

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“ESTUDIO DEL EMPALME MECÁNICO DE VARILLAS
CORRUGADAS MEDIANTE CONECTORES CILÍNDRICOS
HUECOS Y DISEÑO-CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA
HIDRÁULICO MÓVIL PARA EL PENSADO.”**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

Andrés Eduardo López Flores

Nicolás Esteban Valle Ramos

DIRECTOR: Ing. Carlos Naranjo

CODIRECTOR: Ing. Francisco Pazmiño

Sangolquí, 2012-junio

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “ESTUDIO DEL EMPALME MECÁNICO DE VARILLAS CORRUGADAS MEDIANTE CONECTORES CILÍNDRICOS HUECOS Y DISEÑO-CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO MÓVIL PARA EL PRENSADO” fue realizado en su totalidad por Andrés Eduardo López Flores y Nicolás Esteban Valle Ramos, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Carlos Naranjo
DIRECTOR

Ing. Francisco Pazmiño
CODIRECTOR

Sangolquí, 2012-06-19

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“ESTUDIO DEL EMPALME MECÁNICO DE VARILLAS CORRUGADAS MEDIANTE
CONECTORES CILÍNDRICOS HUECOS Y DISEÑO-CONSTRUCCIÓN DEL
SISTEMA HIDRÁULICO MÓVIL PARA EL PRENSADO.”

ELABORADO POR:

Andrés Eduardo López Flores

Nicolás Esteban Valle Ramos

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ingeniero Xavier Sánchez

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Sangolquí, 12-06

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres, hermanos y a mi abuelito Juanito quienes con su amor y paciencia han sabido apoyar e iluminar mi camino.

Andrés López

A mis padres que con su amor y cariño han sabido guiarme a un camino de bien y respeto. A mis hermanos Juan y Camila con su comprensión y cariño supieron darme ánimos para nunca rendirme. A mi familia en general que nunca dejaron de preocuparse por lo que pase en mí.

Nicolás Valle

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer a nuestras familias por ser nuestro apoyo y fortaleza en los momentos felices, pero principalmente en los momentos de flaqueza.

Gracias por ayudarnos a encontrar lo mejor de nosotros y permitir desarrollarnos íntegramente.

A los ingenieros Carlos Naranjo y Francisco Pazmiño por su profesionalismo, tiempo y dedicación, supieron aconsejarnos para sacar adelante este proyecto.

Nuestra eterna gratitud al ingeniero Marcelo Romo por su colaboración y experiencia compartida hacia nosotros.

También debemos agradecer a los ingenieros José Pérez y Francisco Navas, por su tiempo, entrega y consejo que fueron fundamentales en la consecución de los objetivos planteados.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	II
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
NOMENCLATURA	1
RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
Justificación.....	6
Alcance	6
Objetivo General	7
Objetivos Específicos.....	7
CAPITULO 1	8
1. MARCO TEÓRICO	8
1.1. Comportamiento de vigas y columnas	8
1.2. Estudio de normas para construcción en hormigón armado	14
1.3. MATERIALES.....	16
1.4. TEORÍA DE APLASTAMIENTO DE CILINDROS.....	22
1.5. PRENSAS HIDRAULICAS	24

CAPITULO 2	26
2. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	26
2.1. Conectores Cilíndricos Huecos	26
2.1.1. Materiales	26
2.1.2. Fabricación	29
2.2. Prensa Hidráulica	34
2.2.1. Sistema de presión	36
2.2.2. Tratamientos térmicos en las muelas:	39
2.2.3. Construcción de la prensa:	42
CAPITULO 3	45
3. DISEÑO.....	45
3.1. Conectores Cilíndricos Huecos	45
3.2. Prensa.....	51
3.2.1. Sistema Hidráulico.....	51
3.2.2. Sistema Mecánico	51
CAPITULO 4	60
4. CONSTRUCCIÓN	60
4.1. Conectores Cilíndricos Huecos	60
4.2. Prensa.....	61
4.2.1. Sistema Hidráulico.....	61
4.2.2. Sistema Mecánico	61
CAPITULO 5	63
5. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	63
5.1. Pruebas de Funcionamiento	63

5.2. Ensayos de Tracción.....	63
5.2.1. Traslape de varillas por amarre utilizando la norma ACI 318 – 11	63
5.2.2. <i>Empalme mecánico de varillas por soldadura según la norma AWS D1.4.....</i>	65
5.2.3. <i>Empalme mecánico de varillas por roscado mediante la norma ACI 318 - 11.....</i>	65
5.2.4. Empalme mecánico de varillas utilizando Conectores cilíndricos huecos.....	66
 CAPITULO 6	 73
 6. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	 73
6.1. Análisis Económico	73
6.2. Análisis Financiero	82
 CAPITULO 7	 92
 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 92
7.1. Conclusiones.....	92
6.1. Recomendaciones.....	93
 ANEXOS	
 REFERENCIAS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Propiedades de los aceros de construcción de resistencia ASTM	18
Tabla 1. 2: Dimensiones y propiedades de varillas corrugadas	19
Tabla 1. 3: Opciones de Acero para conectores	21
Tabla 2. 1: Propiedades Mecánicas Acero A-36	27
Tabla 2. 2: Propiedades mecánicas Acero AISI 1045	27
Tabla 2. 3: Propiedades mecánicas Acero AISI 1018	28
Tabla 2. 4: Ponderación de diseño para material de conectores cilíndricos huecos	29
Tabla 2. 5: Matriz de decisión Materiales para conectores cilíndricos huecos	29
Tabla 2. 6: Ponderación de diseño para la fabricación de conectores cilíndricos huecos.....	33
Tabla 2. 7: Matriz de decisión para la fabricación de conectores cilíndricos huecos	34
Tabla 2. 8: Ponderación de diseño para Sistema de presión.....	38
Tabla 2. 9: Matriz de decisión para el sistema de presión	39
Tabla 2. 10 Ponderación de diseño para Tratamientos Térmicos.....	41
Tabla 2. 11: Matriz de decisión para tratamientos térmicos	42
Tabla 2. 12: Ponderación de diseño para Construcción de Prensa	44
Tabla 2. 13: Matriz de decisión para construcción de la prensa	44
Tabla 3. 1: Diámetros internos conectores.....	49
Tabla 3. 2: Diámetros externos conectores.....	49
Tabla 3. 3: Longitud conectores	50
Tabla 3. 4: Fuerzas de deformación.....	54
Tabla 3. 5: Esfuerzos aplicados muelas.....	54
Tabla 4. 1: Resumen de construcción de los Conectores Cilíndricos Huecos.....	60

<i>Tabla 5. 1: Longitudes de desarrollo en varillas a tracción.</i>	64
<i>Tabla 5. 2: Fuerza mínima requerida por la norma ACI 318-11</i>	67
<i>Tabla 5. 3: Ensayos de tracción en Conectores Cilíndricos Huecos.</i>	72
Tabla 6. 1: Salario del personal requerido en el proceso de Conectores Cilíndricos Huecos.	73
Tabla 6. 2: Salario del personal requerido en el proceso de Traslape.	73
Tabla 6. 3: Salario del personal requerido en el proceso de Soldadura.....	74
Tabla 6. 4: Tiempo de Ejecución Conectores Cilíndricos Huecos.....	74
Tabla 6. 5: Tiempo de Ejecución Traslape	74
Tabla 6. 6: Tiempo de Ejecución Soldadura	74
Tabla 6. 7: Materiales para Conectores Cilíndricos Huecos	76
Tabla 6. 8: Materiales para Traslape.....	77
Tabla 6. 9: Materiales para Soldadura	78
Tabla 6. 10: Análisis económico Conectores Cilíndricos Huecos.....	79
Tabla 6. 11: Análisis económico Traslape.....	80
Tabla 6. 12: Análisis económico Soldadura	81
Tabla 6. 13: Costo prensa para método de unión por conectores cilíndricos huecos.	82
Tabla 6. 14: Depreciación prensa para método de unión por conectores cilíndricos huecos.....	83
Tabla 6. 15: Producción mensual de uniones con el método de unión por conectores cilíndricos huecos.	84
Tabla 6. 16: Ingresos mensuales generados por uniones con el método de unión por conectores cilíndricos huecos.	84
Tabla 6. 17: Análisis financiero para uniones con el método de unión por conectores cilíndricos huecos.	85
Tabla 6. 18: Costo herramientas para método de unión por traslape.	86
Tabla 6. 19: Costo mensual por reposición de herramientas en el método de traslape.	86
Tabla 6. 20: Producción mensual de uniones con el método de unión por traslape.	87
Tabla 6. 21: Ingresos mensuales generados por uniones con el método de unión por traslape.	87

Tabla 6. 22: Análisis financiero para uniones con el método de unión por traslape.	88
Tabla 6. 23: Costo soldadora para método de unión por soldadura.....	89
Tabla 6. 24: Depreciación soldadora para método de unión por soldadura.	89
Tabla 6. 25: Producción mensual de uniones con el método de unión por soldadura.	90
Tabla 6. 26: Ingresos mensuales generados por uniones con el método de unión por soldadura.	90
Tabla 6. 27: Análisis financiero para uniones con el método de unión por soldadura.	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Tipos de fallas en una viga.....	9
Figura 1.2: Distribución de deformaciones y esfuerzos en una viga de hormigón armado: (a) Sección; (b) Deformaciones; (c) Esfuerzos.....	10
Figura 1.3: Distribución de deformaciones y esfuerzos en una columna de hormigón armado: (a) Sección; (b) Deformaciones; (c) Esfuerzos.....	11
Figura 1.4: Arreglos de acero de refuerzo más utilizados en columnas.....	12
Figura 1.5: Curvas de esfuerzo en concreto y acero.....	13
Figura 1.6: Sección Transformada para compresión axial.....	13
Figura 3. 1: Fuerza de falla del conector.....	46
Figura 3. 2: Geometría del conector.....	46
Figura 3. 3: Disposición de la varilla corrugada dentro del conector.....	47
Figura 3. 4: Presiones de deformación sobre cilindros.....	48
Figura 3. 5: Longitud del conector.....	48
Figura 3. 6: Muela para conector.....	52
Figura 3. 7: Viga soporte.....	55
Figura 3. 8 Reacciones de viga soporte.....	56
Figura 3. 9: Momentos de viga soporte.....	56
Figura 3. 10: Cordón de soldadura.....	59
Figura 5. 1: Prensa hidráulica.....	67
Figura 5. 2: Marcas de ingreso.....	68
Figura 5. 3: Posicionamiento de conector con varillas en la prensa.....	68
Figura 5. 4: Manómetro.....	69
Figura 5. 5: Alivio de presión.....	69
Figura 5. 6: Número total de aprietes.....	70
Figura 5. 7: Ensayo de tracción en máquina de ensayos universales.....	70
Figura 5. 8: Fallo del empalme.....	71

ANEXOS

ANEXO A: Planos Constructivos de Conectores Cilíndricos Huecos.

ANEXO B: Planos Constructivos de Muelas.

ANEXO C: Análisis del funcionamiento de muelas por método de elementos finitos (SOLIDWORKS).

ANEXO D: Planos Constructivos para el sistema hidráulico móvil para el prensado.

ANEXO E: Análisis del funcionamiento para el sistema hidráulico móvil para el prensado por método de elementos finitos (SOLIDWORKS).

ANEXO F: Manual de usuario del sistema hidráulico móvil.

ANEXO G: Catálogos.

ANEXO H: Fotografías, videos y diagramas Esfuerzo – Deformación.

ANEXO I: Desarrollo del modelo matemático para la longitud de conectores cilíndricos huecos.

ANEXO J: Estudio de soldadura.

ANEXO K: Carta de Conformidad.

NOMENCLATURA

a:	Longitud Soporte Muelas
a':	Distancia del Centro de Gravedad al Extremo Superior de la Viga
A'v:	Área por donde atraviesan dos Varillas en la Viga
Aa:	Área de Aplastamiento
Ac:	Área Cortante
aep:	Lado de la Columna de la Prensa
Aep:	Sección Transversal Estructura de la Prensa
Am:	Área de Contacto entre Conector y Muela
Amc:	Área de esfuerzo en diente
ang:	Ángulo de Carga sobre Muelas
As:	Área de Soldadura
As:	Área Mínima Requerida Conector Cilíndrico Hueco
Av:	Área por donde atraviesan tres Varillas en la Viga
Avc:	Área Varilla Corrugada
b:	Altura Corrugado (según norma INEN NTE-102)
b':	Ancho de la Viga
b1:	Alto Soporte Muelas
C:	Distancia desde el Centro de Gravedad al Punto de Aplicación del Momento
Cc:	Esfuerzo a la Flexión en la Viga de Hormigón
Cmax:	Carga Máxima
Cs:	Esfuerzo Permisible en la Viga
D:	Diámetro Externo Real del Conector Cilíndrico Hueco
d:	Diámetro Real Interno del Conector Cilíndrico Hueco
d':	Distancia desde Estribos a la Cara Superior de la Viga
d1:	Distancia entre centro de Varilla al Extremo Superior de la Viga

Dc:	Diámetro del Cilindro Hidráulico
Dmin:	Diámetro Externo Mínimo del Conector Cilíndrico Hueco
dmin:	Diámetro Mínimo Interno del Conector Cilíndrico Hueco
dv:	Diámetro de Varilla
F.R.:	Factor Real
f'c:	Resistencia de Compresión del Concreto
Ffv:	Fuerza Falla del Conector
fle:	Fluencia del Electrodo
Fm:	Carga Teórica sobre las Muelas
Fmi:	Carga Real Individual sobre el Diente
Fmreal:	Carga Real sobre las Muelas
FS1:	Factor de Seguridad para Longitud del Conector
FS2:	Factor de Seguridad de Carga en las Muelas
FS3:	Factor de Seguridad Prensa Hidráulica
FS4:	Factor de Seguridad en Cortante
FS5:	Factor de Seguridad a Flexión
FSc:	Factor de Seguridad Cilindro Hidráulico
FSn:	Factor de Seguridad Mínimo Requerido por Norma ACI 318-11
FSp:	Factor de Seguridad de Presión de Deformación
h':	Alto de la Viga
h1:	Mínima altura en el diente
HB:	Dureza Brinell
I:	Inercia
Lc:	Longitud Aproximada del Conector
Lcmin:	Longitud de Apriete Mínima del Conector Cilíndrico Hueco
LcReal:	Longitud Real del Conector
Im:	Longitud de Presión en Muela de Apriete

Ls:	Longitud del cordón de soldadura
M:	Momento flector total
Mx:	Momento flector en x
My:	Momento flector en y
n:	Factor de seguridad de la estructura de la prensa
P:	Presión en el cilindro
Po1:	Presión exterior de deformación sobre cilindros
Po2:	Presión interior de deformación sobre cilindros
Pt:	Fuerza a tracción sometida la estructura de la prensa
ro:	Diámetro variable donde se va a realizar el calculo de presión
SD:	Factor de seguridad flexión
SL:	Factor de seguridad cortante
Sy:	Esfuerzo de fluencia ASTM A36
Sycc:	Limite de fluencia AISI 1018
Syvc:	Limite de fluencia varilla corrugada Acero A42
T:	Esfuerzo total en la viga
tm:	Espesor de las muelas
ts:	Espesor del cordón de soldadura
VA:	Fuerza cortante máxima
x:	Coordenada x centro de gravedad
y:	Coordenada y centro de gravedad
Δd :	Holgura para el ingreso de la varilla corrugada en el conector
μe :	Factor de fricción estático entre Acero – Acero
σa :	Esfuerzo de aplastamiento
σadm :	Esfuerzo admisible en la estructura de la prensa
$\sigma adms$:	Esfuerzo admisible en la soldadura
σf :	Esfuerzo flector

σ_{fl} :	Esfuerzo de fluencia estructura de la prensa
σ_{fls} :	Esfuerzo de fluencia del electrodo
σ_{max} :	Esfuerzo total en las muelas
σ_t :	Esfuerzo a la tracción
ΦS_n :	Factor de seguridad total de la estructura
ϵ_{cu} :	Deformación del concreto máxima
ϵ_y :	Deformación del concreto en cualquier punto

RESUMEN

En el presente proyecto se realizó el diseño, construcción de conectores cilíndricos huecos y posterior estudio de la conexión entre varillas corrugadas utilizando este método, también conocido como empalme mecánico; así como también se diseño y construyo el sistema hidráulico móvil de accionamiento manual para ejecutar dicho empalme.

Para efectuar la construcción de dichos conectores y su sistema hidráulico móvil para el prensado, se efectuó el análisis y selección de alternativas en lo que tiene que ver con el material, el método de fabricación, y el tipo de prensa que se utilizaría para el estudio. Con lo que se obtuvo el punto de inicio para el diseño y su construcción.

El diseño de los conectores fue una guía, la cual tuvo que ser sustentada con experimentos con los cuales se logró pulir el diseño, esto se debe a que no existen modelos matemáticos exactos para el comportamiento plástico de cilindros de pared gruesa de acero expuestos a presión externa. Por lo que se tuvo que seguir aproximaciones que estuvieron muy cerca de la realidad.

La prensa fue diseñada pensando en un uso de experimentación por lo que tiene un diseño simple pero funcional, y cumple con los requerimientos del proyecto. Al momento de realizar los ensayos esta no presento inconveniente alguno, por lo que cumplió las expectativas generadas durante su diseño y construcción.

Una vez realizados los ensayos de tracción en los empalmes y obtenidos los resultados esperados se procedió a realizar un estudio económico y financiero que ayudaran a mostrar a la empresa ecuatoriana las bondades de este sistema de empalme. Los resultados de dicho estudio fueron sumamente alentadores.

INTRODUCCIÓN

Justificación

Al ser la industria de la construcción una de las que se encuentra en mayor crecimiento en el Ecuador, se ve obligada a mejorar los diferentes procesos para mejorar los tiempos, disminuir los costos y ofrecer productos de mejor calidad.

Las diferentes empresas fundadas en nuestro país sin importar su tamaño actualmente se manejan en su gran mayoría por técnicas artesanales, si bien la normativa vigente en el medio lo permite sin mayor inconveniente, mas no está por demás mejorar e implementar procesos con un avance tecnológico que permita crecer a la industria con pasos acelerados.

Con la implementación de este sistema de empalme mecánico lo que se busca es disminuir el costo por obra.

La optimización de los recursos es un punto que toda empresa busca al realizar un proyecto; la tecnología y nuevos procesos de producción ofrecen y satisfacen en un alto porcentaje este objetivo empresarial.

La búsqueda de mejoramiento constante nos permite ofrecer y estudiar a diferentes procesos que permitan la mejora de los productos que la industria de la construcción ecuatoriana ofrece actualmente, permitiendo ingresar a mercados más competitivos con altos estándares de calidad, y un alto grado de eficiencia.

