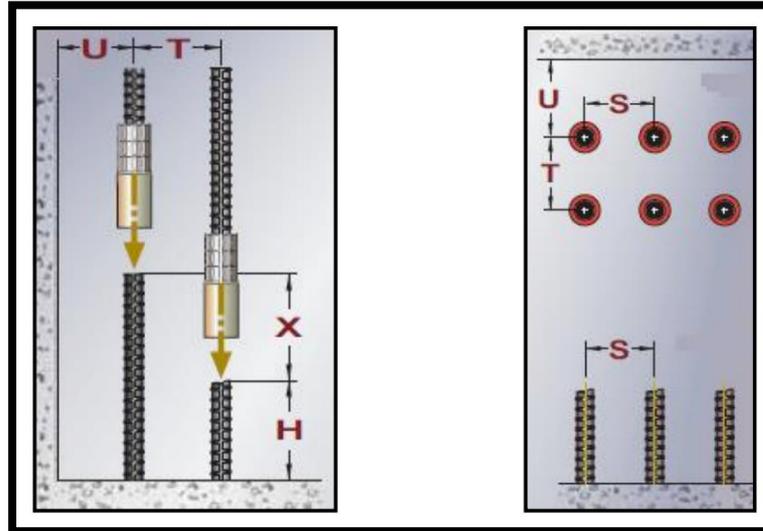
Considerar en todo momento que la seguridad e integridad del personal involucrado en la tarea, está por encima de cualquier objetivo organizacional.

12. Recomendaciones y Dimensiones a tomar en cuenta durante la instalación:

Tomaremos como ejemplo a los Conectores de Presión BARGRIP XL, que corresponde a acopladores mecánicos del Tipo 2. El fabricante BarSplice Products, Inc. (USA), recomienda las siguientes dimensiones que deben considerarse al momento de hacer la instalación de estos conectores y según la tenaza a utilizar, básicamente estas dimensiones obedecen a temas de maniobrabilidad y seguridad. (Ver figuras adjuntas)

Figura 7:

Dimensiones a considerar en la instalación de los Conectores BARGRIP XL.



	Press Model	'H' (mm)	'S' (mm)	'T' (mm)	'X' (mm)	'U' (mm)	No. Bites
<p>BARGRIP XL</p>	BG 250	83	41	51	117	57	5
		95	44	54	127	60	7
		108	48	57	171	64	9
	BG 400	143	76	108	194	133	9
		159	76	114	222	140	11
		171	83	114	241	140	14
	BG 750M	191	83	133	292	159	8
		203	89	140	318	165	11
		219	89	146	333	165	14
	BG 1140M	244	117	174	349	225	11
		255	118	176	366	226	12
		264	121	178	385	229	14
300		127	191	475	235	20	
330		133	203	528	241	25	

Fuente: Fichas Técnicas y Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

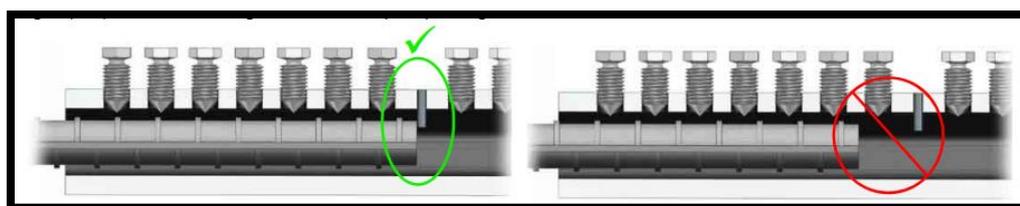
ANEXO H: PROCEDIMIENTO E INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN PARA CONECTORES DE TORNILLO

A continuación, se detalla el procedimiento y las instrucciones de instalación para Conectores Mecánicos de Tornillo o acopladores de la serie **ZAP SCREWLOK TIPO 2 Y EPOXY, CON UNA FILA O DOBLE FILA DE TORNILLOS**; teniendo en cuenta las fichas técnicas e instrucciones establecidas por el fabricante BarSplice Products, Inc. (USA):

1. Deslice el acoplador ZAP SCREWLOK sobre uno de los extremos de la barra de refuerzo hasta que la barra de refuerzo toque el tope central positivo del acoplador, como se muestra en la Figura 1A. No lo inserte por debajo, como se muestra en la Figura 2A. Si el acoplador se suministra especialmente, sin tope central o si se quita el tope central, mida y marque la barra de refuerzo para la mitad del acoplador longitud ($L/2$) antes de insertarlo en el acoplador según la Figura 3A y la Tabla 1:

Figura 1A: *Correcta inserción de la barra corrugada en el interior del conector de tornillo*

Figura 2A: *Incorrecta inserción de la barra corrugada en el interior del conector de tornillo*

