

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UNA CONEXIÓN  
ESTRUCTURAL VIGA "I" COLUMNA TIPO CAJÓN (HSS) PARA  
SU CALIFICACIÓN SEGÚN CÓDIGO FEMA 350, MEDIANTE LA  
CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO FÍSICO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**MARIO ROBERTO MONCAYO BARBERIS**

**CÉSAR JAVIER SIGUENZA JIMÉNEZ**

**DIRECTOR: ING. JOSÉ PÉREZ**

**CODIRECTOR: ING. EMILIO TUMIPAMBA**

**Sangolquí, abril 2013**

## **CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto **“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UNA CONEXIÓN ESTRUCTURAL VIGA “I” COLUMNA TIPO CAJÓN (HSS) PARA SU CALIFICACIÓN SEGÚN CÓDIGO FEMA 350, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO FÍSICO”** fue realizado en su totalidad por Mario Roberto Moncayo Barberis y César Javier Siguenza Jiménez , como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

-----  
**Ing. José Pérez**  
**Director**

-----  
**Ing. Emilio Tumipamba**  
**Codirector**

Sangolquí, 2013-04-05

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UNA CONEXIÓN ESTRUCTURAL  
VIGA “I” COLUMNA TIPO CAJÓN (HSS) PARA SU CALIFICACIÓN SEGÚN  
CÓDIGO FEMA 350, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO  
FÍSICO”

ELABORADO POR:

---

Mario Moncayo Barberis  
171169175-6

---

Cesar Javier Siguenza C.I  
C.I 1714648555

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

Ing. Ángelo Villavicencio

**Sangolquí, 2013-04**

## DICATORIA

*A mi familia que siempre ha sido un apoyo y un incentivo para seguir adelante les dedico este trabajo para honrar y mostrar el aprecio que les tengo. Todos los logros alcanzados se pudieran realizar gracias a ustedes y espero estar a la altura de sus expectativas siendo una persona de bien, como lo son ustedes.*

*Mario Roberto Moncayo Barberis.*

*Enormemente feliz de responder con éxito al apoyo brindado por toda la gente que con amor estuvo pendiente de esta y todas las etapas de mi vida, mostrando apoyo incondicional y regalándome alegría, preciso dedicar este trabajo a Mercedes León, Rita Jiménez, Iván Siguenza, Cindy Dávila, mis hermanos y mis sobrinos.*

*César Siguenza*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ver cumplidos los objetivos planteados es preciso incluir en nuestros agradecimientos a todas las personas que han coincidido para facilitar la realización y satisfactoria finalización de este proyecto, aceptando que el trabajo realizado no hubiera logrado la magnitud de hoy sin la ayuda de nuestra familia, los ingenieros que han dirigido el proyecto José Pérez y Emilio Tumipamba, profesionales del medio en especial a Hugo Moncayo, Diego Dávila y Cindy Dávila, Alonso Oña, Edwin Tayupanta y todos los buenos amigos que aportaron cada uno de manera particular.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
INTRODUCCIÓN .....	2
OBJETIVOS.....	2
OBJETIVO GENERAL .....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
JUSTIFICACIÓN .....	4
ALCANCE .....	7
CAPÍTULO I.....	8
1. MARCO TEÓRICO .....	8
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA CONEXIÓN VIGA “I” COLUMNA TIPO CAJÓN.....	8
1.1.1. GEOMETRÍA .....	9
1.1.2. MATERIALES UTILIZADOS.....	11
1.1.3. MÉTODOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN.....	16
1.1.3.1. Preparación de la viga y de la columna.....	17
1.1.3.2. Transporte y ubicación .....	18
1.1.3.3. Soldadura.....	19
1.1.3.4. Limpieza e inspección .....	19
1.2. COMPORTAMIENTO DE LA CONEXIÓN.....	19
1.2.1. TIPOS DE CONEXIONES .....	19