Alcance

En este proyecto se utilizarán resultados de ensayos de tracción a las juntas de varilla corrugada utilizada en la construcción, usando métodos tradicionales de empalme, en los diámetros 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, y 22 mm para luego compararlos con los resultados de los ensayos realizados a las juntas de varilla corrugada unidas por empalme mecánico usando conectores cilíndricos huecos en los mismos diámetros. Los ensayos serán realizados sin que las juntas se encuentren embebidas en concreto.

Dentro del proyecto se estipula el diseño y construcción de los conectores cilíndricos huecos capaces de cumplir los requerimientos de la norma ACI 318-11. La fase de este estudio contempla realizar 6 ensayos de tracción por cada diámetro de varilla, de los cuales se dividirán 2 ensayos en los cuales el empalme puede fallar y 4 ensayos definitivos en los cuales las juntas deben cumplir con los requerimientos de la norma.

Así como también el diseño y construcción del sistema hidráulico para efectuar la deformación de los conectores cilíndricos huecos, los cuales al estar realizando la junta con las varillas corrugadas y ser sometidos a los ensayos de tracción no fallen.

Objetivo General

Estudiar el empalme mecánico de varillas corrugadas mediante conectores cilíndricos huecos y diseñar-construir el sistema hidráulico móvil para el prensado.

Objetivos Específicos

- Realizar un estudio del comportamiento mecánico de la unión traslapada de varillas en base a amarre con alambre galvanizado.
- Diseñar y construir los conectores cilindros huecos para la unión entre varillas, de forma que sean capaces de cumplir los requerimientos de la norma ACI 318-11.
- Diseñar y construir el sistema hidráulico móvil, para efectuar la deformación de los cilindros huecos al momento de realizar el empalme.
- Realizar ensayos de tracción a los empalmes de varillas corrugadas para determinar los beneficios de este tipo de junta.
- Realizar un estudio de costos que compare los métodos de empalme de varillas más utilizados, con el método de empalme de varillas por conectores cilindros huecos unidos por presión (empalme mecánico).

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Comportamiento de vigas y columnas

Estructuras de hormigón armado: también conocidas como concreto reforzado es la combinación de concreto con acero que actúan como un solo elemento. Como bien se conoce el concreto tiene una alta resistencia a la compresión mas no soporta altas cargas de tracción, por lo que al usar solo concreto en vigas, estas fallan al instante. Es por esta propiedad que el acero se introdujo en la construcción convencional, como se la conoce en nuestro medio, al usar varillas de acero dentro del hormigón, las cargas de tracción serán soportadas por el acero, usando así las propiedades del concreto y del acero de una forma simultánea y eficiente.

Como dato adicional se debe indicar que las estructuras de hormigón armado son consideradas como monolíticas, y son más rígidas que las de acero.

El ingeniero Ricardo Proaño del CISMID establece: “La estructura debe de ser capaz de resistir las cargas de servicio sin fluencia del acero de refuerzo y que la resistencia ultima del sistema sin reforzamiento exceda las nuevas cargas de servicio por un factor de 1.2.

$$\phi S_n = 1.2 (S_D + S_L + \dots)$$

Lo anteriormente descrito proporciona los factores de seguridad implicados de $1.2/0.9 = 1.3$ (para flexión), y $1.2/0.85 = 1.4$ (para corte), intentando con esto prevenir la fluencia del acero de refuerzo. Este nivel de carga es similar al proporcionado por las guías del ACI para pruebas de carga $0.85(1.4D+1.7L)$ que implican un factor de seguridad de 1.3. Una carga incrementada de*

1.2*(D+L) a 1.4D+1.7L es a pesar de todo *significante*, y ofrece *oportunidad para el reforzamiento y que este esté limitado.*"¹

Estos factores de seguridad son necesarios para considerar la probabilidad de coincidencia de carga no prevista, material de baja resistencia, influencias de construcción no previstas, influencias ambientales no previstas, pérdidas de la adherencia del adhesivo debido a altas temperaturas, buen comportamiento del elemento reforzado a lo largo del tiempo.

Vigas de hormigón armado: Las vigas de hormigón armado son diseñadas para soportar tanto flexión como cortante.

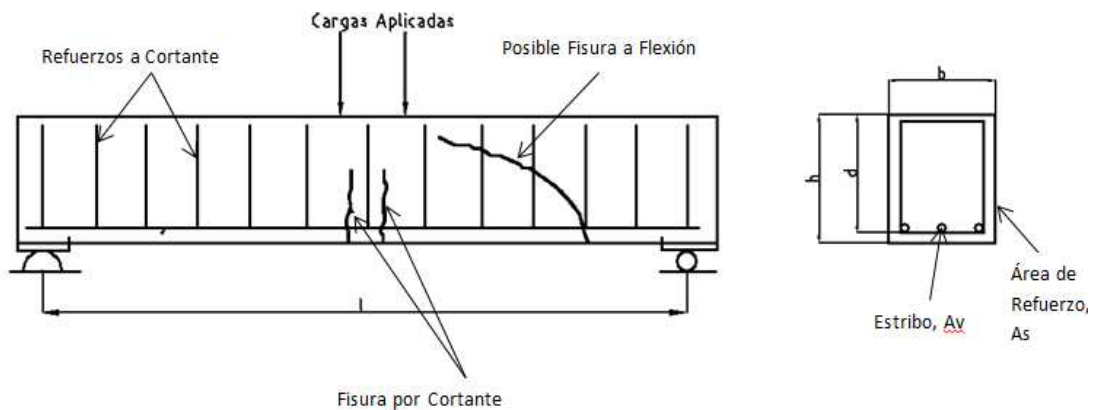


Figura 1.1: Tipos de fallas en una viga.²

Mientras la carga aplicada sobre la viga aumenta, las grietas como se puede observar en la figura 1.1 empiezan a aparecer, hasta que la carga de trabajo es alcanzada. Al alcanzar la resistencia a la flexión del hormigón, es cuando el acero de refuerzo empieza a trabajar evitando que la viga falle.

Una viga debe ser diseñada con refuerzos tanto para compresión como para tensión, tomando en cuenta que la viga debe mantenerse lo más corta posible para que no supere los límites de la deflexión. Con este diseño se obtiene un comportamiento similar al siguiente:

¹ Ricardo Proaño: CISMID – Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería, <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/proy16.pdf>

² E. Avallón y T. Baumeister: Standard Handbook for Mechanical Engineers. Decima ed. New York. McGraw-Hill. s.f. p.12-52

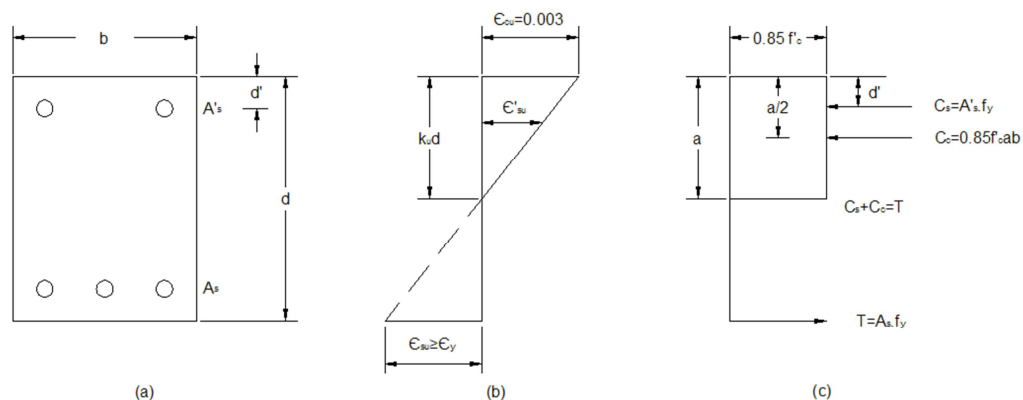


Figura 1.2: Distribución de deformaciones y esfuerzos en una viga de hormigón armado: (a) Sección; (b) Deformaciones; (c) Esfuerzos³

En una viga de concreto así reforzada, el acero de refuerzo resiste la tensión causada por los momentos flectores, mientras que el concreto usualmente es capaz de resistir sólo la compresión correspondiente. Esta acción conjunta de los dos materiales se garantiza si se impide su deslizamiento relativo, lo que logra mediante la utilización de barras corrugadas con su alta resistencia por adherencia en la interface acero-concreto.

La resistencia a la tensión del concreto es una pequeña fracción de su resistencia a la compresión, lo que causa que el concreto no sea apropiado para ser utilizado en elementos sometidos a tensión. A pesar de esta condición se presentan situaciones en las que el concreto reforzado deberá ser sometido a tensión, dichos elementos están compuestos por una o más barras embebidas en el concreto, con un arreglo simétrico similar al de los elementos a compresión.

Cuando la fuerza de tensión se mantiene en niveles bajos que no superen la resistencia a tensión del concreto, tanto el acero como el concreto se comportan elásticamente. Pero al aumentar la carga, el hormigón alcanzara su resistencia a la tensión que en comparación a su resistencia a la compresión estará en el orden de un décimo de la misma. Una vez que esto sucede el concreto se agrieta a través de toda la sección transversal, cuando esto ocurre el concreto deja de resistir cualquier porción de la fuerza de tensión aplicada,

³ E. Avallon y T. Baumeister: Standard Handbook for Mechanical Engineers. Decima ed. New York. McGraw-Hill. s.f. p.12-53

ya que ninguna fuerza puede transmitirse a través del espacio de aire en la grieta. Para resistir esta carga o una mayor se requiere que el acero resista la totalidad de la fuerza de tensión, hasta alcanzar el punto de fluencia del mismo.

Columnas de hormigón armado: los miembros a compresión usualmente son proporcionados tomando en cuenta la carga aplicada, el momento flexionante, y la relación longitud / espesor. La contribución del hormigón armado es un poco menor a la resistencia del cilindro (figura 1.4) dadas las diferencias en lo que es mano de obra, curado y la posición del refuerzo.

En las columnas la falla ocurre cuando el concreto comienza a agrietarse e inicia la fluencia en el refuerzo. El punto para evitar fallas por momentos o cargas aplicadas se las encuentra la siguiente distribución de esfuerzos:

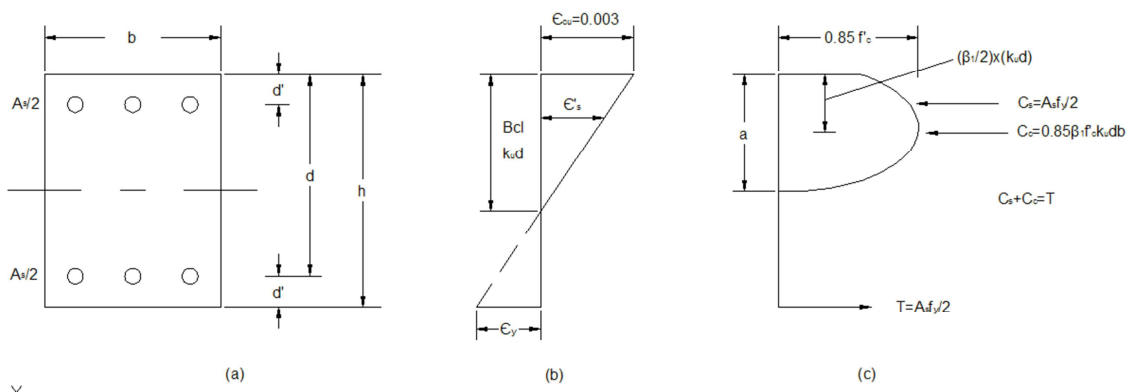


Figura 1.3: Distribución de deformaciones y esfuerzos en una columna de hormigón armado: (a) Sección; (b) Deformaciones; (c) Esfuerzos⁴

Se tienen diferentes tipos de arreglos para el refuerzo, entre los más utilizados se pueden diferenciar:

⁴ E. Avallón y T. Baumeister: Standard Handbook for Mechanical Engineers. Decima ed. New York. McGraw-Hill. s.f. p.12-55

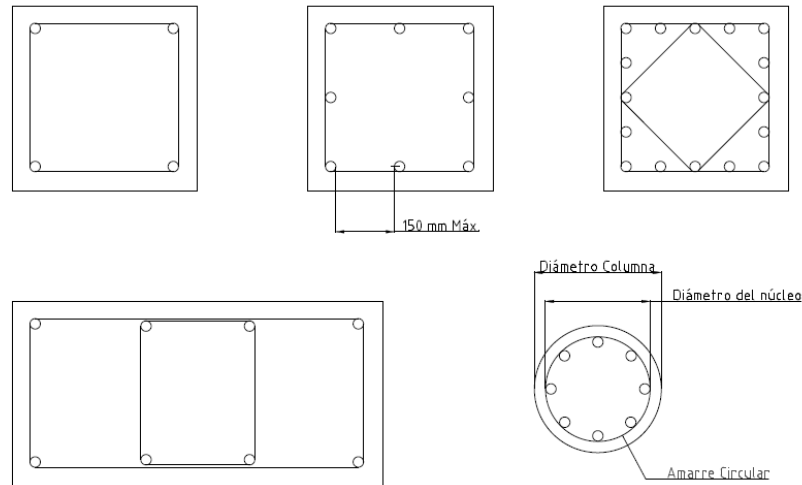


Figura 1.4: Arreglos de acero de refuerzo más utilizados en columnas⁵

Muy pocos elementos del sistema estarán realmente sometidos a cargas axiales puras; el acero de refuerzo está ubicado en el diseño específicamente para soportar cualquier flexión que pueda presentarse. A más de esto el acero ayuda a reducir las dimensiones de sección transversal del elemento en forma proporcional, es decir, a mayor cantidad de refuerzo menor el tamaño de la sección.

Al aplicar una carga axial a un elemento, la deformación unitaria a compresión es la misma en toda la sección del elemento, por lo que en el caso de una columna de hormigón armado la deformación unitaria es la misma en el acero como en el hormigón, gracias a la adherencia entre los dos materiales.

Para esfuerzos inferiores ($\frac{f_c}{2}$ aproximadamente) el concreto se comporta elásticamente, lo que quiere decir, que los esfuerzos y las deformaciones unitarias se mantienen proporcionales (la línea recta d de la figura 1.5 representa este comportamiento); por otra parte el acero permanece elástico hasta su punto de fluencia. A medida que la carga aplicada se acerca a la resistencia última, ocurre una redistribución en la participación relativa de las

⁵ E. Avallón y T. Baumeister: Standard Handbook for Mechanical Engineers. Decima ed. New York. McGraw-Hill. s.f. p.12-56

cargas que asimila el concreto y el acero, haciendo que este último tome una mayor cantidad.

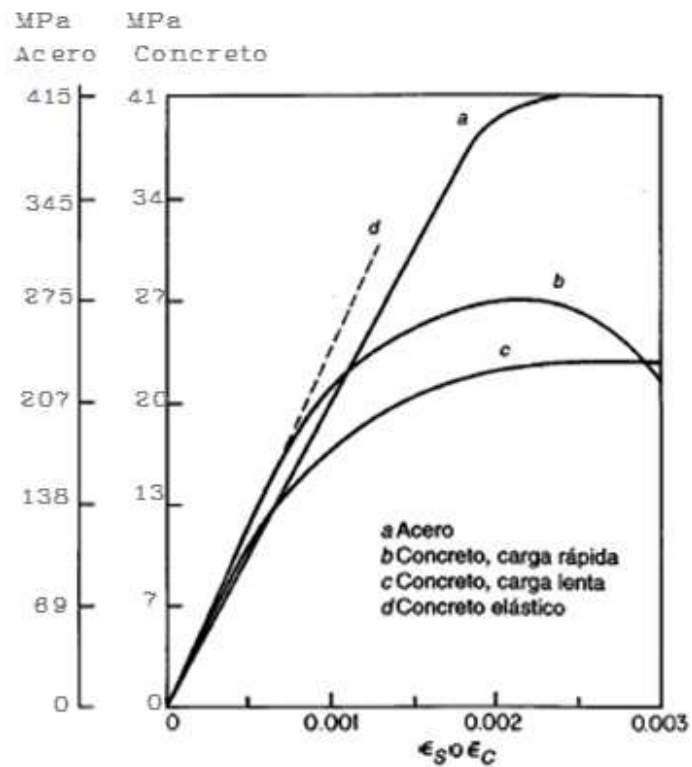


Figura 1.5: Curvas de esfuerzo en concreto y acero⁶

Se puede interpretar al acero de refuerzo como el área de una sección transversal ficticia de hormigón, que se la conoce como área transformada como se aprecia en la siguiente figura:

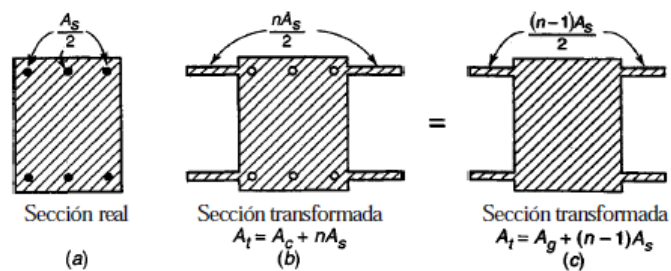


Figura 1.6: Sección Transformada para compresión axial⁷

⁶ A. Nilson: Diseño de estructuras de concreto. Duodécima ed. Bogotá. McGraw-Hill. 2001. p.22

⁷ Ídem, p.23

1.2. Estudio de normas para construcción en hormigón armado

En Ecuador la norma que rige en el diseño y construcción de estructuras de hormigón armado es el “CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN” (CEN). En la sección 2:93 del mismo se detallan los requisitos mínimos de diseño, los cuales están basados en el código ACI 318 de los Estados Unidos de América por lo que el estudio se vio enfocado principalmente en los aspectos que el código ACI 318 sugiere para los métodos de empalme.

Al ser la norma ACI 318 la guía para ejecutar este estudio es necesario dar una pequeña introducción de los temas que se tomaron en cuenta durante el análisis, diseño y construcción de nuestra tecnología de empalme entre varillas corrugadas.

ACI: “American Concrete Institute” (Instituto Americano del Concreto)

ACI es en Estados Unidos de América la institución encargada de normar los procedimientos utilizados en la construcción y diseño de estructuras realizadas con concreto. Las normas que rigen en casi todo el mundo utilizan las sugerencias de esta institución sin que Ecuador sea una excepción. En el presente proyecto se tomó las recomendaciones de la norma ACI 318-11 en donde se indica el procedimiento para el diseño de estructuras de hormigón armado.

La norma ACI 318-11 trata de los requisitos básicos para el diseño de estructuras de hormigón armado. Dentro de los temas tratados en esta normativa se habla de los materiales, cálculos, y detalles constructivos para cualquier edificación que busque el cumplimiento de la norma. Es importante recalcar que el cumplimiento del código no es un requerimiento legal, por lo que el diseñador no necesariamente debe regirse a lo que se sugiere en sus páginas, a menos que la institución que a la cual está prestando sus servicios así lo requiera. El diseñador puede realizar cambios o inclusive diseñar su propia teoría de diseño siempre que este pueda fundamentarse.