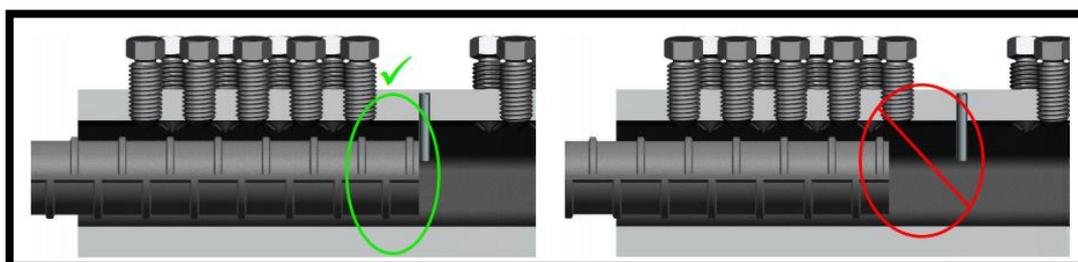


Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Para lograr una correcta inserción de la barra de acero corrugada en el primer lado del conector de tornillo de doble fila (Zap Screwlok Double Row), se debe considerar las mismas instrucciones de instalación establecidas en el numeral 1 de este procedimiento, que han sido referidas para los conectores de una sola fila de tornillos. En las figuras 1B y 2B, se ilustra el proceso correcto e incorrecto de inserción de las barras corrugadas al primer lado del conector de doble fila de tornillos:

Figura 1B: *Correcta inserción de la barra corrugada en el interior del conector de doble fila de tornillos*

Figura 2B: *Incorrecta inserción de la barra corrugada en el interior del conector de doble fila de tornillos*



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

2. Con la ayuda de una llave ratchet o con una llave de impacto y un dado "S" según se indica en el Cuadro 1, y el apriete los tornillos de torsión se ejecutará comenzando del extremo del conector mecánico avanzando hacia la mitad del acoplador.

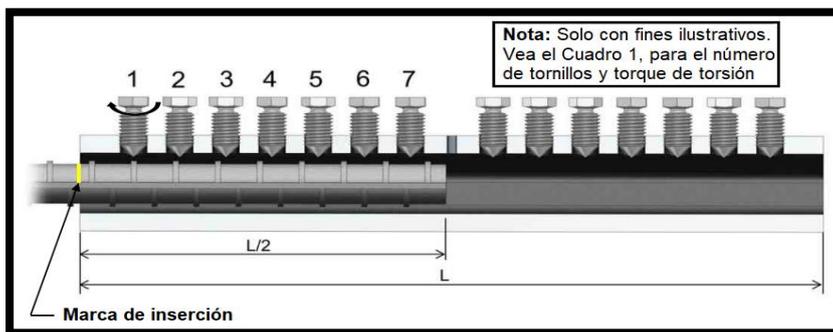
Apriete, cada tornillo hasta que la cabeza del tornillo se corte, truece o desprenda del cuerpo del mismo. Consulte el Cuadro 1, para conocer el par de giro aproximado o el torque correcto de la llave de impacto que se debe utilizar al instalar este conector en su primer y segundo lado respectivamente.

Para un mejor rendimiento y facilidad de instalación, BarSplice recomienda el uso de una llave de impacto neumática de 3/4" y un dado adecuado para cada diámetro de tornillo de sujeción del conector.

Debemos cerciorarse que la llave de impacto esté debidamente certificada y calibrada para lograr al menos el par mínimo de la llave de impacto especificado en el Cuadro 1 y así evitar estancamiento. La línea de suministro de aire debe tener un diámetro mínimo de 1/2" y el compresor de aire debe ser grande y suficiente para proporcionar una presión manométrica de 100 psi (7 bar).

Figura 3A:

Orden de Apriete Correcto – Primer lado del Conector de Tornillo de una sola fila

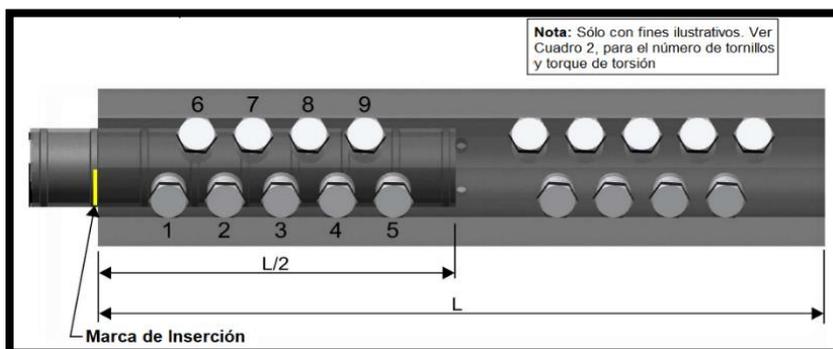


Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

En la Figura 3B y para el caso de los **Conectores de Tornillo de Doble Fila**, se muestra la secuencia de ajuste o apriete de los tornillos correspondientes al primer lado de este conector mecánico, se ejecutarán de la siguiente manera:

Figura 3B:

Orden de Apriete Correcto – Primer lado del Conector Zap Screwlok de doble fila



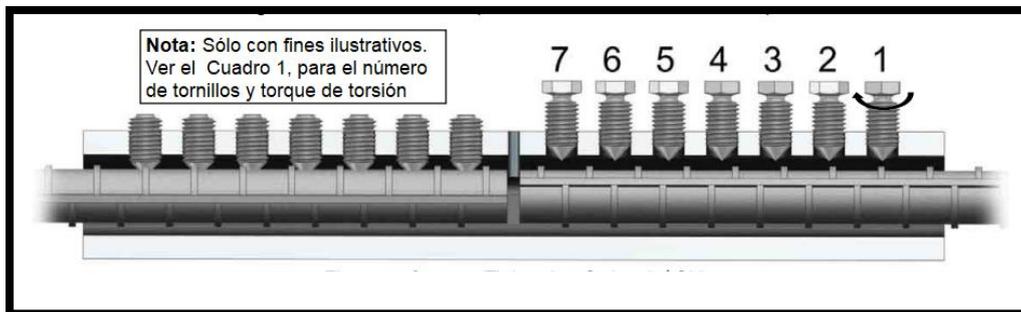
Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

- Una vez que los tornillos del primer lado se hayan apretado y las cabezas se hayan desprendido de cada uno de los cuerpos de los tornillos, inserte la otra barra de refuerzo en el acoplador hasta que choque contra el tope central; tal como se muestra en la Figura 4A. Si el acoplador o conector mecánico no tiene tope central, inserte la segunda barra de refuerzo hasta que haga tope con la primera barra de refuerzo.