1.2.2. CONEXIONES EN PÓRTICOS NO ARRIOSTRADOS .....	26
1.2.2.1. Conexiones en pórticos especiales .....	26
1.2.2.2. Conexiones en pórticos intermedios.....	27
1.2.2.3. Conexiones en pórticos ordinarios .....	27
1.3. ORIGEN Y ESTUDIO DE LA NORMA APLICABLE A LA PRECALIFICACIÓN.....	28
1.3.1. ANTECEDENTES.....	28
1.3.2. ESTUDIO DE LA NORMA .....	29
1.3.2.1. PROGRAMA DE PRUEBA.....	29
1.3.2.2. DOCUMENTACIÓN NECESARIA DE SER REPORTADA PARA QUE LA CONEXIÓN SEA PRECALIFICADA.....	31
1.3.2.3. CRITERIO DE ACEPTACIÓN .....	32
1.3.2.4. PRESENTACIÓN DE UNA CONEXIÓN PRECALIFICADA .....	33
1.4. CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR REQUERIDA .....	34
CAPÍTULO II .....	37
2. DETERMINACIÓN DEL PROCESO DEPRECALIFICACIÓN.....	37
2.1. VARIABLES.....	37
2.1.1. PARAMETROS DE LOS PERFILES .....	37
2.1.2. RELACIONES VIGA-COLUMNA.....	37
2.1.3. SOLDADURA .....	37
2.1.4. PARAMETROS DE LA MANO DE OBRA.....	38
2.2. PROCEDIMIENTOS .....	38
2.2.1. DETERMINACIÓN DE MEDIDAS REALES .....	38
2.2.2. DETERMINACIÓN DE LOS DETALLES DE LA CONEXIÓN .....	39
2.2.3. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS MATERIALES .....	39
2.2.4. PLANIFICACIÓN DE LA SOLDADURA Y MONTAJE .....	40
2.2.5. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS .....	41

2.2.6. ENSAYO DE CARGA CÍCLICA .....	45
CAPÍTULO III .....	47
3. SIMULACIÓN POR ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.....	47
3.1. SIMULACIÓN DE LAS CONDICIONES A LAS QUE ESTA SOMETIDA LA CONEXIÓN DENTRO DE UNA ESTRUCTURA MEDIANTE SOFTWARE DE ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS .....	47
3.2. RESULTADOS .....	53
CAPÍTULO IV.....	58
4. DISEÑO DEL MODELO DE PRUEBA .....	58
4.1. ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DE LA CONEXIÓN .....	58
4.1.1. ANÁLISIS ESTÁTICO.....	59
CAPÍTULO V.....	65
5.1. FABRICACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS.....	65
5.2. MONTAJE.....	68
5.3. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA .....	77
CAPÍTULO VI.....	78
6. PRUEBAS Y RESULTADOS .....	78
6.1. ENSAYOS DE INSPECCIÓN VISUAL .....	79
6.1.1. INSPECCIÓN VISUAL ANTES DE LA SOLDADURA .....	79
6.1.1.1. Identificación de los materiales.....	79
6.1.1.2. Detalles constructivos de la soldadura de ranura.....	79
6.1.1.3. Disposición y acabado de las perforaciones de acceso .....	80
6.1.1.4. Detalles constructivos de la soldadura de filete.....	80
6.1.2. INSPECCIÓN VISUAL DURANTE LA SOLDADURA.....	81
6.1.2.1. WPS a seguir.....	81
6.1.2.2. Uso de soldadores calificados.....	82
6.1.2.3. Control y manipulación de consumibles .....	82
6.1.2.4. Condiciones ambientales .....	83