El código al tener carácter de obligatorio en nuestro país, requiere que se cumplan todos los aspectos que este muestra, pero deja abierta la posibilidad a diseñadores para promover cualquier sistema de diseño o de construcción que se encuentre dentro del alcance del reglamento, y que su idoneidad sea demostrada. Mediante experimentación, cálculos o ensayos.

Al tomarse a la norma ACI - 318 como base para el código ecuatoriano, esta norma complementa al código ecuatoriano de la construcción, y rige en todos los aspectos relativos al diseño y la construcción de concreto estructural. Por lo que el estudio a realizarse se vió enfocado al capítulo 12 de la norma ACI 318-11, el cual trata los temas de: "Longitudes de desarrollo y empalmes del refuerzo".

Para enfocar el proyecto al medio ecuatoriano se procedió a consultar con profesionales en el área de diseño y construcción de estructuras de hormigón armado, los cuales supieron indicar los métodos comúnmente utilizados en la práctica, que son: empalmes por traslape y empalmes por soldadura.

Además de estos dos métodos la norma permite realizar empalmes mecánicos sin tener una normativa exacta a la cual regirse. La sugerencia que da la norma es que la resistencia de la junta debe ser, al menos 25% más que la resistencia del material de refuerzo.

En cuanto a las metodologías de empalme con mayor uso en Ecuador la norma ACI – 318 exige cumplir con requisitos mínimos de construcción. Siendo la principal observación que los empalmes de cualquier tipo deben ser ubicados lejos de los puntos de máximo esfuerzo de tracción.

La norma ACI 318-11 indica que para realizar empalmes a tope realizados por soldadura se aplique el procedimiento dado por la norma AWS D1.4: "Structural Weldin Code – Reinforcing Steel". Y para el traslapo de varillas se debe seguir con el texto de la ACI318.

AWS: “American Welding Society” (Sociedad Americana de Soldadura)

AWS es la institución encargada de publicar códigos de soldadura y materiales de unión para múltiples aspectos de la industria. Diferentes metodologías de soldadura, métodos de inspección y los metales son detallados en las diferentes secciones. En el caso de este estudio se utilizó el código D1.4 que refiere al código de soldadura en estructuras específicamente en acero de refuerzo.

Norma AWS D1.4: “Structural Welding Code – Reinforcing Steel”

La sección D1.4 de los códigos AWS es la relacionada con la soldadura en acero de refuerzo en estructuras. Esta normativa debe ser utilizada en conjunto con la norma que se esté aplicando en el diseño de la estructura como es el caso de la norma ACI 318. Aquí se hace referencia al procedimiento que se debe cumplir al unir varillas corrugadas, tomando en cuenta que los aceros de refuerzo son aceros al carbono los cuales no están hechos para la exposición a altas temperaturas como sucede al soldar.

Dentro del procedimiento establecido por el código se tienen el tipo o los tipos de biselos a utilizar para realizar una junta de penetración completa y el calentamiento que se realiza al acero antes de soldar, así como también el enfriamiento controlado que debe existir después de ejecutada la unión.

1.3. Materiales

Acero de refuerzo:

El acero de refuerzo se encuentra en diferentes formas, como son: Varillas corrugadas, varillas lisas, mallas electro soldadas o alambres. La presentación utilizada en estructuras de hormigón armado para la fabricación de columnas y vigas, es como varilla corrugada. El diseño con deformaciones en la superficie de la varilla permite una mejor adherencia y una mejor compenetración entre el concreto y el acero, además de una buena adherencia el conjunto acero-concreto posee características adicionales que llevan a un comportamiento en conjunto satisfactorio. Estas características son:

1. Coeficientes de expansión térmica suficientemente cercanos para no producir agrietamientos y otros efectos no deseados por deformaciones térmicas diferenciales. **Acero:** $12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ y **Concreto:** $10 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.
2. El concreto provee una excelente protección al acero el cual posee una baja resistencia a la corrosión; por lo que minimiza costos de mantenimiento y problemas derivados.
3. Protección al fuego ya que la baja conductividad térmica del concreto evita un excesivo calentamiento.

La resistencia de los aceros de refuerzo tanto a la tracción como a la compresión comparada con la resistencia del concreto es aproximadamente 15 veces la resistencia de compresión y 100 veces la resistencia a la tracción. Las varillas corrugadas presentan un rango en su límite de fluencia entre 275 y 517 MPa. En Ecuador el Instituto Ecuatoriano de Normalización, en su normativa INEN 102, establece un límite de fluencia no menor a 417.21 MPa, por lo que el acero de refuerzo utilizado se regirá a esta norma.

Esta diferencia de resistencias entre el concreto y el acero se ve reflejado en los costos, haciendo que el acero sea mucho más costoso que el concreto. Aceros con mayor resistencia tienen la ventaja de permitir mayores cargas de servicio, pero su menor ductilidad ocasiona una mayor dificultad al ejecutar doblados en frío requeridos.

Tabla 1. 1: Propiedades de los aceros de construcción de resistencia ASTM⁸

Producto	Especificación ASTM	Grado o Tipo	Resistencia Mínima a la Fluencia (MPa)	Resistencia Mínima a la Tensión (MPa)
<i>Barra de Refuerzo</i>	A615	Grado 40	275	480
		Grado 60	415	620
		Grado 75	515	690
	A616	Grado 50	345	550
		Grado 60	415	620
	A617	Grado 40	275	480
		Grado 60	415	620
	A706	Grado 60	414	550
<i>Alambre Liso</i>	A82		480	550

La composición química de la mayoría de los aceros de refuerzo no permite soldar con facilidad. Para ejecutar una correcta soldadura se debe utilizar técnicas especiales, entre las que se incluye un precalentamiento y un enfriamiento controlado. Inclusive se debe tomar muy en cuenta que la composición química varía entre varillas por lo que los procedimientos pueden variar en cada unión.

La unión mediante soldadura puede presentar problemas ya que se introducen concentradores de esfuerzos. Salvo que se utilice un acero de refuerzo soldable como el ASTM A706, pero no se lo encuentra fácilmente en el mercado.

En cuanto a tamaño, las varillas corrugadas han sido normalizadas, y su designación numérica es aproximadamente el diámetro de la varilla.

⁸A. Nilson: Diseño de estructuras de concreto. Duodécima ed. Bogota. McGraw-Hill. 2001. p.53

Tabla 1. 2: Dimensiones y propiedades de varillas corrugadas⁹

Dimensiones y especificaciones técnicas	
Diámetro	Densidad lineal de masa
mm	kg/m
8	0.395
10	0.617
12	0.888
14	1.208
16	1.578
18	1.998
20	2.446
22	2.984
25	3.853
28	4.834
32	6.313
Tolerancia de longitud: +/- 50mm	
Propiedades Mecánicas	MPa
Límite de fluencia mínimo	412
Límite de fluencia máximo	539
Resistencia a la tracción mínima	549
Alargamiento (%) con probeta Lo=200 mm	
Diámetro nominal (mm)	%
8 – 20	14
22 – 32	12

Para distinguir los diferentes grados y tamaños de las varillas, estas se suministran con contramarcas. Estas marcas identifican la acería que las produce, el número del tamaño de la barra, el tipo de acero y en caso de ser un

⁹ Catálogo de productos ADELCA

acero de alta resistencia se proporciona una marca adicional. En la siguiente figura se muestran las marcas antes mencionadas:

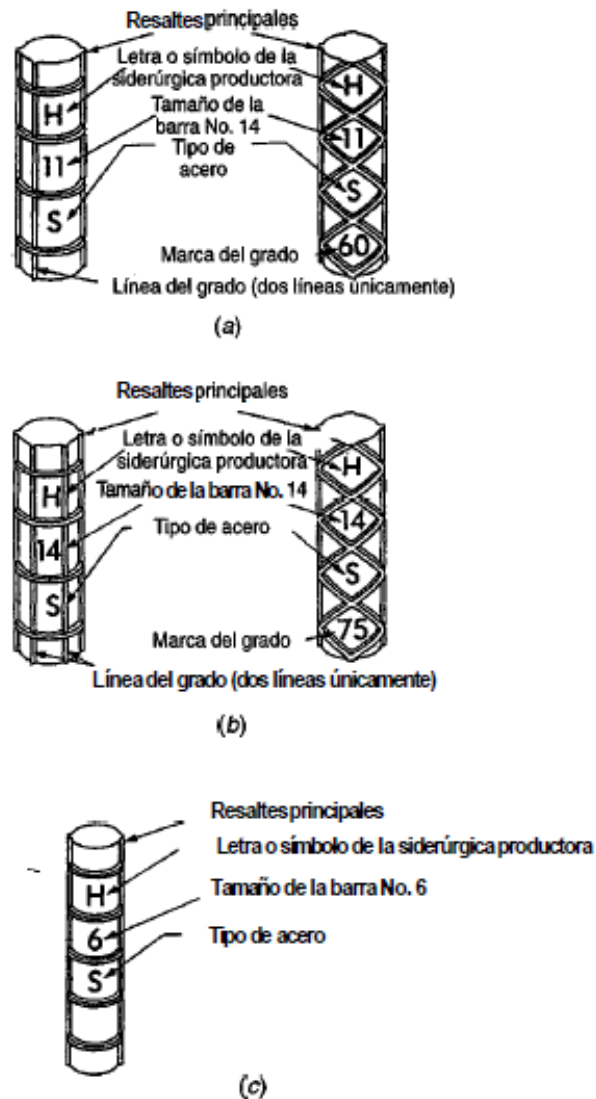


Figura 1.7: Sistema de marcas para varillas de refuerzo que cumple las especificaciones ASTM A615, A617 y A706: (a) grado 60 y A706; (b) grado 75; (c) grados 40 y 50.¹⁰

¹⁰ A. Nilson: Diseño de estructuras de concreto. Duodécima ed. Bogota. McGraw-Hill. 2001.

Material para conectores cilíndricos huecos:

Dado que las propiedades geométricas de los conectores cilíndricos huecos son las que no van a dar la propiedad mecánica del sistema, y tomando en cuenta las propiedades mínimas especificadas por la norma ACI 318-11 para las propiedades de mecánicas del acero de refuerzo se consideró lo siguiente: el material de los conectores debe ser un material dúctil y lo suficientemente resistente para alcanzar el valor de 1.25 veces la fluencia del acero de refuerzo, valor que se alcanzara aumentan su sección.

Es por esto que el material elegido para la construcción de los conectores debe tener una resistencia mayor o igual a 344.738 MPa, cumpliendo así con lo especificado en el código ACI 318-11 sección 12.14.3.2.

Luego de realizar un análisis dimensional, el valor mínimo de resistencia a la fluencia se debe considerar los materiales que se consiguen en el mercado ecuatoriano, ya que como es de conocimiento de todos, no siempre se puede encontrar el material requerido en los distribuidores. Al ser uno de los objetivos propuestos el buscar una disminución en los costos, es fundamental encontrar un acero de fácil adquisición con el menor costo posible.

Al hacer este pequeño estudio la lista de materiales se reduce significativamente por lo que se pone a consideración 3 tipos de acero que cumplen con los requerimientos, estos son:

Tabla 1. 3: Opciones de Acero para conectores

TIPO	RESISTENCIA A LA FLUENCIA (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)
ASTM A36	250	400
AISI 1040	374	590
AISI 1018	235	400

1.4. Teoría de aplastamiento de cilindros

Deformación plástica en cilindros

Los materiales tienen un comportamiento elástico y plástico. El comportamiento elástico es aquel en el que al someter un cuerpo a una fuerza externa este se deforma, pero al retirar la fuerza externa, el elemento vuelve a su estado inicial sin mostrar una deformación permanente. En la figura 1.8 (a) se puede observar que dicho punto es el punto A, llamado límite de proporcionalidad, hasta dicho límite es aplicable la ley de Hooke.

Al incrementar la carga aplicada sobre el cuerpo, el material se estira rápidamente, hasta llegar a B, llamado límite de fluencia, donde se presenta un alargamiento súbito sin una variación considerable de esfuerzo. Al sobrepasar el límite de fluencia, se entra en la zona plástica del elemento, donde la ley de Hooke ya no es válida; esto se debe a que en esta zona los elementos quedan deformados permanentemente luego de haber retirado la carga.

Si se sigue aumentando la carga al elemento, se llega al punto C, conocido como esfuerzo último, el cual es el máximo esfuerzo que soporta un material antes de romperse. Pasado el punto C el elemento se alarga con la particularidad que la carga necesaria para lograr el alargamiento disminuye, hasta llegar al punto D donde se presenta la rotura o esfuerzo de rotura, en este punto el elemento colapsa instantáneamente.

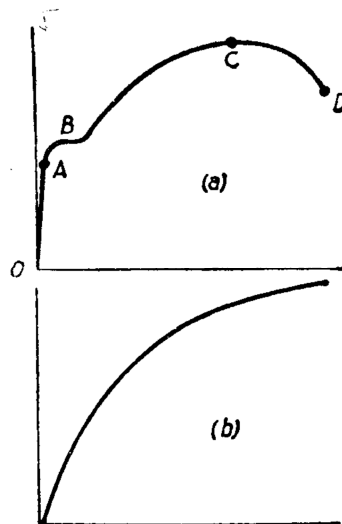


Figura 1.8: Diagrama de ensayo a tracción. Deformación de un acero. (b) Diagrama esfuerzo – deformación de una fundición.¹¹

El estudio y modelación matemática del comportamiento plástico es más complicado que en el comportamiento elástico, ya que en la zona elástica el estado de deformación depende solamente del estadio inicial y final de los esfuerzos y deformaciones. La deformación plástica depende del patrón de cargas al que se le someta al sólido, lo cual genera un estado único de deformación final. Una de las complicaciones en el análisis plástico es la dureza que va adquiriendo el sólido conforme aumenta la deformación.

El estudio del comportamiento plástico de los conectores cilíndricos huecos se dio en un contexto en el que se realizó el análisis de un cilindro de pared gruesa para la presencia de esfuerzo y deformaciones radiales y angulares, omitiendo las deformaciones y los esfuerzos longitudinales (en el eje z). Se estudió el comportamiento radial del cilindro cambiando las condiciones de frontera, mediante el análisis de presión interna nula y presión externa existente; ya que la deformación del cilindro se desarrolla desde la parte externa del mismo hacia el centro. Esto genera una plasticidad aplicada a compresión del material.

Referirse al Capítulo 3 de este documento para mayor detalle.

¹¹ S. Timoshenko: Resistencia de materiales Tomo 1. Duodécima ed. Madrid. Espasa-Calpe SA. 1957. p.7

1.5. Prensas hidráulicas

Las prensas hidráulicas basan su funcionamiento en un fluido incompresible; la prensa genera movimiento del pistón a partir de la transformación de energía que se encuentra en forma de presión. La presión se la puede obtener mediante el uso de una bomba o mediante el movimiento manual. Se puede clasificar a las prensas según la disposición de sus elementos en prensas horizontales y verticales.

Prensas horizontales:

En la figura, se representa una prensa hidráulica horizontal; donde 1 es el cilindro de acero, 2 el embolo, 3 punzón, 4 container, 5 marco delantero, 6 matriz, 7 lingote de metal, 8 elemento terminado (varilla).

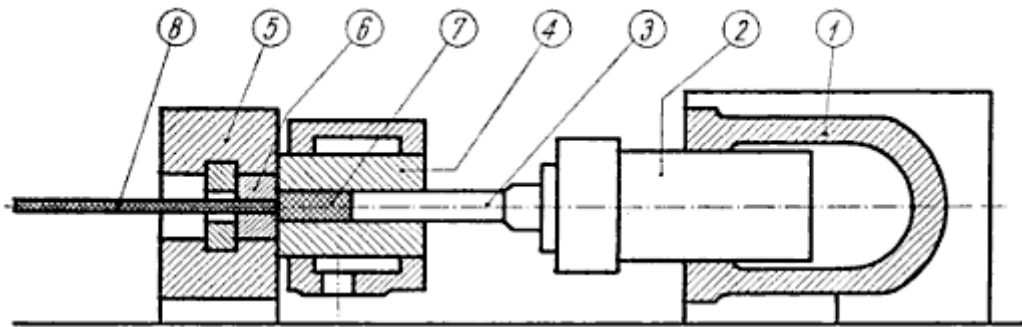


Figura 1.9: Esquema de una Prensa Horizontal.¹²

Prensas verticales:

En la figura se representa una prensa hidráulica de funcionamiento vertical; donde 1 es el cilindro, 2 embolo, 3 paragolpes, 4 manguito de cuero, 5 buje, 6 plataforma, 7 cañería de ingreso de fluido, 8 soporte, 9 molde, 10 alma, 11 dispositivo levantamiento manual, 12 cabecera.

¹² N. Waganoff: Prensas Hidráulicas. Segunda ed. SL. Alsina. 1961. p.59

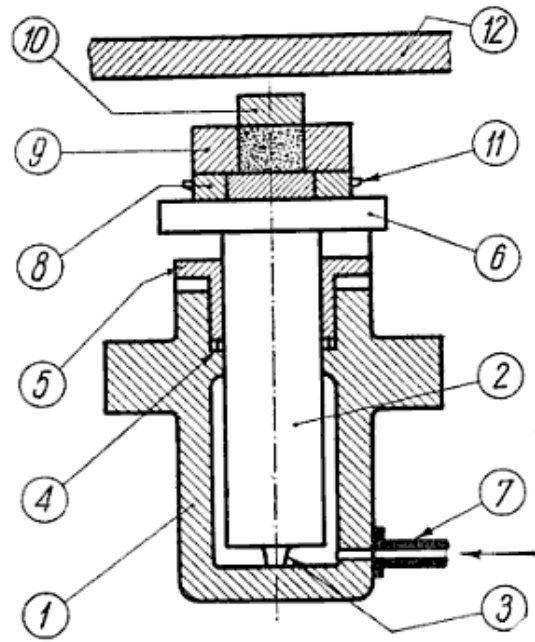


Figura 1.10: Esquema de una Prensa Vertical.¹³

La prensa hidráulica móvil se puede utilizar tanto de manera vertical como horizontal debido a su utilidad tanto en vigas como columnas.

¹³ N. Waganoff: Prensas Hidráulicas. Segunda ed. SL. Alsina. 1961. p.62

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Para facilitar el análisis de alternativas, se ha dividido el análisis en dos partes fundamentales, las mismas partes en las que se divide el diseño y la fabricación – construcción; como se explica a continuación:

1. Conectores Cilíndricos Huecos
2. Prensa Hidráulica

Además cada parte consta de sub-partes a analizar como métodos de fabricación - construcción, materiales, tratamientos térmicos.