En el mismo orden que el primer lado, apriete los tornillos hasta que las cabezas de los mismos hayan girado las veces necesarias y alcancen el torque requerido. El orden de ajuste de los tornillos se realiza desde el extremo hacia la mitad del acoplador o conector mecánico de tornillo:

Figura 4A:

Orden de Apriete Correcto – Segundo lado del Conector de tornillo

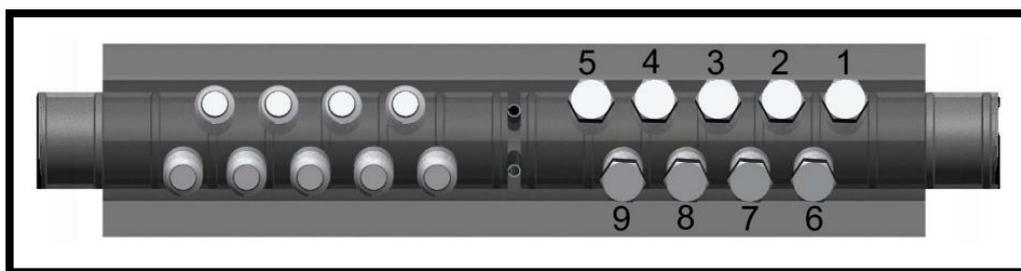


Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

A continuación, en la Figura 4B mostramos el orden o secuencia de apriete de los tornillos de torque controlado o tipo Twist off-torque, pertenecientes al segundo lado del conector mecánico de doble fila de tornillos (Zap Screwlok Double Row):

Figura 4B:

Orden de Apriete Correcto – Segundo lado del Conector de tornillo



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Para complementar y tener en cuenta algunas características técnicas tanto de las barras corrugadas como de los conectores mecánicos o acopladores de tornillo ZAP SCREWLOK TIPO 2 Y EPÓXICOS que se usan para unir estas barras de acero; presentamos las Tablas 1 y 2 que deberán servir como referencia durante el proceso de instalación de estos conectores y empalmes mecánicos; a fin de lograr su correcta instalación mediante el apriete o ajuste adecuado de los tornillos que conforman el sistema de sujeción en este tipo de conectores mecánicos:

Tabla N° 1:

Características técnicas y dimensiones de los Conectores Mecánicos de Tornillo de una sola fila - Zap Screwlok Single Row

DIÁMETRO O NÚMERO DE LA BARRA		LONGITUD APROX. DEL CONECTOR "L" (Pulg.)	LONGITUD APROX. DE MEDIO CONECTOR "L/2" (Pulg.)	NÚMERO DE TORNILLOS POR BARRA - POR LADO	TAMAÑO DE DADO TIPO "S"	TORQUE PROMEDIO DEL TORNILLO TWIST-OFF TORQUE "T" (ft-lb)	TORQUE MÍNIMO DE LA LLAVE DE IMPACTO (ft-lb)
Sistema Inglés	Diámetro Comercial						
#3 [10]	3/8"	5	2 ½	2	1/2"	60	250
#4 [13]	1/2"	7	3 ½	3	1/2"	60	250
#5 [16]	5/8"	9	4 ½	4	1/2"	60	250
#6 [19]	3/4"	11	5 ½	5	1/2"	60	250
#7 [22]	7/8"	13	6 ½	5	5/8"	105	500
#8 [25]	1"	15 ¼	7 ⅝	6	5/8"	105	500
#9 [29]	1 1/8"	16 ¾	8 ⅜	6	3/4"	215	750
#10 [32]	1 1/4"	19	9 ½	7	3/4"	215	750
#11 [36]	1 3/8"	21 ½	10 ¾	8	3/4"	215	750

Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Tabla N° 2:

Características técnicas y dimensiones de los Conectores de Tornillo Zap Screwlok Double Row

DIÁMETRO O NÚMERO DE LA BARRA		LONGITUD APROX. DEL CONECTOR "L" (Pulg.)	LONGITUD APROX. DE MEDIO CONECTOR "L/2" (Pulg.)	NÚMERO DE TORNILLOS POR BARRA - POR LADO	TAMAÑO DE DADO TIPO "S"	TORQUE PROMEDIO DEL TORNILLO TWIST-OFF TORQUE "T" (ft-lb)	TORQUE DE TRABAJO MÍNIMO DE LA LLAVE DE IMPACTO (ft-lb)
Sistema Inglés	Diámetro Comercial						
#14 [43]	1 3/4"	18	9	10	3/4"	350	1000
#18 [57]	2 1/4"	29 ½	14 ¾	21	3/4"	350	1000

Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

Las tablas anteriores muestran, además el número de tornillos con los que cuenta cada uno de los conectores mecánicos y los diámetros de los dados tipo "S" que deberán utilizarse en las herramientas manuales y equipos de impacto sugeridos por el fabricante BarSplice Products, Inc. (USA), para evitar algún daño a los tornillos, lograr el ensamble correcto y el monolitismo en un sistema Barra-Conector-Barra.