6.1.2.5. Técnicas de soldadura .....	83
6.1.3. INSPECCIÓN VISUAL DESPUÉS DE LA SOLDADURA .....	84
6.1.3.1. Limpieza de la soldadura.....	84
6.1.3.2. Identificación de soldador legible.....	85
6.1.3.3. Verificación geométrica de la soldadura.....	85
6.2. ENSAYO DE TINTAS PENETRANTES.....	87
6.2.1. MATERIALES UTILIZADOS EN EL ENSAYO .....	87
6.2.2. PROCEDIMIENTO .....	89
6.2.3. RESULTADOS .....	89
6.3. ENSAYOS DESTRUCTIVOS SOBRE PROBETAS DE MATERIAL .....	92
6.3.1. ENSAYO DE TRACCIÓN EN MATERIAL DE PERFILES .....	92
6.3.2. ENSAYO DE TRACCIÓN EN LA SOLDADURA.....	98
6.3.3. ENSAYO DE IMPACTO EN MATERIAL DE SOLDADURA.....	101
6.4. ENSAYOS DE CARGA CÍCLICA SOBRE LA CONEXIÓN.....	103
6.4.1. ADAPTACIONES PARA TRANSMITIR CARGA CÍCLICA EN EL MODELO .....	104
6.4.1.1. Banco de pruebas .....	104
6.4.1.3. Elementos para transmitir carga.....	107
6.4.2. APLICACIÓN DE LA CARGA CÍCLICA.....	111
6.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	116
CAPÍTULO VII.....	128
7. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO .....	128
7.1. DETERMINACIÓN DE COSTOS .....	128
7.1.1. DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS Y MÁQUINAS .....	128
7.1.2. COSTOS POR FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO .....	129
7.1.2.1. Costos por fabricación de la viga del prototipo.....	129
7.1.2.2. Costos por fabricación de la columna del prototipo .....	133

7.1.2.3. Costo de ensamblaje la conexión viga-columna .....	136
7.1.2.4. Costo total construcción prototipo .....	138
7.1.3. COSTO DE INPECCIÓN Y ENSAYOS COMPLEMENTARIOS ....	139
7.1.4. COSTO DE LOS ELEMENTOS PARA EL ENSAYO DE CARGA CICLICA.....	145
7.1.5. COSTO TOTAL DEL PROYECTO .....	148
CAPÍTULO VIII.....	149
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	149
8.1 CONCLUSIONES .....	149
BIBLIOGRAFÍA .....	151

# ÍNDICE DE FIGURAS

## INTRODUCCIÓN

Figura 1 Actividad sísmica en el Ecuador.....	4
Figura 2 Nivel sísmico del Ecuador por cantón .....	5

## CAPÍTULO I

Figura 1.1 Conexiones de edificaciones de la ciudad de Quito.....	8
Figura 1.2 Configuración de la conexión.....	10
Figura 1.3 Perfiles utilizados para construir la conexión .....	10
Figura 1.4 Marcas y apoyo provisional para el montaje de la viga.....	17
Figura 1.5 Preparación de la viga antes del montaje .....	18
Figura 1.6 Comportamiento de los tipos de conexiones definido por la AISC.....	20
Figura 1.7 Formación de la rótula plástica .....	21
Figura 1.8 Ejemplos de conexiones que usan rigidizadores (izquierda) y sección reducida (derecha) .....	22
Figura 1.9 Diagrama de cuerpo libre para el cálculo de los momentos de corte en rótula plástica .....	23
Figura 1.10 Diagrama de cuerpo libre para determinar momentos en la columna .....	24
Figura 1.11 Diagrama de cuerpo libre para determinar momentos en la columna .....	25
Figura 1.12 Rotación angular del modelo tras la prueba de carga cíclica.....	30

## CAPÍTULO II

Figura 2.1 Variación del ángulo en función del tiempo para el protocolo de carga exigido.....	46
---	----

## CAPÍTULO III

Figura 3.1 Estructura antes de la aplicación de cargas.....	47
Figura 3.2 Sección del elemento columna (in) .....	48
Figura 3.3 Sección del elemento viga (in) .....	48
Figura 3.4 Sistema de losa utilizado en la estructura.....	49
Figura 3.5 Discontinuidad de planta encontrada en la estructura .....	51
Figura 3.6 Discontinuidad de elevación encontrada en la estructura .....	51