2.1. Conectores Cilíndricos Huecos

Los conectores cilíndricos huecos son el mecanismo por el cual se realizara el empalme de varillas corrugadas, tomando en cuenta los diferentes procesos y materiales que se pueden emplear para la fabricación de estos, se ha separado 2 puntos importantes: Materiales y Fabricación. Cada uno de esos subtemas presenta varias posibilidades de la cual se debió elegir la mejor tomando en cuenta diferentes criterios que se detallaran a continuación.

2.1.1. Materiales

Tomando en cuenta que los materiales listados en la tabla 1.3 son las opciones para realizar la construcción de los conectores cilíndricos huecos. La decisión del material a utilizar se verá enfocada principalmente en la facilidad para ejecutar cualquier proceso de manufactura, el costo y la disponibilidad en el mercado.

Acero ASTM A-36: es un acero estructural al carbono, se utiliza frecuentemente en la construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones en general. Tiene una gran soldabilidad. Es un acero económico que prácticamente satisface todas las

necesidades de las estructuras metálicas, su costo es de 1.8 usd/kg. Este acero puede ser encontrado en forma de planchas, barras cuadradas, perfiles L, canales C y barra cilíndrica en diámetros pequeños.

Tabla 2. 1: Propiedades Mecánicas Acero ASTM A-36¹⁴

Resistencia a la tracción	400 MPa
Resistencia a la fluencia	250 MPa
Elongación	20 %
Reducción de área	40 %

Acero AISI 1045: es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarias en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria. Si bien su precio es el más accesible, sus propiedades mecánicas no ayudan en el prensado. Su costo es de 6 usd/kg.

Características:

- Buenas propiedades para realizar tratamientos térmicos.
- Soldable bajo ciertas condiciones.
- Alta dureza.

Tabla 2. 2: Propiedades mecánicas Acero AISI 1045¹⁵

Resistencia a la tracción	570 MPa
Resistencia a la fluencia	310 MPa
Elongación	16 %
Reducción de área	40 %
Dureza	163 HB

¹⁴ ASTM A36/A36M - 08 Especificación Normalizada para Acero al Carbono Estructural

¹⁵ R. Budynas, y J. Nisbett: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Octava Edición. México, McGraw-Hill, 2008, pp 1020. Tabla A-20

Acero AISI 1018: es un acero de bajo carbón comúnmente usado en su condición de recocido en parte donde la resistencia no es crítica. También puede ser cementado logrando una dureza uniforme en la superficie con centro suave. Este acero puede surtirse tanto en acabado en frío como en caliente. Tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono. Se presenta en condición de calibrado (acabado en frío). Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria. Su costo oscila entre los 2.81 usd/kg, y su presentación en el mercado es de barras cilíndricas.

Tabla 2. 3: Propiedades mecánicas Acero AISI 1018¹⁶

Resistencia a la tracción	410 MPa
Resistencia a la fluencia	235 MPa
Elongación	20 %
Reducción de área	40 %
Dureza	143 HB

Los puntos a tomar en cuenta para la selección del material a utilizar serán los siguientes:

- **Costo:** Costo actual del material en el mercado.
- **Disponibilidad:** Existencia física del material en los diferentes puntos de distribución.
- **Maquinabilidad:** Facilidad de realizar maquinado por arranque de viruta (torneado).
- **Propiedades Mecánicas:** Se tomara en cuenta la resistencia a la fluencia del material y la dureza del mismo, lo cual facilitara al prensado del conector.

¹⁶ Manual de aceros especiales BOHLER, pág. 80.

NOTA: Los precios utilizados son tomados a Mayo del 2012.

- **Propiedades Geométricas:** Disponibilidad del material en barras cilíndricas en los diámetros requeridos para los distintos conectores.

Tabla 2. 4: Ponderación de diseño para material de conectores cilíndricos huecos

	Criterio	1	2	3	4	5	6	SUM	Ponderación
1	Costo	1	1/2	1/2	1	1	0	3	0.30
2	Disponibilidad	1/2	1	1/2	1	1/2	0	2 1/2	0.25
3	Maquinabilidad	1/2	1/2	1	1/2	1/2	0	2	0.20
4	Propiedades Mecánicas	0	0	1/2	1	1	0	1 1/2	0.15
5	Propiedades Geométricas	0	1/2	1/2	0	0	0	1	0.10
	SUM=							10	1.00

Código de Valores

Mayor	1
Igual	1/2
Menor	0

Tabla 2. 5: Matriz de decisión Materiales para conectores cilíndricos huecos

	Criterio	Ponderación	A 36		AISI 1045		AISI 1018	
			F.R	Valor	F.R	Valor	F.R	Valor
1	Costo	0.30	8	2.40	5	1.50	7	2.10
2	Disponibilidad	0.25	6	1.50	5	1.25	9	2.25
3	Maquinabilidad	0.20	8	1.60	7	1.40	8	1.60
4	Propiedades Mecánicas	0.15	7	1.05	8	1.20	5	0.75
5	Propiedades Geométricas	0.10	6	0.60	6	0.60	8	0.80
	SUM=			4.75		4.45		5.40

2.1.2. Fabricación

Para construir los conectores cilíndricos huecos se debe analizar los diferentes métodos de fabricación que cumplan con las especificaciones requeridas durante el diseño, tomando en cuenta el menor precio y desperdicio de material.

Al ser una meta del proyecto la reducción de costos, la fabricación no debe elevar el precio final del producto, por lo que es algo que se debe prever.

Tomando en cuenta estas premisas las opciones que se tienen para construir los conectores cilíndricos huecos son las siguientes: Fundición, Maquinado, Rolado y Extrusión.

Maquinado: el maquinado es un grupo de procesos que se utilizan para conformar partes mecánicas. Se requiere una gran cantidad de tiempo para realizar la fabricación de piezas por este proceso, además se tiene un alto desperdicio de material. En cuanto a dimensiones el maquinado es sumamente preciso y se tiene un alto grado de calidad.

El maquinado tradicional emplea una herramienta de corte que remueve el material de trabajo en forma de virutas, dando así la configuración deseada. Se tienen tres elementos básicos que son: la pieza de trabajo, la herramienta de corte y la máquina herramienta; dependiendo de la máquina herramienta utilizada el proceso toma su nombre.

Para la fabricación de los conectores cilíndricos huecos se utilizarán principalmente dos técnicas que son: Torneado y Taladrado.

Torneado: consiste en arrancar viruta por medio de una herramienta (cuchilla) que avanza a longitudinalmente mientras la pieza de trabajo gira gracias al torno. Al realizar conectores cilíndricos huecos, esta operación toma el nombre de Cilindrado. Lo que se busca es reducir el diámetro de la barra de material que se está trabajando hasta las dimensiones requeridas.

Taladrado: es una operación mecánica destinada a la realización de agujeros redondos, que consiste en el giro de una herramienta denominada broca para eliminar progresivamente una determinada cantidad de material de la pieza de trabajo.

Ventajas:

- Excelente acabado superficial.
- Exactitud geométrica y dimensional.
- Bajo costo para producción a baja escala.
- Disponibilidad de operarios capacitados e infraestructura adecuada.

Desventajas:

- Bajo nivel de producción.
- Costo por unidad elevado.
- Alto tiempo requerido.
- Gran desperdicio de material.

Rolado: es un proceso continuo de formación de metales, que por medio de un juego de rodillos montados según la forma que se quiera lograr. Consiste en que el material de trabajo pase por los rodillos para que adquiera una forma determinada, cuando se le aplica una presión por medio de los rodillos.

Este es un proceso común para la manufactura de tubos por lo que se adecua perfectamente al proyecto. Al no tener arranque de viruta no existe desperdicio de material y las dimensiones son muy exactas. Se debe tomar en cuenta para este proceso que algunas propiedades del material se ven afectadas como son: la resistencia y la dureza, lo que puede provocar adelgazamiento de paredes y agrietamientos prematuros.

Ventajas:

- Agilidad en el proceso de producción.
- Se adapta muy bien a la producción en serie.
- Proceso automático para la producción en serie.
- Facilidad de maquinaria y operarios.
- Bajo tiempo de producción.
- Bajo costo de producción.

Desventajas:

- Afectación de las propiedades mecánicas del material.
- Se requiere gran espacio para la producción.
- Se debe complementar al rolado un proceso de soldadura para completar el cilindro.
- Alto costo inicial.

Extrusión: es un proceso utilizado para crear objetos con una sección transversal definida. Consiste en empujar el material a través de un troquel de una sección transversal requerida. El proceso de extrusión es muy económico cuando se produce grandes cantidades de producto.

Se requiere el diseño de un molde (troquel) con la forma requerida de los conectores cilíndricos huecos. Lo que aumenta los costos.

Ventajas:

- Apto para la producción en serie.
- Tiempos de entrega cortos.
- Infraestructura suficiente en el medio.
- Bajo costo de fabricación.
- No se requiere maquinado posterior

Desventajas:

- Alta inversión inicial.

Los criterios que ayudaran a decidir el método de fabricación de los conectores serán:

- **Costo:** Costo del proceso de manufactura.
- **Tiempo:** Tiempo que toma realizar un conector con cada proceso.
- **Desperdicio de material:** Material que influye en el costo a pesar de no ser utilizado.
- **Producción en serie:** Facilidad de automatizar el proceso de fabricación.

- **Producción para ensayos:** Facilidad de fabricar conectores cilíndricos huecos por unidad.
- **Tolerancias:** Exactitud en las dimensiones de los conectores cilíndricos huecos.
- **Construcción del sistema:** Disponibilidad del equipo y herramientas necesarias para la construcción de los conectores.

Tabla 2. 6: Ponderación de diseño para la fabricación de conectores cilíndricos huecos

	Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	SUM	Ponderación
1	Costo		1/2	1	1	1/2	1	1	3	8	0.19
2	Tiempo	1/2		1	1	1/2	1	0	3	7	0.17
3	Desperdicio de Material	0	0		1	1/2	1	0	3	5 1/2	0.13
4	Producción en Serie	0	0	0		0	1	0	3	4	0.10
5	Producción para ensayos	1/2	1/2	1/2	1		0	1	3	6 1/2	0.15
6	Tolerancias	0	0	0	0	1		0	3	4	0.10
7	Construcción del sistema	0	1	1	1	0	1		3	7	0.17
	SUM=									42	1.00

Código de valores

Mayor	1
Igual	1/2
Menor	0

Tabla 2. 7: Matriz de decisión para la fabricación de conectores cilíndricos huecos

	Criterio	Ponderación	Maquinado		Rolado		Extrusión	
			F.R	Valor	F.R	Valor	F.R	Valor
1	Costo	0.19	4	0.76	4	0.76	7	1.33
2	Tiempo	0.17	4	0.67	3	0.50	8	1.33
3	Desperdicio de Material	0.13	3	0.39	8	1.05	9	1.18
4	Producción en Serie	0.10	3	0.29	7	0.67	9	0.86
5	Producción para ensayos	0.15	10	1.55	4	0.62	3	0.46
6	Tolerancias	0.10	10	0.95	7	0.67	8	0.76
7	Construcción del sistema	0.17	7	1.17	4	0.67	2	0.33
	SUM=			5.01		4.17		4.93

2.2. Prensa Hidráulica

Se requiere la prensa para realizar la deformación permanente de los conectores cilíndricos huecos; para la prensa se analiza la posibilidad de fabricarla por completo o la compra de partes prefabricadas y ensamblar; así como también se analiza la factibilidad de utilizar un sistema de presión mediante el uso de una bomba o del modo manual. También se considera necesario hacer un análisis de los tratamientos térmicos a realizar en las muelas intercambiables, sea un temple y revenido o solo un cementado.

Partes prensa hidráulica:

- Cilindro Hidráulico
- Muelas
- Cuerpo
- Sistema de Presión

Cilindro hidráulico

El cilindro hidráulico consta de dos piezas fundamentales: el cilindro y el pistón. Un cilindro hidráulico obtiene la energía de un fluido hidráulico presurizado, el cual usualmente es un aceite; dicha energía la utiliza para

ejercer gran fuerza y generar un movimiento o una deformación, mediante el accionamiento del pistón. Los cilindros se pueden clasificar según capacidad de movimientos en: de simple efecto, de doble efecto y de multi posición.

Los cilindros de simple efecto tienen un solo ingreso de fluido, lo cual genera la carrera de salida, el retorno se efectúa mediante un resorte que ejerce su fuerza al pistón en el momento en que se corta la fuente de presión.

Los cilindros de doble efecto son cilindros que disponen de dos lugares por donde ingresa el fluido, el uno se encuentra en la parte inferior del cilindro y el otro en la parte superior del cilindro. El doble movimiento o cambio de estado de salida a ingreso del pistón, se lo puede realizar mediante el uso de válvulas, las cuales canalizan el flujo de aceite hacia una sola entrada al cilindro.

Los cilindros multiposición son cilindros que disponen de varias entradas de fluido, esto se debe a que existen varias carreras del pistón debido a que son pistones dentro de pistones, como en el sistema de antena de TV.

Muelas:

Las muelas son elementos diseñados con el objetivo de presionar y en algunos casos deformar elementos; las muelas disponen de variedad de geometrías y tamaños, esto se debe a su gran utilidad en los talleres, en la industria, y en la matricería.

Al ser elementos que están sometidos a contacto constante en su vida útil, se debe realizar un tratamiento a este elemento, para así mejorar su dureza, permitiendo que el elemento a deformarse sea el deseado y no la muela; y disminuir el desgaste del elemento; así alargando su vida útil.

Es común que las muelas sean muy rugosas en su superficie de agarre o de trabajo, esto se debe a la necesidad de fricción para evitar que se resbale el elemento a sujetar o deformar.

Cuerpo de la prensa:

El cuerpo de la prensa lo conforman los elementos auxiliares al cilindro y las muelas; son aquellos que sirven de base para el cilindro, para que este se apoye en dicho elemento y puede generar la fuerza que se requiere para la utilidad especificada. Son elementos que sirven de guía para que el movimiento de las muelas sea lineal y controlado.

En el cuerpo de la prensa también se integran elementos de sujeción, tanto del cilindro hacia la fuente de presión, como de la muela móvil al pistón. Además se encuentran los elementos de sujeción de la muela móvil al cuerpo o al elemento más robusto y del conjunto cilindro muela al cuerpo en sí de la prensa. Cabe recalcar que el cuerpo de la prensa está conformado de elementos que dan robustez al conjunto para evitar que se deforme debido a la gran presión a la que se trabaja.

2.2.1. Sistema de presión

El sistema de presión es de vital importancia en el desarrollo del proyecto, ya que debido a este sistema se obtiene la presión necesaria para generar el movimiento del pistón y por lo tanto la deformación de los conectores cilíndricos huecos.

El sistema de presión requiere el uso de elementos diseñados y que garanticen su funcionamiento a altas presiones; pueden ser válvulas de apertura y cierre, reguladores de caudal, manguera de alta presión, etc.

El sistema de presión puede ser utilizado a partir de una bomba hidráulica para generar altas presiones y permitir al sistema su funcionamiento y activación sencilla; también se puede utilizar el accionamiento manual mediante un gato hidráulico, cuyo funcionamiento y activación deben ser realizados mediante el esfuerzo del operador.

Sistema de presión eléctrico:

Este sistema requiere varios elementos para controlar el sistema en sí; dentro de los cuales se encuentran válvulas de cierre y apertura, válvulas

reguladoras de caudal, manguera de transporte del fluido, bomba hidráulica, mecanismo de control o accionamiento del sistema.

Ventajas:

- Fácil uso y accionamiento del sistema.
- Altas presiones disponibles.
- Poco tiempo para realizar el trabajo.

Desventajas:

- Alto consumo eléctrico.
- Baja disponibilidad de fuente eléctrica en campo.
- Dificultad en la movilización.
- Alto costo de la bomba eléctrica.

Sistema de presión manual:

Este sistema requiere básicamente un gato hidráulico y un operador para realizar el trabajo de bombeo; debido a esto se requiere otro operador para sujetar la prensa hidráulica móvil.

Ventajas:

- Bajo costo del gato hidráulico.
- Fácil transporte y movilización del sistema.
- Cero consumo eléctrico.
- Altas presiones disponibles.

Desventajas:

- Mayor tiempo para realizar el trabajo.
- Se requieren dos operarios.

Se tomara en cuenta los siguientes criterios para la selección del sistema de presión:

- **Costo:** Costo del sistema.

- **Tiempo de construcción:** Tiempo que toma fabricar el sistema de presión o su tiempo de entrega.
- **Tiempo de operación:** Tiempo que se demora el sistema en alcanzar las presiones determinadas para la deformación plástica del conector.
- **Facilidad de construcción:** Cantidad de procesos necesarios para construir el sistema de presión.
- **Peso:** Peso total del sistema.
- **Facilidad de Transporte:** Facilidad para movilizar el equipo.

Tabla 2. 8: Ponderación de diseño para Sistema de presión

	Criterio	1	2	3	4	5	6	7	SUM	Ponderación
1	Costo		1/2	1/2	1	1	1	1	5	0.24
2	Tiempo de Construcción	1/2		1/2	1	1	1	1	5	0.24
3	Tiempo de Operación	1/2	1/2		1	1	1	1	5	0.24
4	Facilidad de Construcción	0	0	0		1/2	1/2	1	2	0.10
5	Peso	0	0	0	1/2		1/2	1	2	0.10
6	Facilidad de Transporte	0	0	0	1/2	1/2		1	2	0.10
	SUM=								21	1.00

Código de valores

Mayor	1
Igual	1/2
Menor	0

Tabla 2. 9: Matriz de decisión para el sistema de presión

	Criterios	Ponderación	Sistema de Presión Eléctrico		Sistema de Presión Manual	
			F.R	Valor	F.R	Valor
1	Costo	0.24	4	0.96	9	2.16
2	Tiempo de Construcción	0.24	6	1.44	6	1.44
3	Tiempo de Operación	0.24	8	1.92	5	1.20
4	Facilidad de Construcción	0.10	8	0.80	7	0.70
5	Peso	0.10	3	0.30	7	0.70
6	Facilidad de Transporte	0.10	4	0.40	8	0.80
	SUM=			5.82		7.00

2.2.2. Tratamientos térmicos en las muelas:

Las muelas son elementos a estar en contacto directo y constante con los conectores cilíndricos huecos, dicho contacto conlleva un desgaste si las muelas son de un acero de baja dureza; por lo tanto se debe realizar tratamientos térmicos para incrementar la dureza y disminuir el desgaste natural de las muelas.

Temple y revenido:

El temple es un tratamiento térmico que busca incrementar la dureza y la resistencia del acero; para esto se calienta el acero por sobre la temperatura crítica a aproximadamente 900 – 950 °C; posterior al calentamiento se procede a un enfriamiento rápido mediante la inmersión en aceite.