También el fabricante alcanza algunos valores de torque requerido para lograr el corte o torsión en cada uno de los tornillos y sugiere valores de torque mínimo con el uso de una llave de impacto.

La elaboración de estas tablas (Tablas N° 1 y 2), tienen su origen en las Fichas y Hojas Técnicas de los Conectores de Tornillo Zap Screwlok Tipo 2 y Epóxicos emitidos por el fabricante BarSplice Products, Inc.; y han sido tomadas en su idioma nativo (inglés americano) para la traducción e interpretación técnica respectiva, la cual no han sufrido variación alguna.

4. No utilice estos conectores mecánicos junto con barras de refuerzo que sean más grandes o menor que el tamaño y diámetro previsto. Mantenga los acopladores limpios y las roscas libres de óxido, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 5:

Limpieza aceptable en los hilos para la instalación de tornillos que conforman el sistema de sujeción de un conector mecánico Zap Screwlok



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

5. Almacene los conectores mecánicos de tornillo, en un lugar limpio y seco hasta que estén listos para instalarlos. El óxido en los hilos tal como se muestra en la Figura 6, es INACEPTABLE, pues podría resultar y repercutir en un menor rendimiento del empalme ensamblado:

Figura 6:

Óxido inaceptable en los hilos roscados para los tornillos del acoplador.



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

6. PRECAUCIONES Y SUGERENCIAS:

- No utilice una llave de boca o una llave ajustable debido al riesgo de redondear la cabeza hexagonal de los tornillos antes de alcanzar el ajuste o torque necesario para girar o desprender la cabeza de estos tornillos.
- Antes del montaje, enderece los extremos de la barra de refuerzo excesivamente doblados para que la cuña central del conector haga contacto con la barra de refuerzo y el acoplador respectivamente. **Los extremos de la barra**, deben estar rectos hacia dentro con una tolerancia de hasta 1/8" de pulgada en 18 pulgadas. Si es necesario, esmerile los labios de

corte grandes que evitan inserción correcta de la barra de refuerzo en el acoplador. **No utilice este conector de tornillo en barras que presenten dobleces o curvados extremos**, lo cual podría repercutir en el desarrollo del acero de refuerzo ante solicitaciones de carga o sismo; especialmente en columnas.

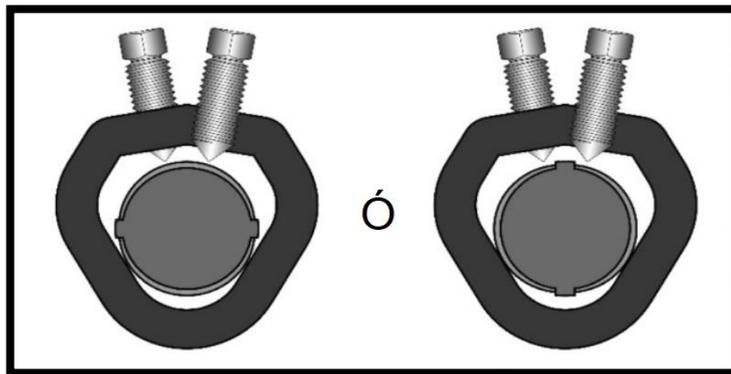
- Reemplace los tornillos faltantes inmediatamente con tornillos especiales BPI (BarSplice Products, Inc.) solamente. **No permitir o aceptar que los agujeros roscados donde se alojan los tornillos tengan o estén con presencia de óxido.**
- Si las barras de refuerzo están corroídas, la eliminación del óxido/corrosión debe realizarse de la misma manera hasta el grado que sea necesario y el requerido para adherirse al concreto antes de instalar el acoplador Zap Screwlok.

Se recomienda probar las barras viejas o severamente corroídas para asegurar la integridad de las barras contiguas y el cumplimiento de los requisitos de diseño. El rendimiento de los conectores de tornillo, se basan en el uso de barras de refuerzo ASTM A615/A706, Grado 60 o barra de refuerzo sin recubrimiento ASTM A615, grado 75.

- Para barras de refuerzo ASTM A775/A775M recubiertas o revestimiento con epoxi, use ZAP pre-recubierta con epoxi. Conectores mecánicos de tornillo de la serie ZAP SCREWLOK EPOXY que también son suministrados por la empresa americana BarSplice Products, Inc.
- Para lograr una mejor instalación, sujeción y performance o desarrollo de los conectores de tornillo de doble fila (Zap Screwlok Double Row), se recomienda y sugiere orientar las barras corrugadas tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 7:

Orientación preferente de las barras de acero corrugado en el interior del Conector de Tornillo de Doble Fila



Fuente: Página Web de BarSplice Products, Inc. – USA

- **Seguridad y Salud Ocupacional en el trabajo:**

En todos los casos, tenga en cuenta su propia seguridad personal y la de su equipo de trabajo. Asegúrese de contar con todas las herramientas de gestión, autorizaciones, permisos de trabajo seguro, estar correctamente posicionado y durante la instalación de estos conectores mecánicos, no se resbalará ni mucho menos podrá sufrir una caída.