Figura 3.7	Espectro de aceleración utilizado en la simulación.....	52
Figura 3.8	detalles presentados por SAP2000 de la verificación de la estructura.....	54
Figura 3.9	Diagrama de momento y corte del elemento más esforzado (valores para $x= 0$ mm).....	55
Figura 3.10	Diagrama de momento y corte del elemento más esforzado (valores para $x= 1810$ mm).....	55
Figura 3.11	Diagrama de momento y corte del elemento más esforzado (valores para $x= 3620$ mm).....	56
Figura 3.12	Deformada de estructura residencial para combinación de carga $1,2D + 1E_{esp} + 1L$ , en rojo aparece el elemento mas esforzado de la estructura.....	56
Figura 3.13	Fuerzas y Momentos alrededor de la conexión más crítica más esforzada en el plano y-z del elemento más critico.....	57
<b>CAPÍTULO IV</b>		
Figura 4.1	Ubicación de la conexión en los ejes coordenados, siendo "XZ" el suelo.....	59
Figura 4.2	Elemento finito Solid 45.....	60
Figura 4.3	Mallado para simulación en ANSYS.....	61
Figura 4.4	Desplazamientos a lo largo del Eje "X", cuando la carga genera un Angulo de deriva de piso de 0,03 rad.....	62
Figura 4.5	Desplazamientos a lo largo del Eje "Z", cuando la carga genera un Angulo de deriva de piso de 0,03 rads.....	62
Figura 4.6	Distribución del Esfuerzo Equivalente de Von Mises cuando la carga genera un Angulo de deriva de piso de 0,03 rad.....	63
Figura 4.7	Deformaciones generadas tras la aplicación de la carga en el sistema.....	63
<b>CAPÍTULO V</b>		
Figura 5.1	Medidas de los agujeros de acceso.....	77
<b>CAPÍTULO VI</b>		
Figura 6.1	Perforaciones de acceso soldadura de ranura. (iz. Especímenes AISC, der. Especímenes particulares).....	80
Figura 6.2	Hornos de secado para electrodos de bajo hidrogeno.....	83

Figura 6.3	Configuración del cordón de soldadura producto de la oscilación. ....	84
Figura 6.4	Galga de inspección soldadura .....	85
Figura 6.5	Procedimiento Tipo II Método C, para reveladores no acuosos, recomendado por el proveedor y descrito por la ASTM E 1220. ....	89
Figura 6.6	Zonas de inspección por tintas penetrantes.....	91
Figura 6.7	Aplicación del penetrante (iz), aplicación del revelador (der) filete 1 .....	91
Figura 6.8	Fisuras detectadas en el ensayo de tintas penetrantes probeta VCP 01 Zona I2 .....	92
Figura 6.9	Dimensionamiento de las probetas para el ensayo de tracción ...	93
Figura 6.10	Probeta del ensayo de tracción en material base .....	94
Figura 6.11	Placa metálica de la que se extraen las probetas para el ensayo de tracción .....	99
Figura 6.12	Geometría de la probeta de tracción en la soldadura .....	99
Figura 6.13	Dimensionamiento de las probetas para el ensayo de Charpy (CVN).....	101
Figura 6.14	Probeta CVN antes del ensayo de impacto .....	102
Figura 6.15	Probetas sumergidas en proceso de enfriamiento .....	102
Figura 6.16	Probeta CVN después del Ensayo de impacto .....	102
Figura 6.17	Apoyos en la Columna .....	105
Figura 6.18	Apoyos que restringen movimiento en ejes x e z.....	106
Figura 6.19	Ubicación del cordón de soldadura en apoyo inferior para restringir el movimiento en el eje y.....	106
Figura 6.20	Posición efectiva de trabajo gato hidráulico de botella.....	107
Figura 6.21	Esquema de adaptación de manómetro en gato hidráulico .....	108
Figura 6.22	Calibración Gato hidráulico .....	110
Figura 6.23	Configuración de prueba para el ensayo de carga cíclica.....	111
Figura 6.24	Historial de Cargas VCN-01 .....	116
Figura 6.25	Momento Aplicado vs Ángulo de Rotación VCN-01 .....	116
Figura 6.26	Historial de Cargas VCN-02.....	118
Figura 6.27	Momento Aplicado vs Ángulo de Rotación VCN-02.....	118
Figura 6.28	Historial de Cargas VCP-01 .....	120
Figura 6.29	Momento Aplicado vs Ángulo de Rotación VCP-01 .....	120