El revenido es un tratamiento térmico que busca aliviar un poco las tensiones generadas por el temple, conservando dureza e incrementando la tenacidad. La diferencia con el temple es la temperatura máxima a la que se lleva al acero, la cual es de aproximadamente 730 °C y su velocidad de

enfriamiento, la cual es mayor ya que no se le somete a un medio a temperatura ambiente; se controla el enfriamiento.

Ventajas:

- Dureza al acero.
- Alivio de Tensiones.
- Incremento de la Tenacidad

Desventajas:

- Doble incremento de Temperatura.
- Mayor tiempo
- Alto costo de los tratamientos

Cementación:

Un cementado es un tratamiento termoquímico, ya que no solamente se cambia la estructura del acero, también se produce un cambio en la composición química en la parte superficial.

El cementado se lo utiliza con el propósito de aumentar la dureza superficial, manteniendo la ductilidad del núcleo; de este modo se disminuye el desgaste al rozamiento pero el acero se mantiene blando en el centro para no fracturarse en caso de impacto.

El cementado consiste en introducir el acero en una atmosfera rica en carbono, a un temperatura entre 900 y 950 °C y mantener la misma temperatura y condiciones de carbón por varias horas, el tiempo depende de la profundidad de penetración del carbono que se desee en el acero. Luego se realiza un enfriamiento controlado, manteniendo la misma atmosfera de carbono.

Ventajas:

- Mantiene el núcleo del elemento dúctil.
- Gran dureza superficial
- Disminuye el porcentaje de corrosión.

Desventajas:

- Mucho tiempo en horno
- Alto costo
- Enfriamiento controlado

Se tomara en cuenta los siguientes criterios para la selección del sistema de presión:

- **Costo:** Costo del tratamiento térmico.
- **Tiempo:** Tiempo de entrega del tratamiento térmico.
- **Propiedades Mecánicas:** Propiedades que adquiere el material luego del tratamiento térmico.
- **Disponibilidad Infraestructura:** Disponibilidad de empresas que brinden el servicio de tratamiento térmico requerido.

Tabla 2. 10 Ponderación de diseño para Tratamientos Térmicos

	Criterio	1	2	3	4	5	SUM	Ponderación
1	Costo		1	1	1	1	4	0.40
2	Tiempo	0		1/2	1/2	1	2	0.20
3	Propiedades Mecánicas	0	1/2		1/2	1	2	0.20
4	Disponibilidad Infraestructura	0	1/2	1/2		1	2	0.20
	SUM=						10	1.00

Código de valores

Mayor	1
Igual	1/2
Menor	0

Tabla 2. 11: Matriz de decisión para tratamientos térmicos

	Criterios	Ponderación	Temple y Revenido		Cementado	
			F.R	Valor	F.R.	Valor
1	Costo	0.40	7	2.80	7	2.80
2	Tiempo	0.20	6	1.20	5	1.00
3	Propiedades Mecánicas	0.20	6	1.20	8	1.60
4	Disponibilidad Infraestructura	0.20	6	1.20	6	1.20
	SUM=			6.40		6.60

2.2.3. Construcción de la prensa:

Se analiza la posibilidad de construir los componentes de la prensa y también la compra de elementos para luego ensamblarlos. Ambas opciones cumplirían con la demanda de trabajo, por lo tanto ambas son recomendables.

Construcción de las partes:

Las partes deben tener tolerancias geométricas y superficiales, por lo tanto la construcción debe ser minuciosa y en un sitio donde se garantice el acabado.

Ventajas:

- Piezas hechas a la medida.
- Seguimiento de la calidad en los elementos.
- Control de Tratamientos Térmicos.

Desventajas:

- Alto costo por producción unitaria.
- Poca experiencia en la fabricación de los elementos.
- Disponibilidad reducida de maquinaria específica.

Compra de las partes:

La compra de partes listas para el uso, son un ahorro de tiempo y en ciertos casos dinero, ya que los constructores cuentan con toda la experiencia en el diseño y construcción de dichos elementos, por lo tanto se tiene una garantía de las partes.

Ventajas:

- Los elementos tienen garantía por parte del fabricante.
- El costo es inferior debido a la construcción en serie de los elementos.

Desventajas:

- No siempre se encuentra elementos para la capacidad especificada, por lo que toca comprar para una capacidad mayor.
- Sobreprecio debido a la capacidad mayor a lo requerido.
- Poca disponibilidad en el mercado.

Los criterios considerados serán:

- **Costo:** Costo de la construcción de la prensa.
- **Tiempo de construcción:** Tiempo que toma fabricar la prensa.
- **Tiempo de ensamble:** Tiempo requerido para ensamblar las diferentes partes de la prensa.
- **Facilidad de ensamble:** Cantidad de subprocesos (soldadura, taladrado, etc) requeridos para el ensamble de la prensa.
- **Peso:** Peso total de la prensa.
- **Movilidad:** Facilidad para movilizar el equipo.

Tabla 2. 12: Ponderación de diseño para Construcción de Prensa

	Criterio	1	2	3	4	5	6	7	SUM	Pond.
1	Costo		1/2	1/2	1	1	1	1	5	0.24
2	Tiempo Construcción	1/2		1/2	1	1	1	1	5	0.24
3	Tiempo de Ensamble	1/2	1/2		1	1	1	1	5	0.24
4	Facilidad de Ensamble	0	0	0		1/2	1/2	1	2	0.10
5	Peso	0	0	0	1/2		1/2	1	2	0.10
6	Movilidad	0	0	0	1/2	1/2		1	2	0.10
	SUM=								21	1.00

Código de valores

Mayor	1
Igual	1/2
Menor	0

Tabla 2. 13: Matriz de decisión para construcción de la prensa

	Criterios	Ponderación	Construcción Partes		Compra Partes	
			F.R.	Valor	F.R.	Valor
1	Costo	0.24	6	1.44	7	1.68
2	Tiempo de Construcción	0.24	5	1.20	9	2.16
3	Tiempo de Ensamble	0.24	8	1.92	8	1.92
4	Facilidad de Ensamble	0.10	7	0.70	5	0.50
5	Peso	0.10	6	0.60	6	0.60
6	Movilidad	0.10	5	0.50	5	0.50
	SUM=			6.36		7.36

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO

3.1. Conectores Cilíndricos Huecos

El diseño de los conectores cilíndricos huecos está basado en modelos matemáticos que se utilizan para elementos sometidos a los esfuerzos de tracción. Además se realizó un modelo matemático que simula el funcionamiento del conector cuando este es prensado junto a la varilla, con este modelo se logró determinar el número de prensados que se necesita realizar para cumplir con la especificación que requiere la normativa ACI 318-11; para posteriormente determinar el tamaño adecuado de los conectores en sus diferentes diámetros.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo del diseño de los conectores, se empleó el conector correspondiente a la varilla número 8 (diámetro nominal 8mm).

Ejemplo de cálculo:

Fuerza de falla en la conexión

$$d_v := 8 \text{ (mm)} \quad F_{Sn} := 1.25$$

$$S_{yvc} := F_{Sn} 417.21 = 521.512 \quad (\text{MPa}) \quad (3a)$$

$$A_{vc} := \frac{\pi}{4} d_v^2 = 50.265 \quad (\text{mm}^2) \quad (3b)$$

$$F_{fv} := S_{yvc} A_{vc} = 26214.077 \quad (\text{N}) \quad (3c)$$

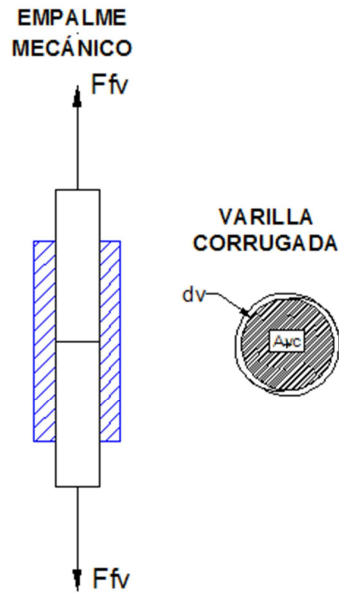


Figura 3. 1: Fuerza de falla del conector

**Área mínima requerida de la sección del conector
Acero AISI 1018**

$$S_{ycc} := 235 \quad (\text{MPa})$$

$$A_s := \frac{F_{fv}}{S_{ycc}} = 111.549 \quad (\text{mm}^2) \quad (3d)$$

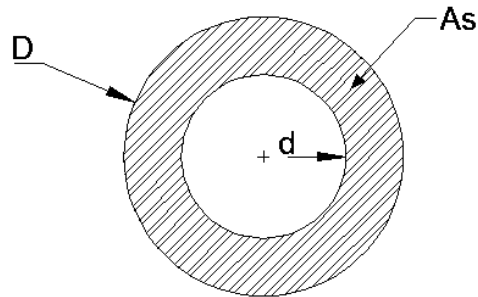


Figura 3. 2: Geometría del conector

Díámetro interior del conector cilíndrico hueco

$$b := 0.4 \quad (\text{mm})$$

$$\Delta d := 1 \quad (\text{mm})$$

$$d_{min} := d_v + b + \Delta d = 9.4 \quad (\text{mm}) \quad (3e)$$

$$d := 9.5$$

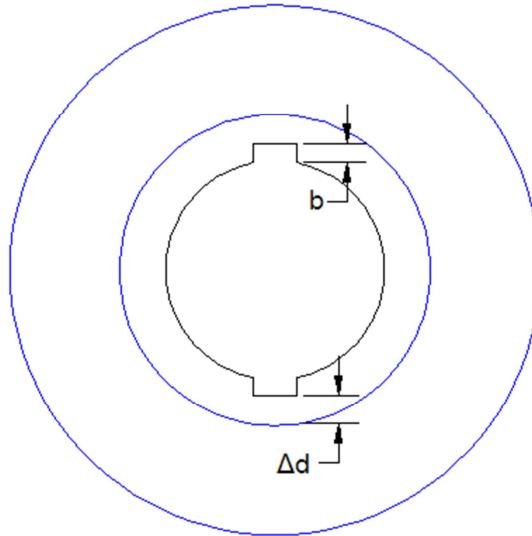


Figura 3. 3: Disposición de la varilla corrugada dentro del conector

Diámetro exterior del conector cilíndrico hueco

$$D_{\min} := \sqrt{d^2 + \frac{4}{\pi} A_s} = 15.241 \quad (\text{mm}) \quad (3f)$$

$$D := 15.875 \quad (\text{mm}) \quad \text{Dimensión estándar: } 5/8 \text{ in}$$

Cálculo de la presión necesaria para deformar el cilindro¹⁷

$$F_{Sp} := 1.5$$

$$r_o := D = 15.875 \quad (\text{mm})$$

$$S_{ycc} = 235 \quad (\text{MPa})$$

$$P_{o1} := \frac{F_{Sp} S_{ycc} (D^2 - d^2) \cdot r_o^2}{D^2 (r_o^2 - d^2)} = 352.5 \quad (\text{MPa}) \quad (3g)$$

$$P_{o2} := \frac{F_{Sp} S_{ycc} (D^2 - d^2) \cdot r_o^2}{D^2 (r_o^2 + d^2)} = 166.603 \quad (\text{MPa}) \quad (3h)$$

¹⁷ S. Timoshenko: Resistencia de Materiales – Tomo II. Primera edición. España, ESPASA-CALPE S. A., 1957, pp 392. Fórmula (a)

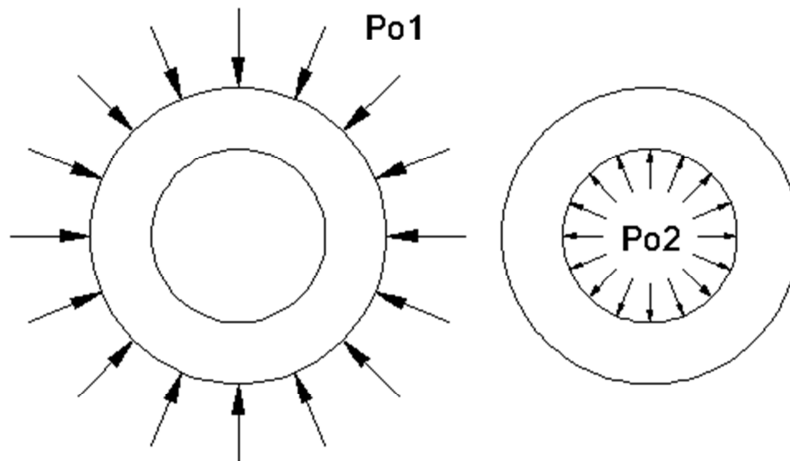


Figura 3. 4: Presiones de deformación sobre cilindros

Longitud del conector: Esta longitud es un aproximado; la longitud real del conector fue determinada mediante experimentación.¹⁸

$$\mu_e := 0.18$$

$$FS1 := 1.5$$

$$L_{cmin} := 2 \frac{F_{fv}}{2 \pi \cdot \frac{d}{2} \mu_e \cdot P_{o1}} \cdot FS1 = 41.529 \quad (\text{mm}) \quad (3i)$$

$$L_c := L_{cmin} + 20 = 61.529 \quad (\text{mm}) \quad (3j)$$

$$L_{cReal} := 60 \quad (\text{mm})$$

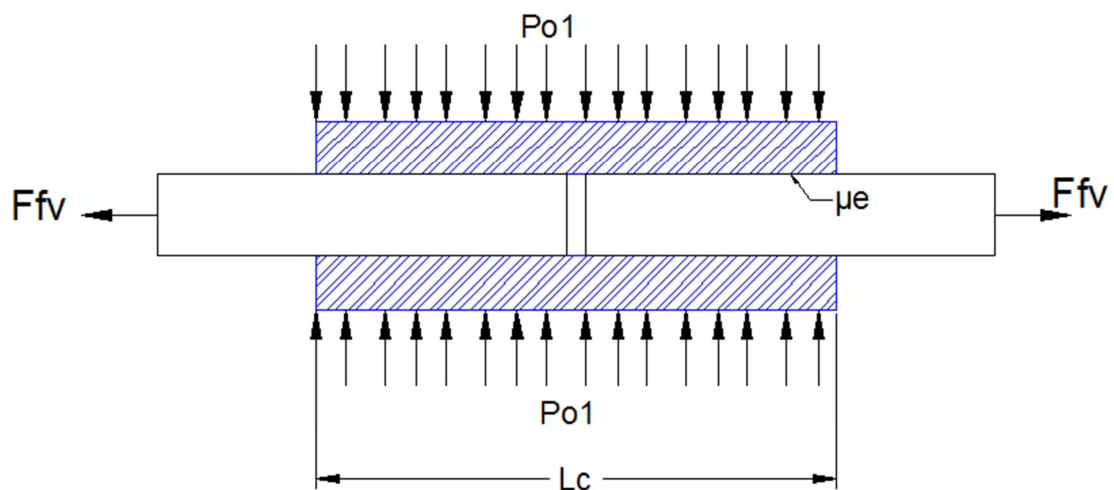


Figura 3. 5: Longitud del conector

¹⁸ Referirse al anexo I

Tabla 3. 1: Diámetros internos conectores

Diámetro de la Varilla (mm)	b: Altura del corrugado (mm)	Δ : Holgura (mm)	Sum (mm)	Diámetro Interno del Conector (mm)
8	0.32	1	9.32	9.5
10	0.4	1	11.4	11.5
12	0.48	1	13.48	13.5
14	0.67	1	15.67	15.5
16	0.72	1	17.72	18
18	0.88	1	19.88	20
20	1.01	1	22.01	22
22	1.11	1	24.11	24
32	1.64	1	34.64	35

Tabla 3. 2: Diámetros externos conectores

Diámetro de la varilla mm	Diámetro interno conector mm	Área de la sección mm ²	Diámetro externo conector mm	Diámetro Externo Real Conector mm (pulgadas)
8	9.50	111.55	15.24	15.88 (5/8)
10	11.50	174.30	18.82	19.05 (3/4)
12	13.50	250.99	22.40	22.23 (7/8)
14	15.50	341.62	25.98	25.40 (1)
16	18.00	446.20	29.87	28.58 (1 1/8)
18	20.00	564.72	33.45	34.93 (1 3/8)
20	22.00	697.18	37.04	38.10 (1 1/2)
22	24.00	843.59	40.62	44.45 (1 3/4)
32	35.00	1784.79	59.14	63.50 (2 1/2)

Tabla 3. 3: Longitud conectores

Diámetro de la varilla mm	Longitud efectiva mm	Longitud total de contacto mm	*Número mínimo de prensados	**Número recomendado de prensados	Longitud conector mm	Longitud real conector mm
8	20.76	41.53	4.15	5	61.53	60
10	26.80	53.60	5.36	7	73.60	75
12	32.88	65.75	6.58	8	85.75	85
14	38.98	77.95	7.80	10	97.95	100
16	43.84	87.67	8.77	12	107.67	130
18	49.93	99.86	9.99	15	119.86	150
20	56.04	112.08	11.21	17	132.08	170
22	62.16	124.32	12.43	19	144.32	190
32	90.18	180.35	18.04	24	200.35	230

* El número de aprietes mínimo fue determinado tomando en cuenta la longitud total de contacto dividida para el espesor de la muela que será de 10 mm.

** El número recomendado de aprietes fue determinado luego de los ensayos realizados

3.2. Prensa

3.2.1. Sistema Hidráulico

Al analizar alternativas se pudo seleccionar un método de diseño que consta de la selección de elementos o partes. Dado que en el mercado nacional no existe disponibilidad de cilindros hidráulicos con la capacidad requerida, se optó por la compra de un gato hidráulico de marca Truper con capacidad de 490.33 kN (50 toneladas). Al cual se adaptará el soporte antes mencionado.

El dispositivo seleccionado cuenta con un sistema manual de bombeo, y desplazamiento de hasta 470 mm. Sus dimensiones generales son 200x190x300 mm.

3.2.2. Sistema Mecánico

En el diseño del sistema mecánico se utilizaron 2 métodos de diseño como son el método manual y el de elementos finitos. A su vez se dividió la prensa en 2 elementos fundamentales como son las muelas (que transmitirán la fuerza sobre los conectores para su deformación) y el soporte de la prensa.

A continuación se detallará el diseño de cada uno de los elementos antes mencionados:

3.2.2.1. Muelas

El diseño de las muelas fue realizado con ayuda de los programas de computador: Mathcad y Excel. Se partió de la concepción gráfica del elemento de donde se obtuvieron datos necesarios durante el cálculo. También se optó por evaluar mediante ensayos la eficiencia de la muela variando material y espesor.

Se presenta un ejemplo de cálculo para la muela correspondiente a los conectores 8 y 10.