ANEXO I: CERTIFICADOS DE CALIDAD Y FABRICACIÓN DE LOS CONECTORES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Estos certificados de calidad y fabricación han sido expedidos por el fabricante **BarSplice Products Inc. (BPI - USA)**, quien tiene como empresa representante en el Perú a **CVD Ingeniería Antisísmica S.A.C** ubicada en la Avenida Javier Prado Este N° 3349 – San Borja – Lima; para la validación, verificación y trazabilidad de los conectores mecánicos utilizados en la presente tesis:



CERTIFICADO

La empresa CVD INGENIERIA ANTISISMICA identificada con N° RUC 20515456130, certifica que el(los) producto(s):

CONECTOR DE PRESIÓN 3/4" TIPO 2 - BARSPLICE.

CONECTOR DE PRESIÓN 1" TIPO 2- BARSPLICE.

CONECTOR DE PRESIÓN 1 3/8" TIPO 2 - BARSPLICE.

Son nuevos, de primera calidad y están debidamente certificados por nuestro proveedor y nuestro fabricante **BARSPLICE**.

BarSplice
A favor de
PRODUCTS INC.

Empresa: **CABRERA SANCHEZ RICARDO AMÉRICO**

Tesis: **RESISTENCIA DE EMPALMES CON CONECTORES MECÁNICOS EN BARRAS DE ACERO CORRUGADO ASTM A615 GRADO 60 PARA DIÁMETROS MAYORES A 3/4.**

Sin otro en particular, nos suscribimos.

Lima, 24 de Julio del 2019


Ing. Fernando Castillo H.
Jefe de Área de Ingeniería
CVD INGENIERIA ANTISISMICA
RUC: 20515456130

CERTIFICADO

La empresa CDV INGENIERIA ANTISISMICA identificada con N° RUC 20515456130, certifica que el(los) producto(s):

CONECTOR DE TORNILLO 3/4" TIPO 2- BARSPLICE.

CONECTOR DE TORNILLO 1" TIPO 2- BARSPLICE.

CONECTOR DE TORNILLO 1 3/8" TIPO 2- BARSPLICE.

Son nuevos, de primera calidad y están debidamente certificados por nuestro proveedor y nuestro fabricante **BARSPLICE**.

A favor de

Empresa: **CABRERA SANCHEZ RICARDO AMÉRICO**

Tesis: **RESISTENCIA DE EMPALMES CON CONECTORES MECÁNICOS EN BARRAS DE ACERO CORRUGADO ASTM A615 GRADO 60 PARA DIÁMETROS MAYORES A 3/4.**

Sin otro en particular, nos suscribimos.

Lima, 24 de Julio del 2019


Ing. Fernando Castillo H.
Jefe de Área de Ingeniería
CDV INGENIERÍA ANTISISMICA
RUC: 20515456130



CERTIFICATE OF COMPLIANCE

FOR BPI® TYPE 2 MECHANICAL SPLICES &
ASTM A970 HEADED DEVICES

DATE	CUSTOMER	PURCHASE ORDER	ITEM	B/L or INVOICE NUMBER
7/24/2019	CDV		1	5806, 5689, 5686, 5765
CONTRACTOR		CONTRACT NUMBER		PROJECT NUMBER
CABRERA SANCHEZ RICARDO AMERICO				

RESISTENCIA DE EMPALMES CON CONECTORES MECÁNICOS EN BARRAS DE ACERO CORRUGADO ASTM A615 GRADO 60 PARA DIÁMETROS MAYORES A 1".

QUANTITY	PRODUCT	IDENTIFICATION	HEAT LOT NO	ASTM Spec or Rebar Mill
172	#6 ZAP SCREWLOK TYPE 2	08ZBA	HD	ASTM/A 519-17
438	#6 ZAP SCREWLOK TYPE 2	08ZBA	JW	ASTM/A 519-17
1,000	#8 BARGRIP XL	08XL	8H	ASTM/A 519-08
700	#8 BARGRIP XL	08XL	DS	ASTM/A 519-17
94	#11 BARGRIP XL	11XL	WU	ASTM/A 519-17
TOTAL	SHIP TO ADDRESS			

This certifies the following:

1. Barsplice Products, Inc. (BPI) is engaged in designing, manufacturing and supplying mechanical splices and headed devices for reinforcing bars under a quality system program that is in accordance with ISO 9001:2015.
2. This Certificate of Compliance is issued upon the date shown above to the customer noted with reference to the customer purchase order and project name. Quantities shown above are broken down by heat lot number(s) for each product(s) listed. The identification code(s) shown are marked upon the finished parts and CMTR's and uniquely identify the product and the heat lot number.
3. The above referenced iron and steel product is provided in accordance with the following:
 - Indiana Department of Transportation Specification Section 106.01(c)
4. Raw materials and parts used in the manufacture of these products were obtained and processed from qualified sources in accordance with ISO 9001:2015. Iron and steel products provided by BPI have been domestically manufactured, produced and fabricated in the United States of America in accordance with the Buy America Act. Chemical analyses, tests, examinations and heat treatments required by the material specification have been performed by the supplier(s) and this information has been verified as appearing upon Certified Material Test Reports (CMTR) included herewith. Any such test not performed (if applicable) is noted on the CMTR. Any operation not performed per specification (if applicable) is reported.
5. All requirements of BPI's material specification have been met and mechanical testing has been performed to verify that the above provided mechanical splices and/or headed devices are capable of meeting the applicable strength requirements. Type 2 mechanical splices are conforming to 25.5.7 and capable of developing the specified tensile strength of the spliced bars as stated in ACI 318-14 Section 18.2.7. These tests pertain to the use of said products attached to Grade 60 (metric Grade 420) reinforcing bars which have been manufactured to the latest requirements of ASTM A615/A615M or ASTM A706. The specified tensile strength of ASTM A615 Grade 60 bar equates to 90,000 psi or 150% x specified yield. For headed devices, in-air testing has verified conformance with Class A/HA strength requirement listed in ASTM A970.