Ejemplo de cálculo:

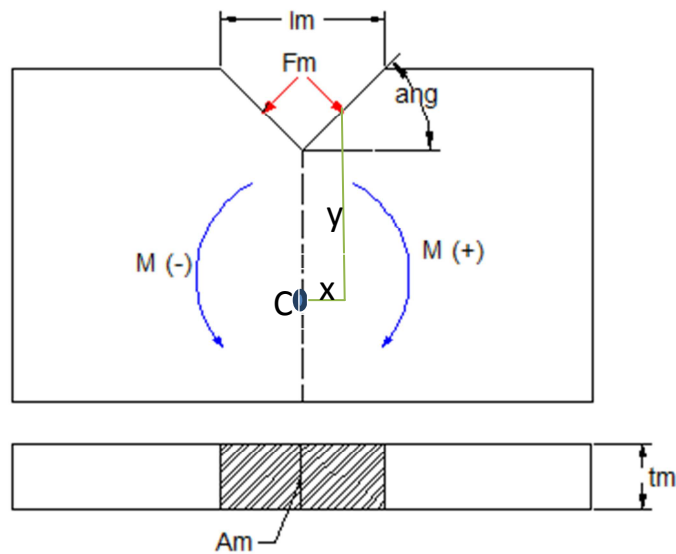


Figura 3. 6: Muela para conector.

DISEÑO DE MUELAS

$l_m := 18.78$ (mm)

$ang := 45$ (Grados)

$t_m := 10$ (mm)

Carga sobre las muelas

$FS2 := 1.2$

$$A_m := \frac{l_m}{\cos\left(\text{ang} \frac{\pi}{180}\right)} t_m = 265.589 \quad (\text{mm}^2) \quad (3k)$$

$F_m := P_{o1} \cdot A_m = 93620.231$ (N) Carga Total (3l)

$F_{mreal} := FS2 \cdot F_m = 112344.277$ (N) Carga de deformación (3m)

Dientes de muela

$F_{mi} := \frac{F_{mreal}}{2} = 56172.138$ (N) Carga/diente (3n)

Aplastamiento

$A_a := t_m l_m = 187.8$ (mm²) (3ñ)

$\sigma_a := \frac{F_{mi}}{A_a} = 299.106$ (MPa) (3o)

Tracción

$$h1 := 35.61 \quad (\text{mm})$$

$$A_{mc} := (h1) \cdot t_m = 356.1 \quad (\text{mm}^2) \quad (3p)$$

$$\sigma_t := \frac{F_{mi} \sin\left(\text{ang} \frac{\pi}{180}\right)}{A_{mc}} = 111.541 \quad (\text{MPa}) \quad (3q)$$

Flexión

$$x := 5.30 \quad (\text{mm})$$

$$y := 18.84 \quad (\text{mm})$$

$$M_x := F_{mi} \cos\left(\text{ang} \frac{\pi}{180}\right) \cdot x = 210514.41 \quad (\text{N mm}) \quad (3r)$$

$$M_y := F_{mi} \sin\left(\text{ang} \frac{\pi}{180}\right) \cdot y = 748319.148 \quad (\text{N mm}) \quad (3s)$$

$$M := \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = 777365.978 \quad (\text{N mm}) \quad (3t)$$

$$C := 17.80 \quad (\text{mm})$$

$$I := 649187.4 \quad (\text{mm}^4)$$

$$\sigma_f := \frac{M \cdot C}{I} = 21.315 \quad (\text{MPa}) \quad (3u)$$

Esfuerzo Total:

$$\sigma_{\max} := \sigma_t + \sigma_f = 132.855 \quad (\text{MPa}) \quad (3v)$$

Tabla 3. 4: Fuerzas de deformación

Conector	Longitud Muelas mm	Angulo muela Grados	Espesor Muelas mm	Fuerza de Deformación Total kN	Fuerza Real Aplicada kN
8	18.78	45	10	93.62	112.34
10	18.78	45	10	93.62	112.34
12	26.11	45	10	130.16	156.19
14	26.11	45	10	130.16	156.19
16	36.43	45	10	181.61	217.93
18	36.43	45	10	181.61	217.93
20	43.62	45	10	217.45	260.94
22	43.62	45	10	217.45	260.94
32	70	30	10	284.92	341.91

Tabla 3. 5: Esfuerzos aplicados muelas

Conector	Fuerza en puntos de apoyo kN	Área de Aplastamiento mm ²	Esfuerzo de Aplastamiento MPa	Esfuerzo de tracción MPa	Momento Total N.m	Esfuerzo a Flexión MPa	Esfuerzo Máximo MPa
8	56.17	187.80	299.11	111.54	777.36	21.31	132.86
10	56.17	187.80	299.11	111.54	744.65	20.42	113.39
12	78.09	261.10	299.11	172.89	1083.89	27.78	175.11
14	78.09	261.10	299.11	172.89	1174.44	30.10	175.49
16	108.96	364.30	299.11	287.61	1500.46	34.65	289.69
18	108.96	364.30	299.11	287.61	1615.55	37.31	290.01
20	130.47	436.20	299.11	397.83	1873.92	39.82	399.82
22	130.47	436.20	299.11	397.83	2030.06	43.14	400.16
32	170.95	700.00	244.22	341.91	2457.73	67.07	348.42

El material elegido para la construcción de las muelas de presión es el acero AISI 4140, que es un acero bonificado con aleación de cromo – molibdeno de alta resistencia a la tracción. A este elemento se lo someterá a un tratamiento térmico de templado y revenido para alcanzar una dureza de 52 HRC.

Con sus propiedades nos garantiza el correcto funcionamiento de este elemento.

3.2.2.2. Soporte

Se aplicó el método manual, para calcular la estructura que soportara el resto de elementos como son el sistema hidráulico y las muelas. Al tener ya la fuerza máxima de 341.91 kN para deformar el cilindro correspondiente a la varilla de 32mm. Tomando en cuenta que en el mercado no existe un cilindro con esta capacidad se opto por tomar la inmediata superior que es un cilindro con capacidad de 490.33 kN (50 Ton).

Cálculos del soporte:

Columnas:

Tracción estructura:

$$P := 122583.13 \quad (\text{N}) \quad (3w)$$

$$\sigma_{fl} := 248.21 \quad (\text{MPa})$$

$$FS3 := 1.5$$

$$\sigma_{adm} := \frac{\sigma_{fl}}{FS3} = 165.47 \quad (\text{MPa}) \quad (3x)$$

$$A_r := \frac{P}{\sigma_{adm}} = 740.8 \quad (\text{mm}^2) \quad (3y)$$

$$a := \sqrt{A_r} = 27.22 \quad (\text{mm}) \quad (3z)$$

Vigas:

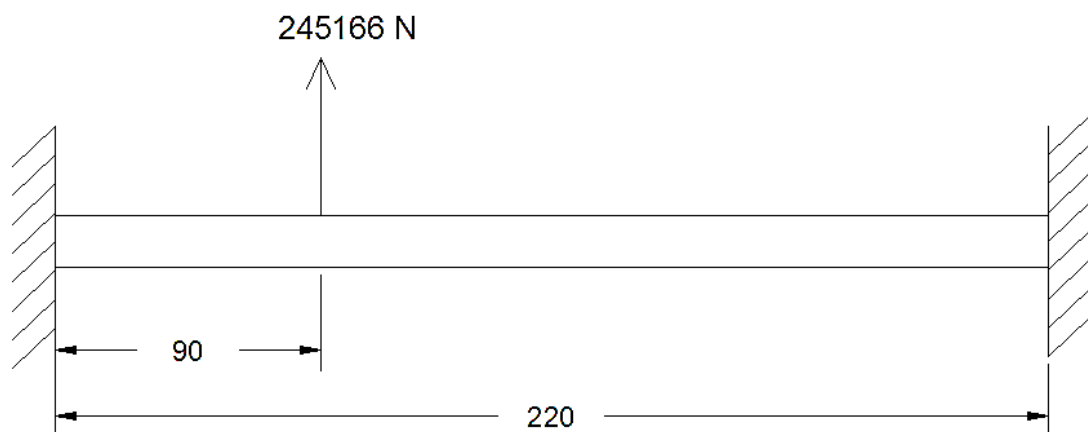


Figura 3. 7: Viga soporte

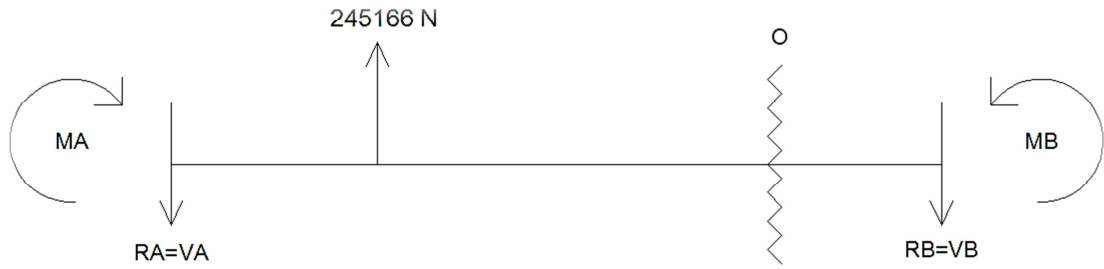


Figura 3. 8 Reacciones de viga soporte

$$\sum Fy = 0 \quad \uparrow +$$

$$245166 = V_A + V_B$$

$$\sum M = 0$$

$$V_B * 220 + M_A = 245166 * 90 + M_B$$

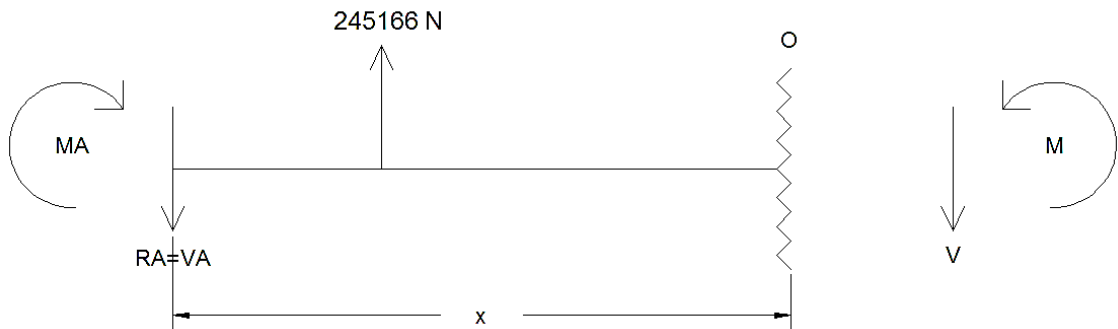


Figura 3. 9: Momentos de viga soporte

$$\sum M = 0$$

$$M = M_A + 245166 * (x - 90) - V_A * x$$

$$EI \frac{d^2 \delta}{dx^2} = M = M_A + 245166 * (x - 90) - V_A * x$$

$$EI \theta = M_A * x + \frac{245166 * (x - 90)^2}{2} - \frac{V_A * x^2}{2} + C1$$

$$EI \delta = \frac{M_A * x^2}{2} + \frac{245166 * (x - 90)^3}{6} - \frac{V_A * x^3}{6} + C1 * x + C2$$

C.B.1: **x=0** **δ=0**

$$EI\theta = \frac{M_A * 0}{2} + \frac{245166 * (0 - 90)^3}{6} - \frac{V_A * 0}{6} + C1 * 0 + C2$$

$$C2 = 0$$

C.B.2: **x=0** **θ=0**

$$EI\theta = M_A * 0 + \frac{245166 * (0 - 90)^2}{2} - \frac{V_A * 0^2}{2} + C1$$

$$C1 = 0$$

C.B.3: **x=220** **δ=0**

$$EI\theta = \frac{M_A * 220^2}{2} + \frac{245166 * (220 - 90)^3}{6} - \frac{V_A * 220^3}{6}$$

$$M_A = 73.33 * V_A - 3709570.95$$

C.B.4: **x=220** **θ=0**

$$EI\theta = M_A * 220 + \frac{245166 * (220 - 90)^2}{2} - \frac{V_A * 220^2}{2}$$

$$M_A = 110 * V_A - 960227,27$$

$$73.33V_A - 3709570.95 = 110 * V_A - 9416603.18$$

$$V_A = 155.63 \text{ kN}$$

$$M_A = 7703.48 \text{ kN} * \text{mm}$$

$$V_B = 89.53 \text{ kN}$$

$$M_B = 5335.54 \text{ kN} * \text{mm}$$

$\sigma_{fl} := 248.2$ (MPa) Acero A36

Esfuerzo a cortante

$$V_a := 155632.52 \text{ (N)}$$

$$a := 30 \text{ (mm)}$$

$$\tau := \frac{V_a}{a a} = 172.93 \text{ (MPa)} \quad (3aa)$$

$$FS4 := \frac{\sigma_{fl}}{\tau} = 1.44 \quad (3ab)$$

Esfuerzo a flexión

$$M_a := 7703480.52 \quad (\text{N mm})$$

$$b := 19.05 \quad (\text{mm})$$

$$h := 115 \quad (\text{mm})$$

$$I := \frac{1}{12} b h^3 = 2.41 \times 10^6 \quad (\text{mm}^4) \quad (3ac)$$

$$\sigma := \frac{M_a \frac{h}{2}}{I} = 183.46 \quad (\text{MPa}) \quad (3ad)$$

$$FS5 := \frac{\sigma_{fl}}{\sigma} = 1.35 \quad (3ae)$$

Soldadura:

$$E7018: \sigma_{fls} := 482.63 \quad (\text{MPa})$$

$$\sigma_{adms} := \frac{\sigma_{fls}}{FS3} = 321.75 \quad (\text{MPa}) \quad (3af)$$

$$V_A := 155632.52 \quad (\text{N})$$

$$A_s := \frac{V_A}{\sigma_{adms}} = 483.7 \quad (\text{mm}^2) \quad (3ag)$$

$$L_s := 160 \quad (\text{mm})$$

$$t_s := \frac{A_s}{0.707 \cdot L_s} = 4.28 \quad (\text{mm}) \quad (3ah)$$

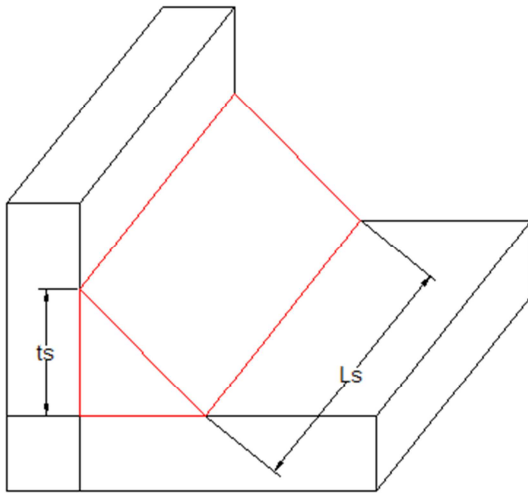


Figura 3. 10: Cordón de soldadura.

CAPÍTULO 4

4. CONSTRUCCIÓN

4.1. Conectores Cilíndricos Huecos

El proceso de construcción correspondiente a los conectores cilíndricos huecos consta de 2 partes importantes:

- **Adquisición del Material:** El material es un acero de transmisión AISI 1018 como se detallo en capítulos anteriores. El proveedor fue Aceros y Bronces ubicado en la Urb. Aurelio Naranjo Lote 5 y Avenida General Enríquez, Sangolquí – Ecuador. Las longitudes y diámetros correspondientes se pueden encontrar en las tablas 3.2 y 3.3.
- **Manufactura:** La manufactura de los conectores cilíndricos huecos es realizada según planos detallados en el Anexo A. Estos planos son realizados según las dimensiones ubicadas en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3. El proceso de fabricación comienza con el corte de la barra de acero AISI 1018 a la longitud requerida; posterior a esto se realiza los agujeros pasantes por medio de taladro de banco o un torno.

Tabla 4. 1: Resumen de construcción de los Conectores Cilíndricos Huecos

Conector Cilíndrico Hueco	Número de brocas	Velocidad Torno RPM	Tiempo de Fabricación Min.
8	1	320	15
10	1	320	15
12	2	320	30
14	2	260	30
16	2	260	40
18	2	180	40
20	2	180	50
22	3	160	50
32	3	160	120

4.2. Prensa

4.2.1. Sistema Hidráulico

Se adquirió un gato hidráulico como el especificado en la sección 3.2.1. El lugar de compra de este producto fue Kywi Supercentro Ferretero ubicado en Avenida General Enríquez S/N y calle E C.C., Sangolquí-Ecuador.

4.2.2. Sistema Mecánico

4.2.2.1. Muelas

La fabricación de las muelas y sus respectivo acople fue realizada según especificaciones de diseño, que pueden ser encontradas en los planos de fabricación del Anexo B. El equipo utilizado es una fresa vertical, con acoples que nos permitan lograr el ángulo requerido.

- **Muelas:** el material es un acero AISI 4140. Para realizar el maquinado se debe tener a la mano un refrigerante, y una correcta lubricación. En cuanto a las perforaciones estas deben realizarse a bajas revoluciones para no tener un calentamiento excesivo. Posterior a la manufactura del elemento se procede a realizar un tratamiento térmico de temple al aceite ente temperaturas de 830 y 860°C; para luego culminar con un revenido que alcanza temperaturas entre 500 y 550°C.
- **Acople para muelas:** el material empleado en este elemento es un acero bonificado 705, el cual debe maquinarse con widia para optimizar el tiempo de fabricación. Al igual que las muelas de deber tener a la mano refrigerante y mucha lubricación especialmente al momento de realizar las perforaciones.

4.2.2.2. Soporte

El soporte de la prensa es fabricado de acero A36. El método de fabricación es básicamente ensamblaje. Se obtienen las piezas del soporte a medida por medio del proceso de corte por plasma, para luego juntarlas por soldadura. El diseño como se explico anteriormente es a base de 490.33 kN (50 Ton), valor obtenido de la máxima capacidad del cilindro hidráulico que se tiene a disposición.

El montaje fue realizado siguiendo los planos de anexo D, con dicho procedimiento se asegura el correcto funcionamiento de la prensa y todos sus componentes.

CAPÍTULO 5

5. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Pruebas de Funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento fueron realizadas en las instalaciones de la empresa “Sermetal”, bajo la supervisión del señor tecnólogo Marco Vinicio Páez Jurado. La prueba de funcionamiento consistió en la ejecución de los aprietes necesarios en cada uno de los diámetros requeridos. Referirse al anexo F de este documento el cual explica el procedimiento a seguir para realizar los empalmes en los diferentes diámetros de varilla. Se comenzó probando las varillas de menor diámetro (8, 10, 12 y 14 mm), al no presentarse ninguna novedad en el funcionamiento del sistema hidráulico móvil se prosiguió a ejecutar el mismo procedimiento al resto de varillas, las cuales no mostraron ningún tipo de novedad.

El sistema hidráulico móvil diseñado y probado en este documento puede ser utilizado en laboratorios y/o en obra, siempre y cuando la posición de funcionamiento sea de varillas horizontales. Por lo que es recomendable hacer un pre-montaje de columnas o vigas a nivel de piso. Se puede revisar el anexo H para un mejor entendimiento del funcionamiento de este sistema, aquí se podrá observar fotografías y videos (en el medio digital adjunto) del procedimiento.