NOTICE

The products described herein must be installed in accordance with the latest edition of **INSTALLATION INSTRUCTIONS** supplied to the project, which must be read and understood by the operator before use. In accordance with project specifications, tensile tests may be required before and during production splicing to verify correct usage, rebar grade, and operator proficiency. Other terms and conditions are applicable as may have been previously supplied on quotations and order acknowledgments, either directly or to the dealer, distributor or representative.

Signed 
Barsplice Products, Inc

Date 7/24/2019

Shop Order # 151967, 144283, 145240, 157357

ANEXO J: CERTIFICADOS DEL LABORATORIO – ENSAYOS DE TRACCIÓN

En el presente anexo se muestran y detallan los **CERTIFICADOS E INFORMES TÉCNICOS** correspondientes a los **ENSAYOS DE TRACCIÓN** realizados a **18 probetas de acero Normalizadas y Proporcionales**, las cuales han sido elaboradas con acero corrugado ASTM A615 Grado 60 para los diámetros de 3/4", 1" y 1 3/8" debidamente codificadas y empalmadas utilizando Conectores Mecánicos de Presión (BARGRIP XL Tipo 2 – 09 probetas) y Conectores Mecánicos de Tornillo (ZAP SCREWLOK Tipo 2 de una sola fila de tornillos) para las 09 probetas restantes.

Las barras de acero corrugado que se ha utilizado en las 18 probetas son de las marcas ACEROS AREQUIPA y SIDERPERÚ. Estos ensayos de tracción han sido realizados en el **Laboratorio de Ensayo de Materiales N° 1 – ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA** perteneciente a la **Facultad de Ingeniería Civil** de la **Universidad Nacional de Ingeniería (LEM N° 1 – FIC – UNI)**; el cual se encuentra ubicado en la Av. Túpac Amaru N° 210, Lima 25 – Apartado 1301 – Perú. (Página Web: WWW.lem.uni.edu.pe; Teléfonos: (511) 381-3343, (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046, y cuyo Correo electrónico es: lem@uni.edu.pe)

Estos **INFORMES TÉCNICOS** han sido emitidos, validados y debidamente firmados por **la jefe(e) del Laboratorio MSc. Ing. ISABEL MOROMI NAKATA** y el **responsable Técnico Lic. JESÚS BASURTO PINAO**.

Los ensayos de tracción fueron realizados por el Técnico del Laboratorio **A.A.G.** y para los cuales se utilizaron las Maquinas Universales: MUNV-2 – Marca TOKYOKOKI SEIZOSHO y MUNV-3 – ZWICK ROELL SP 1000; considerando una Velocidad de Carga de 10MPa/seg. Todas las características técnicas de ambas Máquinas de Ensayo Universal Uniaxiales, se detallan en el **Capítulo III – Materiales y Métodos**.

A continuación, se adjuntan los **INFORMES TÉCNICOS** referentes a los **RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN** respectivos:



INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
 A : RICARDO AMERICO CABRERA SANCHEZ
 Obra : RESISTENCIA DE EMPALMES CON CONECTORES MECANICOS EN BARRAS DE ACERO CORRUGADO
 Ubicación : UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 Asunto : Ensayo de Tracción en Aceros
 Expediente N° : 19-2900-1
 Recibo N° : 66804
 Fecha de emisión : 14/08/2019

1.0. DE LA MUESTRA : Consistente en barras de acero corrugado ASTM A615 GRADO 60, unidos con empalmes a presión tipo BAR GRIP XL - TYPE 2.

2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo universal ZWICK/ROELL
 Certificado de Calibración LFP-399-2018

3.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 350.450.2015
 Procedimiento interno AT-PR-10.

Fecha de Ensayo : 13/08/2019

4.0. RESULTADOS

MUESTRA	SECCIÓN TRANSVERSAL NOMINAL	ÁREA (mm ²)	CARGA LÍMITE DE FLUENCIA (Kg)	TENSIÓN LÍMITE DE FLUENCIA (Kg/mm ²)	CARGA APLICADA (Kg)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Kg/mm ²)	OBSERVACIÓN
6BG-01 A. AREQUIPA	3/4"	284	12.800	45,1	22,055	77,7	ROTURA A 36 mm DEL CONECTOR
6BG-02 SIDERPERU	3/4"	284	13.500	47,5	20,804	73,3	ROTURA A 68 mm DEL CONECTOR
6BG-03 SIDERPERU	3/4"	284	13.200	46,5	20.848	73,4	ROTURA A 50 mm DEL CONECTOR



5.0. OBSERVACIONES:
 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.
 2) Informe 01 de 03.

Hecho por : Lic. J. Basurto P.
 Técnico : A.A.G



[Signature]
 MSc Ing. Isabel Moromi Nakata
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Se prohíbe la reproducción o modificación de este informe sin previa autorización del laboratorio.
- 2) Este informe solo brinda resultados sobre las muestras que han sido ensayadas.





INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
 A : RICARDO AMERICO CABRERA SANCHEZ
 Obra : RESISTENCIA DE EMPALMES CON CONECTORES MECANICOS EN BARRAS DE ACERO CORRUGADO
 Ubicación : UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 Asunto : Ensayo de Tracción en Aceros
 Expediente N° : 19-2900-1
 Recibo N° : 66804
 Fecha de emisión : 14/08/2019

1.0. DE LA MUESTRA : Consistente en barras de acero corrugado ASTM A615 GRADO 60, unidos con empalmes a presión tipo BAR GRIP XL - TYPE 2.

2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo universal ZWICK/ROELL
 Certificado de Calibración LFP-399-2018

3.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 350.450:2015
 Procedimiento interno AT-PR-10.

Fecha de Ensayo : 13/08/2019

4.0. RESULTADOS :

MUESTRA	SECCIÓN TRANSVERSAL NOMINAL	ÁREA (mm ²)	CARGA LÍMITE DE FLUENCIA (Kg)	TENSIÓN LÍMITE DE FLUENCIA (Kg/mm ²)	CARGA APLICADA (Kg)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Kg/mm ²)	OBSERVACIÓN
8BG-01 SIDERPERU	1"	510	22,600	44.3	37,800	74.1	ROTURA A 82 mm DEL CONECTOR
8BG-02 SIDERPERU	1"	510	25,000	49.0	35,309	69.2	ROTURA A 83 mm DEL CONECTOR
8BG-03 A.AREQUIPA	1"	510	22,700	44.5	38,151	74.8	DESPLAZAMIENTO DE LA BARRA DEL CONECTOR



5.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.
 2) Informe 02 de 03.

Hecho por : Lic. J. Basurto P.
 Técnico : A.A.G

L.J.B



MSc Ing. Isabel Moromi Nakata
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Se prohíbe la reproducción o modificación de este informe sin previa autorización del laboratorio.
- 2) Este informe solo brinda resultados sobre las muestras que han sido ensayadas.



INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
A : RICARDO AMÉRICO CABRERA SANCHEZ
Obra : RESISTENCIA DE EMPALMES CON CONECTORES MECANICOS EN BARRAS DE ACERO CORRUGADO
Ubicación : UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Asunto : Ensayo de Tracción en Aceros
Expediente N° : 19-2900-1
Recibo N° : 66804
Fecha de emisión : 14/08/2019

1.0. DE LA MUESTRA : Consistente en barras de acero corrugado ASTM A615 GRADO 60, unidos con empalmes a presión tipo BAR GRIP XL - TYPE 2.

2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo universal ZWICK/ROELL
Certificado de Calibración LFP-399-2018

3.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 350.450:2015
Procedimiento interno AT-PR-10.

Fecha de Ensayo : 13/08/2019

4.0. RESULTADOS :

MUESTRA	SECCIÓN TRANSVERSAL NOMINAL	ÁREA (mm ²)	CARGA LÍMITE DE FLUENCIA (Kg)	TENSIÓN LÍMITE DE FLUENCIA (Kg/mm ²)	CARGA APLICADA (Kg)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Kg/mm ²)	OBSERVACIÓN
11BG-01 A AREQUIPA	1 3/8"	1006	48,000	47,7	70,000	69,6	CARGA APLICADA SIN ROTURA NI DESLIZAMIENTO
11BG-02 SIDERPERU	1 3/8"	1006	47,900	47,6	68,217	67,8	ROTURA A 48 mm DEL CONECTOR
11BG-03 SIDERPERU	1 3/8"	1006	47,400	47,1	66,000	65,6	ROTURA A 165 mm DEL CONECTOR



5.0. OBSERVACIONES:

- 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.
- 2) Informe 03 de 03.

Hecho por Técnico : Lic. J. Basurto P.
 : A.A.G.

L.J.P.



MSc Ing. Isabel Moromi Nakata
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Se prohíbe la reproducción o modificación de este informe sin previa autorización del laboratorio.
- 2) Este informe solo brinda resultados sobre las muestras que han sido ensayadas.

INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
A : RICARDO AMERICO CABRERA SANCHEZ
Obra : RESISTENCIA DE EMPALMES CON CONECTORES MECANICOS EN BARRAS DE ACERO CORRUGADO
Ubicación : UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Asunto : Ensayo de Tracción en Aceros
Expediente N° : 19-2900-2
Recibo N° : 66804
Fecha de emisión : 14/08/2019

1.0. DE LA MUESTRA : Consistente en barras de acero corrugado ASTM A615 GRADO 60, unidos con empalmes con tornillos tipo ZAP SCREWLOK - TYPE 2.

2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo universal ZWICK/ROELL
 Certificado de Calibración LFP-399-2018

3.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 350.450:2015
 Procedimiento interno AT-PR-10.