5.2. Ensayos de Tracción

5.2.1. Traslape de varillas por amarre utilizando la norma ACI 318 – 11

El traslape de varillas dentro de la industria de la construcción, no solo a nivel local sino también internacional, es el método más utilizado para la unión de varillas. Para realizar el empalme por traslape se debe seguir la norma ACI 318-11, la cual exige una longitud mínima de 300 mm de empalme.

Siguiendo las secciones 12.2.1 y 12.2.2 de la normativa antes mencionada se determino las longitudes de empalme que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. 1: Longitudes de desarrollo en varillas a tracción.

Diámetro varilla corrugada (mm)	Longitud de desarrollo (mm)
8	300
10	300
12	300
14	350
16	400
18	470
20	580
22	700

Al momento de realizar los ensayos de tracción y comparar los datos con la experiencia de profesionales involucrados en el campo de la construcción, se llego a determinar que la fuerza que resiste el traslape es minima; los valores oscilan entre 980 N y 1700 N. Al obtener estos valores se determina que el factor de seguridad de este método es menor a 1. El rango de resistencia obtenido es sumamente amplio, el motivo se debe a que este proceso es completamente manual.

5.2.2. *Empalme mecánico de varillas por soldadura según la norma AWS D1.4*

El estudio realizado en la Escuela Politécnica del Ejército en el año 2009, por parte de los estudiantes del curso de Mecánica de Materiales II¹⁹, se determinó que el procedimiento de soldadura que mayores beneficios presenta es: la junta a tope indirecta con dos varillas de refuerzo. Este procedimiento se encuentra especificado en la norma AWS D1.4-2011 sección 3 (Detalles estructurales). Es por esto que el estudio realizado toma en cuenta este método.

Como resultado se obtuvo que la falla siempre se dio en la varilla sin importar el diámetro de la misma. Es importante indicar que el resto de procedimientos de soldadura indicados en la norma AWS D1.4 dan el mismo resultado. Es de suma importancia ejecutar el procedimiento como se indica en la norma, y tomar en cuenta el precalentamiento requerido. Además se tiene que considerar la habilidad del soldador.

5.2.3. *Empalme mecánico de varillas por roscado mediante la norma ACI 318 - 11*

Dado el elevado costo producción y ejecución de ese método de empalme mecánico de varillas, y la no disponibilidad de material en el medio ecuatoriano de la construcción; no fue posible ejecutar ensayos de laboratorio para comprobar las resistencias capaces de alcanzar. En caso de requerirse en alguna obra el material debe ser importado lo cual tomará tiempo en llegar a sitio, y los costos se inflarán considerablemente.

Según la normativa ACI 318-11 y bibliografía especializada, este tipo de empalme es capaz de resistir el 25% más de la fluencia de la varilla.

¹⁹ Referirse al anexo J

5.2.4. Empalme mecánico de varillas utilizando Conectores cilíndricos huecos

Las pruebas fueron realizadas en las instalaciones del laboratorio de resistencia de materiales de la Escuela Politécnica del Ejército. El procedimiento a seguir fue dividido en 2 partes: la primera parte se realizó los aprietes en los cilindros y posteriormente se realizó el ensayo de tracción en cada una de las probetas.

Antes de ejecutar los ensayos definitivos se vio la obligación de ejecutar pruebas para determinar la validez de la teoría y el método de apriete que se deberá utilizar para un funcionamiento correcto del empalme. Se realizaron 15 ensayos de prueba divididos entre todos los diámetros, con los resultados obtenidos se pudo corregir fallas causadas por la no uniformidad de la composición molecular del material.

Una vez obtenidos los resultados determinados anteriormente por los cálculos de diseño, se procedió a ejecutar ensayos definitivos para confirmar la validez de los datos antes obtenidos. Con los conectores puestos a prueba se logró cumplir a cabalidad la norma que rige los diferentes métodos de empalme (ACI 318-11). Los conectores fueron capaces de cumplir y sobrepasar el 25% más de la resistencia a la fluencia del material de refuerzo (ASTM A-42), inclusive llegando a la falla de la varilla corrugada. Los valores mínimos requeridos por la norma son:

Tabla 5. 2: Fuerza mínima requerida por la norma ACI 318-11

Diámetro Varilla	Fuerza de fluencia A-42 (kN)	1.25 Fy (kN)
8	20.97	26.2
10	32.77	41.0
12	47.19	59.0
14	64.22	80.3
16	83.89	104.9
18	106.17	132.7
20	131.07	163.8
22	158.59	198.2
32	335.54	419.4

Al realizar las pruebas se midieron ciertas variables como fuerza en los aprietes y fuerza en los ensayos destructivos de tracción. En las pruebas de funcionamiento de la prensa hidráulica se midió la presión dentro del gato hidráulico para luego esta transformarla en fuerza valiéndose de la curva de calibración de la prensa, la cual se la puede encontrar en el Anexo F.

El procedimiento realizado en cada junta fue el siguiente:

1. Cerrar la válvula de alivio de presión ubicada en la parte inferior frontal del gato hidráulico.



Figura 5. 1: Prensa hidráulica

2. Marcar hasta que punto las varillas van a ingresar en el conector.
Referirse al Anexo F.



Figura 5. 2: Marcas de ingreso

3. Colocar el conector entre las muelas.



Figura 5. 3: Posicionamiento de conector con varillas en la prensa.

4. Proceder a bombear el gato hidráulico hasta que el cilindro suba y las muelas hagan contacto con el conector.
5. Bombear constantemente el gato hidráulico mientras se revisa en el manómetro como incrementa la presión, hasta llegar a la presión de deformación. Referirse al Anexo F.



Figura 5. 4: Manómetro

6. Abrir la válvula de alivio de presión y se procede a remover el conector de las muelas.



Figura 5. 5: Alivio de presión

7. Repetir el mismo procedimiento hasta conseguir los aprietes necesarios de acuerdo al diámetro. Referirse al Anexo F.



Figura 5. 6: Número total de aprietes.

8. Colocar el empalme mecánico en la máquina de ensayos universales.



Figura 5. 7: Ensayo de tracción en máquina de ensayos universales

9. Aplicar carga hasta que la junta falle.



Figura 5. 8: Fallo del empalme.

10. Tomar datos.

A continuación se muestran los datos obtenidos luego de los ensayos realizados:

Tabla 5. 3: Ensayos de tracción en Conectores Cilíndricos Huecos.

Diámetro Varilla	Número de Aprietes	Fuerza Apriete (kN)	Presión de Apriete (MPa)	Fuerza Mínima Tracción (kN)	Ensayo 1 (kN)	Observaciones Ensayo 1	Ensayo 2 (kN)	Observaciones Ensayo 2	Ensayo 3 (kN)	Observaciones Ensayo 3	Ensayo 4 (kN)	Observaciones Ensayo 4
8	5	97.80	14.48	26.41	33.40	Se rompe la Varilla	33.20	Se rompe la Varilla	33.59	Se rompe la Varilla	28.90	Desgarro en Dientes
10	7	117.36	17.92	41.08	51.98	Desgarro en Dientes	46.31	Desgarro en Dientes	48.07	Desgarro en Dientes	52.27	Se rompe la Varilla
12	8	136.92	19.30	58.68	46.90	Desgarro en Dientes	59.51	Desgarro en Dientes	66.50	Desgarro en Dientes	70.91	Desgarro en Dientes
14	10	146.7	22.06	80.20	92.67	Se rompe la Varilla	91.69	Presenta inicio Encuella miento en Varilla	90.71	Desgarro en Dientes	88.75	Desgarro en Dientes
16	12	185.82	28.27	104.65	110.76	Desgarro en Dientes	107.58	Desgarro en Dientes	119.81	Desgarro en Dientes	118.83	Se rompe la Varilla
18	15	224.94	35.85	132.03	122.25	Desgarro en Dientes	133.74	Desgarro en Dientes	136.92	Desgarro en Dientes	135.21	Desgarro en Dientes
20	17	244.5	38.61	163.33	154.04	Desgarro en Dientes	168.22	Desgarro en Dientes	177.26	Desgarro en Dientes	187.04	Desgarro en Dientes
22	19	273.84	42.74	197.56	210.49	Desgarro en Dientes	211.96	Desgarro en Dientes	217.71	Desgarro en Dientes	245.48	Se rompe la Varilla

Nota: Los valores presentados en color rojo son aquellos que no cumplieron con el requerimiento mínimo contemplado por la norma ACI 318-11.

CAPÍTULO 6

6. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

Para el análisis económico y posteriormente el análisis financiero se tomaron en cuenta datos actuales de los salarios del personal requerido en cada uno de los métodos de unión, costo de la energía eléctrica para el área industrial de nuestro país, y el costo real de los materias primas y equipos utilizados en los 3 procesos.

6.1. Análisis Económico

Los salarios están basados en las tablas elaboradas por parte de la Contraloría General del Estado Ecuatoriano.²⁰ El personal responsable en cada proceso de unión entre varillas varía, por lo que los costos no son iguales. Es por eso que las tablas detalladas a continuación tienen datos según el proceso.

Tabla 6. 1: Salario del personal requerido en el proceso de Conectores Cilíndricos Huecos.

Mano de obra	Salario Mensual (USD)
Ayudante	292
Operador	310.98

Tabla 6. 2: Salario del personal requerido en el proceso de Traslape.

Mano de obra	Salario Mensual (USD)
Supervisor	322.66
Albañil	295.09
Oficial	292

²⁰ http://www.construccion.net/Contraloria_General.html

Tabla 6. 3: Salario del personal requerido en el proceso de Soldadura.

Mano de obra	Salario Mensual (USD)
Soldador	300
Ayudante	292
Operario	310.18

A partir de estos salarios mensuales, se procedió a determinar el costo por unión tomando en cuenta el tiempo empleado en ejecutar una conexión completa.

Tabla 6. 4: Tiempo de Ejecución Conectores Cilíndricos Huecos

Tiempo\Diámetro Varilla	8	10	12	14	16	18	20	22
Tiempo de ejecución (Minutos)	3	5	6	9	10	14	16	18

Tabla 6. 5: Tiempo de Ejecución Traslape

Tiempo\Diámetro Varilla	8	10	12	14	16	18	20	22
Tiempo de ejecución (Minutos)	8	8	9	10	12	14	17	20

Tabla 6. 6: Tiempo de Ejecución Soldadura

Tiempo\Diámetro Varilla	8	10	12	14	16	18	20	22
Pre calentamiento	0	0	0	5	5	5	7	7
Soldadura	4	6	6	7	8	7	8	8
TOTAL (Minutos)	4	6	6	12	13	12	15	15

El material empleado en los diferentes métodos será desglosado a continuación. Los precios de los mismos fueron obtenidos a partir de los distintos centros de distribución ubicados en la zona urbana de Quito y los Valles

Tabla 6. 7: Materiales para Conectores Cilíndricos Huecos

		8				10				12				14				
Material	Precio Unitario		Cant.		Total		Cant.		Total		Cant.		Total		Cant.		Total	
	AISI 1018	3	usd/kg	0.1	kg	0.3	usd	0.16	kg	0.49	usd	0.26	kg	0.78	usd	0.4	kg	1.2
TOTAL					0.3	usd			0.49	usd			0.78	usd			1.2	usd

		16				18				20				22				
Material	Precio Unitario		Cant.		Total		Cant.		Total		Cant.		Total		Cant.		Total	
	AISI 1018	3	usd/kg	0.57	kg	1.71	usd	0.63	kg	1.89	usd	0.98	kg	2.94	usd	1.76	kg	5.28
TOTAL					1.71	usd			1.89	usd			2.94	usd			5.28	usd

Tabla 6. 8: Materiales para Traslape

		8				10				12				14				
Material	Precio Unitario		Cant.		Total		Cant.		Total		Cant.		Total		Cant.		Total	
Alambre Galvanizado	1.37	usd/kg	0.30	kg	0.41	usd	0.30	kg	0.41	usd	0.34	kg	0.47	usd	0.40	kg	0.55	usd
TOTAL					0.41	usd			0.41	usd			0.47	usd			0.55	usd

		16				18				20				22				
Material	Precio Unitario		Cant.		Total		Cant.		Total		Cant.		Total		Cant.		Total	
Alambre Galvanizado	1.37	usd/kg	0.54	kg	0.74	usd	0.57	kg	0.78	usd	0.62	kg	0.85	usd	0.68	kg	0.93	usd
TOTAL					0.74	usd			0.78	usd			0.85	usd			0.93	usd

Tabla 6. 9: Materiales para Soldadura

		8				10				12				14										
Material	Precio Unitario		Cant.		Total		Cant.		Total		Cant.		Total		Cant.		Total							
	Electrodo E6011	2.50	usd/kg	0.06	kg	0.15	usd	0.06	kg	0.15	usd	0.06	kg	0.15	usd	0.08	kg	0.20	usd					
Electrodo E7018	3.00	usd/kg	0.06	kg	0.18	usd	0.06	kg	0.18	usd	0.09	kg	0.27	usd	0.10	kg	0.30	usd						
TOTAL					0.33	usd					0.33	usd					0.42	usd					0.50	usd

		16				18				20				22										
Material	Precio Unitario		Cant.		Total		Cant.		Total		Cant.		Total		Cant.		Total							
	Electrodo E6011	2.50	usd/kg	0.10	kg	0.25	usd	0.14	kg	0.35	usd	0.17	kg	0.43	usd	0.20	kg	0.50	usd					
Electrodo E7018	3.00	usd/kg	0.13	kg	0.39	usd	0.15	kg	0.45	usd	0.20	kg	0.60	usd	0.25	kg	0.75	usd						
TOTAL					0.64	usd					0.80	usd					1.03	usd					1.25	usd

El análisis realizado toma en cuenta los costos involucrados en una unión, por lo que todos los precios mostrados se encuentran en USD/Unión. Las tablas detalladas a continuación toman en cuenta todos los requerimientos de material y manufactura de los elementos y procesos empleados.

Tabla 6. 10: Análisis económico Conectores Cilíndricos Huecos

1. Sistema	Diámetros de Varilla Corrugada							
Conectores Cilíndricos Huecos	8	10	12	14	16	18	20	22
Materiales AISI 1018	\$ 0.30	\$ 0.49	\$ 0.79	\$ 1.20	\$ 1.70	\$ 2.80	\$ 2.94	\$ 5.28
Maquinado	\$ 0.80	\$ 1.20	\$ 2.00	\$ 2.40	\$ 3.20	\$ 6.00	\$ 10.00	\$ 10.00
TOTAL (USD/Unión)	\$ 1.10	\$ 1.69	\$ 2.79	\$ 3.60	\$ 4.90	\$ 8.80	\$ 12.94	\$ 15.28
2. Mano de obra								
Ayudante	\$ 0.06	\$ 0.08	\$ 0.08	\$ 0.11	\$ 0.11	\$ 0.14	\$ 0.17	\$ 0.19
Operador	\$ 0.06	\$ 0.09	\$ 0.09	\$ 0.12	\$ 0.12	\$ 0.15	\$ 0.18	\$ 0.21
TOTAL MANO DE OBRA (USD/Unión)	\$ 0.11	\$ 0.17	\$ 0.17	\$ 0.23	\$ 0.23	\$ 0.29	\$ 0.34	\$ 0.40
3. Desperdicio								
Varilla Corrugada (USD/Unión)	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
4. Servicios Básicos								
Luz	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
TOTAL SERVICIOS BÁSICOS (USD/Unión)	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
TOTAL= 1.+2.+3.+4. (USD/Unión)	\$ 1.27	\$ 1.97	\$ 3.13	\$ 4.12	\$ 5.47	\$ 9.60	\$ 13.85	\$ 16.31

Tabla 6. 11: Análisis económico Traslape

1. Sistema								
Traslape	8	10	12	14	16	18	20	22
Materiales (Alambre Galvanizado)	\$ 0,41	\$ 0,41	\$ 0,47	\$ 0,55	\$ 0,74	\$ 0,78	\$ 0,85	\$ 0,93
TOTAL USD/Unión	\$ 0,41	\$ 0,41	\$ 0,47	\$ 0,55	\$ 0,74	\$ 0,78	\$ 0,85	\$ 0,93
2. Mano de obra								
Supervisor	\$ 0,24	\$ 0,24	\$ 0,27	\$ 0,31	\$ 0,37	\$ 0,43	\$ 0,52	\$ 0,61
Albañil	\$ 0,22	\$ 0,22	\$ 0,25	\$ 0,28	\$ 0,34	\$ 0,39	\$ 0,48	\$ 0,56
Oficial	\$ 0,22	\$ 0,22	\$ 0,25	\$ 0,28	\$ 0,33	\$ 0,39	\$ 0,47	\$ 0,55
TOTAL MANO DE OBRA (USD/Unión)	\$ 0,69	\$ 0,69	\$ 0,78	\$ 0,86	\$ 1,03	\$ 1,21	\$ 1,46	\$ 1,72
3. Desperdicio								
Varilla Corrugada (USD/Unión)	\$ 0,24	\$ 0,38	\$ 0,54	\$ 0,86	\$ 1,29	\$ 1,92	\$ 2,92	\$ 4,26
Punto de Soldadura (USD/Unión)	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,60	\$ 0,65	\$ 0,70	\$ 0,80
4. Servicios Básicos								
Luz	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
TOTAL SERVICIOS BÁSICOS (USD/Unión)	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,35	\$ 0,50
TOTAL= 1.+2.+3.+4. (USD/Unión)	\$ 1,34	\$ 1,48	\$ 1,78	\$ 2,27	\$ 3,91	\$ 4,80	\$ 6,28	\$ 8,22

Tabla 6. 12: Análisis económico Soldadura

1. Sistema								
Soldadura	8	10	12	14	16	18	20	22
Materiales	\$ 0,33	\$ 0,33	\$ 0,42	\$ 0,50	\$ 0,64	\$ 0,80	\$ 1,03	\$ 1,25
Precalentamiento (GLP)	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,15	\$ 0,15	\$ 0,15	\$ 0,23	\$ 0,23
Ensayo no destructivo (Radiografía)	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25
TOTAL (USD/Unión)	\$ 0,58	\$ 0,58	\$ 0,67	\$ 0,90	\$ 1,04	\$ 1,20	\$ 1,51	\$ 1,73
2. Mano de obra								
Soldador	\$ 0,11	\$ 0,17	\$ 0,17	\$ 0,34	\$ 0,34	\$ 0,37	\$ 0,43	\$ 0,43
Ayudante	\$ 0,11	\$ 0,17	\$ 0,17	\$ 0,33	\$ 0,33	\$ 0,36	\$ 0,41	\$ 0,41
Operario	\$ 0,12	\$ 0,18	\$ 0,18	\$ 0,35	\$ 0,35	\$ 0,38	\$ 0,44	\$ 0,44
TOTAL MANO DE OBRA (USD/Unión)	\$ 0,34	\$ 0,51	\$ 0,51	\$ 1,03	\$ 1,03	\$ 1,11	\$ 1,28	\$ 1,28
3. Desperdicio								
Varilla Corrugada (USD/unión)	\$ 0,16	\$ 0,25	\$ 0,36	\$ 0,49	\$ 0,64	\$ 0,82	\$ 1,01	\$ 1,22
4. Servicios Básicos								
Luz	\$ 5,30	\$ 7,95	\$ 7,95	\$ 9,28	\$ 9,28	\$ 10,60	\$ 10,60	\$ 10,60
TOTAL SERVICIOS BÁSICOS (USD/Unión)	\$ 5,30	\$ 7,95	\$ 7,95	\$ 9,28	\$ 9,28	\$ 10,60	\$ 10,60	\$ 10,60
TOTAL= 1.+2.+3.+4. (USD/Unión)	\$ 6,38	\$ 9,29	\$ 9,49	\$ 11,69	\$ 11,98	\$ 13,73	\$ 14,39	\$ 14,83

Como se observa de las tablas anteriormente expuestas, el procedimiento de unión de varillas corrugadas por el método en estudio: **empalme mecánico de varillas corrugadas mediante conectores cilíndricos huecos**, tiene una gran ventaja económica tanto para el consumidor como para el constructor.

6.2. Análisis Financiero

El análisis financiero se baso en la capacidad de producción mensual total que el método de **empalme mecánico de varillas corrugadas mediante conectores cilíndricos huecos**. Se considero una producción de 5000 empalmes por obra, este valor fue tomado a partir de la experiencia de profesionales que trabajan en el campo de la construcción. Esta cantidad de empalmes fue utilizada con todos los tipos de empalme para tener valores iguales y así comparar los diferentes métodos.

Es importante detallar que el análisis se baso en uno de los diámetros de varilla corrugada más utilizada en él área inmobiliaria del Ecuador (varilla corrugada de 14 mm de diámetro). Los resultados obtenidos varían según el diámetro, a mayor diámetro de varilla corrugada el beneficio del método en estudio es mayor.

El precio de venta al público se determino tomando en cuenta un aumento del 50% al costo de producción el cual es un porcentaje comúnmente utilizado en las empresas a nivel mundial.

Para realizar el análisis se tomó en cuenta la depreciación de la maquinaria. Cuyo valor esta tomado en cuenta para la obtención de resultados. A continuación se muestra la depreciación de los distintos métodos utilizados.

Tabla 6. 13: Costo prensa para método de unión por conectores cilíndricos huecos.

Prensa	Valor USD
1.1 Mueles	
Material	\$ 33.79
Maquinado	\$ 240.00
1.2 Soporte	
Material	\$ 380.00
Maquinado	\$ 200.00
TOTAL (1.1+1.2)	\$ 853.79

La prensa utilizada en el método de empalme de varillas corrugadas mediante conectores cilíndricos huecos tendrá una vida útil de 4 años.

Tabla 6. 14: Depreciación prensa para método de unión por conectores cilíndricos huecos.

CALCULO DE DEPRECIACION HERRAMIENTAS						
VIDA UTIL	4 AÑOS					
VALOR RESIDUAL	25 %	ANUAL	MENSUAL	DIARIA	HORA	MINUTO
DEPRECIACION		\$ 213	\$ 18	\$ 0.59290972	\$ 0.024704	\$ 0.000412

Tabla 6. 15: Producción mensual de uniones con el método de unión por conectores cilíndricos huecos.

	Unidades	8	10	12	14	16	18	20	22
PRODUCCION CONECTORES POR OBRA	Uniones	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
COSTO DE PRODUCCION MENSUAL	USD	\$6.337	\$9.868	\$15.673	\$20.580	\$27.335	\$47.997	\$54.268	\$69.039
TOTAL COSTO E INVERSION MENSUAL POR TIPO DE PULGADA	USD	\$6.336,5 1	\$9.867,5 1	\$15.673,0 1	\$20.579,5 2	\$27.335,0 2	\$47.997,0 3	\$54.268,0 3	\$69.039,0 3

Tabla 6. 16: Ingresos mensuales generados por uniones con el método de unión por conectores cilíndricos huecos.

	Unidades	8	10	12	14	16	18	20	22
PRODUCCION CONECTORES OBRA	Uniones	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
PRECIO DE VENTA	USD/Unión	\$ 1,90	\$ 2,96	\$ 4,70	\$ 6,17	\$ 8,20	\$ 14,40	\$ 16,28	\$ 20,71
TOTAL INGRESOS	USD	\$ 9,514.02	\$ 14,816.70	\$ 23,528.05	\$ 30,897.07	\$ 41,033.41	\$ 72,038.77	\$ 103,951.45	\$ 122,364.14

Tabla 6. 17: Análisis financiero para uniones con el método de unión por conectores cilíndricos huecos.

CALCULO DE INVERSION POR UNION DE CONECTORES CILÍNDRICOS HUECOS

TIPO VARILLA: 14 MILIMETROS

PRODUCCION : MENSUAL

TEMPORADA BAJA:	AGOSTO- OCTUBRE	10%
TEMPORADA MEDIANA:	MAYO-JULIO	55%
TEMPORADA ALTA:	NOV- ABRIL	100%

MES	INGRESOS USD	GASTOS USD	FNC USD	
0	-	853,79	- 853,79	
1	41.002,53	27.335,02	13.667,51	ENE
2	41.002,53	27.335,02	13.667,51	FEB
3	41.002,53	27.335,02	13.667,51	MAR
4	41.002,53	27.335,02	13.667,51	ABR
5	22.551,39	15.034,26	7.517,13	MAY
6	22.551,39	15.034,26	7.517,13	JUN
7	22.551,39	15.034,26	7.517,13	JUL
8	4.100,25	2.733,50	1.366,75	AGO
9	4.100,25	2.733,50	1.366,75	SEP
10	4.100,25	2.733,50	1.366,75	OCT
11	41.002,53	27.335,02	13.667,51	NOV
12	41.002,53	27.335,02	13.667,51	DIC
Sumatoria	326,215.60	163,619.65		
B/C	1.99			

En toda obra se debe considerar que las herramientas consideradas pequeñas se deben reponer casi a diario, dentro de estas herramientas se encuentran las utilizadas en el método de traslape. Es por esto que para el análisis de herramientas utilizadas se considerara una reposición de 3 herramientas diarias y se tomara en cuenta que cada empleado involucrado en el traslape posee su propia herramienta. Así como también cada mes se deberá reponer todo el stock en bodega, esto dependiendo del uso que se de.

Tabla 6. 18: Costo herramientas para método de unión por traslape.

Herramientas	Valor USD
Alicate	\$ 8.00
Pinza	\$ 4.00
TOTAL	\$ 12.00

Tabla 6. 19: Costo mensual por reposición de herramientas en el método de traslape.

Herramientas	Número de herramientas	Valor por cada obrero USD	Valor total USD
Alicate	66	\$ 528.00	\$ 1,056.00
Pinza	66	\$ 264.00	\$ 528.00
		TOTAL	\$ 1,584.00

Tabla 6. 20: Producción mensual de uniones con el método de unión por traslape.

	Unidades	8	10	12	14	16	18	20	22
PRODUCCION CONECTORES POR OBRA	Uniones	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
COSTO DE PRODUCCION MENSUAL	USD	\$6.708	\$7.383	\$8.922	\$11.362	\$19.558	\$23.761	\$31.410	\$41.079
INVERSION MENSUAL	USD	\$ 1,584.00	\$ 1,584.00	\$ 1,584.00	\$ 1,584.00	\$ 1,584.00	\$ 1,584.00	\$ 1,584.00	\$ 1,584.00
COSTO TOTAL	USD	\$8.292,45	\$8.966,63	\$10.506,49	\$12.945,57	\$21.141,65	\$25.345,45	\$32.993,54	\$42.663,12

Tabla 6. 21: Ingresos mensuales generados por uniones con el método de unión por traslape.

	Unidades	8	10	12	14	16	18	20	22
Producción conectores mensual	Uniones	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Precio de venta	USD/Unión	\$ 2,01	\$ 2,21	\$ 2,68	\$ 3,41	\$ 5,87	\$ 7,13	\$ 9,42	\$ 12,32
Total ingresos	USD	\$ 10.062,67	\$ 11.073,94	\$ 13.383,73	\$ 17.042,35	\$ 29.336,47	\$ 35.642,17	\$ 47.114,31	\$ 61.618,67

Tabla 6. 22: Análisis financiero para uniones con el método de unión por traslape.

CALCULO DE INVERSION POR UNION DE
TRASLAPE

TIPO: 14 MILIMETROS

PRODUCCION : MENSUAL

TEMPORADAS BAJAS	AGOSTO- OCTUBRE	10%
TEMPORADA MEDIANA	MAYO-JULIO	55%
TEMPORADA ALTA	NOV- ABRIL	100%

MES	INGRESOS USD	GASTOS USD	FNC USD	
0	-	1.584,00	- 1.584,00	
1	29.336,47	21.141,65	8.194,82	ENE
2	29.336,47	21.141,65	8.194,82	FEB
3	29.336,47	21.141,65	8.194,82	MAR
4	29.336,47	21.141,65	8.194,82	ABR
5	16.135,06	11.627,91	4.507,15	MAY
6	16.135,06	11.627,91	4.507,15	JUN
7	16.135,06	11.627,91	4.507,15	JUL
8	2.933,65	2.114,16	819,48	AGO
9	2.933,65	2.114,16	819,48	SEP
10	2.933,65	2.114,16	819,48	OCT
11	29.336,47	21.141,65	8.194,82	NOV
12	29.336,47	21.141,65	8.194,82	DIC
Sumatoria	233.224,92	127.376,79		
B/C	1.83			

Para el método de unión de varillas corrugadas por soldadura, la maquinaria necesaria (soldadora) tiene una vida útil de 4 años. Para efectos del estudio se ha considerado una soldadora INVERTEC® V155-S STICK WELDER, una antorcha de tipo industrial y cepillo para ejecutar la limpieza.

Tabla 6. 23: Costo soldadora para método de unión por soldadura.

Herramientas y Equipos	
Soldadora	\$ 983.00
Antorcha	\$ 75.00
Cepillo cerda de acero	\$ 5.00
TOTAL	\$ 1,058.00

Tabla 6. 24: Depreciación soldadora para método de unión por soldadura.

CALCULO DE DEPRECIACION HERRAMIENTAS						
VIDA UTIL	4 AÑOS					
VALOR RESIDUAL	25%	ANUAL	MENSUAL	DIARIA	HORA	MINUTO
DEPRECIACION		\$ 265	\$ 22	\$ 0.734	\$ 0.0306	\$ 0.000510

Tabla 6. 25: Producción mensual de uniones con el método de unión por soldadura.

	Unidades	8	10	12	14	16	18	20	22
PRODUCCION CONECTORES POR OBRA	Uniones	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
COSTO DE PRODUCCION MENSUAL	USD	\$31.914	\$46.471	\$47.474	\$58.466	\$59.921	\$68.628	\$71.963	\$74.145
COSTO TOTAL	USD	\$31.913,63	\$46.470,75	\$47.474,15	\$58.466,19	\$59.920,83	\$68.628,26	\$71.963,47	\$74.144,97

Tabla 6. 26: Ingresos mensuales generados por uniones con el método de unión por soldadura.

	Unidades	8	10	12	14	16	18	20	22
PRODUCCION CONECTORES POR OBRA	Uniones	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
PRECIO DE VENTA	USD/Unión	9,57	13,94	14,24	17,54	17,98	20,59	21,59	22,24
TOTAL INGRESOS	USD	47.870,44	69.706,12	71.211,23	87.699,28	89.881,24	102.942,39	107.945,21	111.217,46

Tabla 6. 27: Análisis financiero para uniones con el método de unión por soldadura.

CALCULO DE INVERSION POR UNION DE SOLDADURA

TIPO: 14 MILIMETROS

PRODUCCION : MENSUAL

TEMPORADAS BAJAS	AGOSTO- OCTUBRE	10%
TEMPORADA MEDIANA	MAYO-JULIO	55%
TEMPORADA ALTA	NOV- ABRIL	100%

MES	INGRESOS USD	GASTOS USD	FNC USD	
0	-	1.058,00	- 1.058,00	
1	89.881,24	59.920,83	29.960,41	ENE
2	30.110,89	20.886,23	9.224,66	FEB
3	30.110,89	20.886,23	9.224,66	MAR
4	30.110,89	20.886,23	9.224,66	ABR
5	49.434,68	32.956,46	16.478,23	MAY
6	16.560,99	11.487,43	5.073,56	JUN
7	16.560,99	11.487,43	5.073,56	JUL
8	8.988,12	5.992,08	2.996,04	AGO
9	3.011,09	2.088,62	922,47	SEP
10	3.011,09	2.088,62	922,47	OCT
11	30.110,89	59.920,83	- 29.809,94	NOV
12	30.110,89	20.886,23	9.224,66	DIC
Sumatoria	338.002,66	189.738,18		
B/C	1.78			

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

1. Tomando en cuenta la norma ACI 318-11, la cual exige que la resistencia a la tracción del método de unión sea mayor en un 25% a la fluencia de la varilla corrugada, el resultado del estudio indica que el método de **empalme mecánico de varillas corrugadas mediante conectores cilíndricos huecos**, cumple satisfactoriamente este requisito superándolo en todos los ensayos realizados, obteniendo un promedio del 42.5% sobre la fluencia de la varilla, sin importar el diámetro. Estos porcentajes van entre el 26% y el 59%.
2. Se comprobó que no existe excentricidad en este tipo de conexión por lo que no se generan momentos flectores. Además de aumentar el volumen de concreto en columnas y vigas aumentando resistencia al elemento.
3. Tomando en cuenta los métodos de conexión de varillas corrugadas más comunes, el ahorro económico es directamente proporcional al diámetro de la varilla. Desde el menor diámetro utilizado en la industria de la construcción ecuatoriana se puede observar una gran diferencia de costo en operación entre procedimientos. Con respecto al método de traslape de varillas la reducción de costo no es considerable teniendo un 6% de ahorro en diámetros pequeños y su valor se incrementa en diámetros mayores. Con el método de empalme de varillas por soldadura esta diferencia va entre el 7% y 67% teniendo la mayor diferencia en las varillas de mayor diámetro.

4. Otro aspecto a considerar es el ahorro en el tiempo, que si bien no se refleja en el costo unitario del empalme, este impactara considerablemente al término de la obra. Determinando un ahorro en el costo final de la obra y tiempo de entrega. El tiempo tiene mayor impacto en las varillas de menor diámetro, por lo que en obras de menor tamaño también se tendrá un impacto considerable. Considerando el traslape de varillas la reducción de los tiempos varia entre un 6% hasta un 63% para las varillas de diámetro mayor. Mientras que la diferencia entre los conectores cilíndricos huecos y el método de soldadura es mínimo teniendo una reducción de tiempo máximo del 25%.
5. El análisis financiero muestra que la relación beneficio/costo es de 1.99 para el método de conectores cilíndricos huecos, 1.83 del método de traslape y 1.78 de la soldadura, por lo que para una empresa resulta más rentable el método de empalme mecánico de varillas corrugadas mediante conectores cilíndricos frente a los comúnmente utilizados.

7.2. Recomendaciones

1. Se recomienda realizar un estudio más profundo del tema, utilizando una mayor muestra para los ensayos, y en condiciones de obra, pudiendo dar mayor confiabilidad al método de empalme utilizando conectores cilíndricos huecos.
2. Se recomienda estudiar un método de extrusión para fabricar los conectores cilíndricos huecos. Lo que podría disminuir el tiempo requerido para la fabricación de los mismos y el desperdicio de material que se tiene del maquinado.
3. Se recomienda estudiar un sistema hidráulico semiautomático para el prensado, el cual podría disminuir el tiempo de ejecución de las uniones.
4. Según el tamaño de la obra el beneficio que la empresa constructora tendrá será mayor. Por lo que se recomienda dar prioridad de uso al **empalme**

mecánico de varillas corrugadas mediante conectores cilíndricos huecos en obras de gran magnitud.

5. El número de aprietes especificados en el capítulo de diseño es el mínimo requerido, por lo que se recomienda en caso de existir espacio suficiente para realizar uno o más aprietes proceder a hacerlo, dado que esto aumentara la superficie en contacto entre el conector y la varillas aumentando la resistencia de la unión.

REFERENCIAS

1. ACI.: Requisitos de Reglamento Para Concreto Estructural. *ACI 318S-11*, Estados Unidos de América, ACI, 2011.
2. AVALLON, E y BAUMEISTER T.: *Standard Handbook for Mechanical Engineers, Section 12: Building Construction and Equipment*. Decima edición. McGraw-Hill, New York, 1996.
3. AWS: *Structural Welding Code - Reinforcing Steel: AWS D1.4/D1.4M:2005*, AWS, Estados Unidos de América, 2005.
4. BLANGINO, Eugenia.: *Teorías de la Elasticidad y Plasticidad*. Argentita, Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires. Ensayos Industriales, No. 67.16, 2008.
5. BUDYNAS, R. y NISBETT, J.: *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Octava Edición. México, McGraw-Hill, 2008.
6. FAIRES, V. M.: *Diseño de Elementos de Máquinas*. Cuarta edición., Montaner y Simon S. A., España, s. f.
7. INEN.: *Varillas con Resaltes de Acero al Carbono Laminadas en Caliente para Hormigón Armado*. NTE INEN 102:2003, INEN, Ecuador, 2003.
8. INEN.: *Varillas con Resaltes de Acero de Baja Aleación, Soldables, Laminadas en Caliente y/o Termotratadas para Hormigón Armado*. NTE INEN 2167:2003. Ecuador, INEN, 2003.
9. MATAIX, Claudio.: *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Segunda Edición, Ediciones del Castillo S. A., España, 1986.
10. MIDUVI – CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE QUITO.: *Norma Ecuatoriana de la Construcción – Capítulo 4. NEC-11.* , MIDUVI – CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE QUITO, Ecuador, 2011.
11. NILSON, Arthur H.: *Diseño de Estructuras de Concreto*, Duodécima edición, McGraw-Hill Interamericana S.A., Colombia, 1999.
12. PROAÑO, Ricardo: CISMID, Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería, <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/proy16.pdf>, 2011.

13. REES, D. W. A.: Basic Engineering Plasticity. Primera edición. Elsevier Ltda., Reino Unido, 2006.
14. ROMO, Marcelo.: Temas de Hormigón. Escuela Politécnica del Ejército Ecuador, 2008.
15. TIMOSHENKO, S.: *Resistencia de Materiales – Tomo II*. Primera edición. ESPASA-CALPE S. A., España, 1957.