Fecha de Ensayo : 13/08/2019

4.0. RESULTADOS

MUESTRA	SECCIÓN TRANSVERSAL NOMINAL	ÁREA (mm ²)	CARGA LÍMITE DE FLUENCIA (Kg)	TENSIÓN LÍMITE DE FLUENCIA (Kg/mm ²)	CARGA APLICADA (Kg)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Kg/mm ²)	OBSERVACIÓN
62S-01 SIDERPERU 10 TORNILLOS DE 1/2"	3/4"	284	13.200	46.5	18.320	64.5	DESPLAZAMIENTO DE LA BARRA DEL CONECTOR
62S-02 AAREQUIPA 10 TORNILLOS DE 1/2"	3/4"	284	12.800	45.1	20.678	72.8	DESPLAZAMIENTO DE LA BARRA DEL CONECTOR
62S-03 SIDERPERU 10 TORNILLOS DE 1/2"	3/4"	284	13.300	46.8	18.451	65.0	DESPLAZAMIENTO DE LA BARRA DEL CONECTOR



5.0. OBSERVACIONES:

- 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.
- 2) Informe 01 de 03.

Hecho por Técnico : Lic. J. Basurto P.



Isabel Moromi Nakata

MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS

- 1) Se prohíbe la reproducción o modificación de este informe sin previa autorización del laboratorio.
- 2) Este informe solo brinda resultados sobre las muestras que han sido ensayadas.



INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
A : RICARDO AMERICO CABRERA SANCHEZ
Obra : RESISTENCIA DE EMPALMES CON CONECTORES MECANICOS EN BARRAS DE ACERO CORRUGADO
Ubicación : UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Asunto : Ensayo de Tracción en Aceros
Expediente N° : 19-2900-2
Recibo N° : 66804
Fecha de emisión : 14/08/2019

1.0. DE LA MUESTRA : Consistente en barras de acero corrugado ASTM A615 GRADO 60, unidos con empalmes con tornillos tipo ZAP SCREWLOK - TYPE 2.

2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo universal TOKYOKOKI SEIZOSHO
 Certificado de Calibración CMC-066-2019

3.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 350.450:2015
 Procedimiento interno AT-PR-10.

Fecha de Ensayo : 13/08/2019

4.0. RESULTADOS :

MUESTRA	SECCIÓN TRANSVERSAL NOMINAL	ÁREA (mm ²)	CARGA LÍMITE DE FLUENCIA (Kg)	TENSIÓN LÍMITE DE FLUENCIA (Kg/mm ²)	CARGA APLICADA (Kg)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Kg/mm ²)	OBSERVACIÓN
B25-01 SIDERPERU 12 TORNILLOS DE 5/8"	1"	510	25,200	49.4	31,500	61,8	DESPLAZAMIENTO DE LA BARRA DEL CONECTOR
B25-02 SIDERPERU 12 TORNILLOS DE 5/8"	1"	510	25,000	49.0	32,800	64,3	DESPLAZAMIENTO DE LA BARRA DEL CONECTOR
B25-03 A.AREQUIPA 12 TORNILLOS DE 5/8"	1"	510	23,600	46.3	34,600	67.8	DESPLAZAMIENTO DE LA BARRA DEL CONECTOR



5.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.
 2) Informe 02 de 03.

Hecho por Técnico : Lic. J. Basurto P.

C.J.B



Isabel Moromi Nakata

MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Se prohíbe la reproducción o modificación de este informe sin previa autorización del laboratorio.
- 2) Este informe solo brinda resultados sobre las muestras que han sido ensayadas.



INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
A : RICARDO AMERICO CABRERA SANCHEZ
Obra : RESISTENCIA DE EMPALMES CON CONECTORES MECANICOS EN BARRAS DE ACERO CORRUGADO
Ubicación : UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Asunto : Ensayo de Tracción en Aceros
Expediente N° : 19-2900-2
Recibo N° : 66804
Fecha de emisión : 14/08/2019

1.0. DE LA MUESTRA : Consistente en barras de acero corrugado ASTM A615 GRADO 60, unidos con empalmes con tornillos tipo ZAP SCREWLOK - TYPE 2.

2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo universal TOKYOKOKI SEIZOSHO
 Certificado de Calibración CMC-066-2019

3.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 350.450:2015
 Procedimiento interno AT-PR-10.

Fecha de Ensayo : 13/08/2019

4.0. RESULTADOS

MUESTRA	SECCIÓN TRANSVERSAL NOMINAL	ÁREA (mm ²)	CARGA LÍMITE DE FLUENCIA (Kg)	TENSIÓN LÍMITE DE FLUENCIA (Kg/mm ²)	CARGA APLICADA (Kg)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Kg/mm ²)	OBSERVACIÓN
112S-01 AAREQUIPA 16 TORNILLOS DE 3/4"	1 3/8"	1006	49,800	49.5	67,000	66.6	DESPLAZAMIENTO DE LA BARRA DEL CONECTOR
112S-02 SIDERPERU 16 TORNILLOS DE 3/4"	1 3/8"	1006	47,900	47.6	65,300	64.9	DESPLAZAMIENTO DE LA BARRA DEL CONECTOR
112S-03 SIDERPERU 16 TORNILLOS DE 3/4"	1 3/8"	1006	48,600	48.3	64,000	63.6	DESPLAZAMIENTO DE LA BARRA DEL CONECTOR



5.0. OBSERVACIONES:
 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.
 2) Informe 03 de 03.

Hecho por : Lic. J. Basurto P.
 Técnico : A.A.G

L.R



Isabel Moromi Nakata

MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:

- 1) Se prohíbe la reproducción o modificación de este informe sin previa autorización del laboratorio.
- 2) Este informe solo brinda resultados sobre las muestras que han sido ensayadas.