Figura 6.30	Fisuras producidas por aplicación de la carga VCP-02 (iz) patín superior, (der) patín inferior.....	121
Figura 6.31	Historial de Cargas VCP-02 .....	122
Figura 6.32	Momento Aplicado vs Ángulo de Rotación VCP-02 .....	122
Figura 6.33	Desgarres producidos en la conexión VCP-02, (iz) patín superior (der) patín inferior.....	123
Figura 6.34	Superposición de imagen registrada antes y después de la prueba para el espécimen VCP-02 .....	124
Figura 6.35	Tipo de conexión precalificada sugerida (WUF-W).....	125

# ÍNDICE DE TABLAS

## INTRODUCCIÓN

Tabla 1 Requerimientos de diseño para pórticos no arriostrados .....	6
--	---

## CAPÍTULO I

Tabla 1.1 Requerimientos de resistencia a la tracción para un acero al carbono de uso estructural.....	11
Tabla 1.2 Propiedades del acero estructural A 36 .....	12
Tabla 1.3 Tolerancias obtenidas en los perfiles I en el proceso de fabricación de la empresa Kubiec .....	14
Tabla 1.4 Tolerancias obtenidas en los perfiles HSS en el proceso de fabricación de la empresa Kubiec .....	15
Tabla 1.5 Protocolo de pruebas para el ensayo de carga cíclica.....	31
Tabla 1.6 Criterio de Aceptación para la prueba cíclica .....	32
Tabla 1.7 Ensayos necesarios y parámetros que debe cumplir una soldadura de filete para calificar a un soldador.....	35

## CAPÍTULO II

Tabla 2.1 Parámetros de inspección visual antes del proceso de soldadura .....	42
Tabla 2.2 Parámetros de inspección visual durante el proceso de soldadura .....	43
Tabla 2.3 Parámetros de inspección visual después del proceso de soldadura .....	44
Tabla 2.4 Protocolo de pruebas para el ensayo de carga cíclica .....	46

## CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Carga muerta aplicada en la estructura .....	49
Tabla 3.2 Resumen de factores para encontrar Coeficiente de corte de base .....	52

## CAPÍTULO IV

Tabla 4.1 Fuerzas necesarias para lograr desplazamientos.....	64
---	----

## CAPÍTULO V

Tabla 5.1 Proceso de fabricación de la Viga metálica tipo I.....	65
Tabla 5.2 Proceso de fabricación de la columna tipo cajón HSS.....	67

Tabla 5.3	Procedimiento de montaje conexiones VCN .....	69
Tabla 5.4	Procedimiento de montaje conexiones VCP .....	73

## **CAPÍTULO VI**

Tabla 6.1	Nomenclatura asignada a cada espécimen .....	78
Tabla 6.2	Parámetros del equipo de soldadura (Extracto del WPS) .....	81
Tabla 6.3	Resumen de la inspección visual realizada.....	86
Tabla 6.4	Descripción del kit de tintas penetrantes.....	88
Tabla 6.5	Resumen de la inspección en el ensayo de tintas penetrantes.....	90
Tabla 6.6	Resultados Ensayo de tracción en material base de conexiones bajo estándares AISC (fuerzas) .....	94
Tabla 6.7	Resultados Ensayo de tracción en material base de conexiones bajo estándares AISC (deformaciones) .....	95
Tabla 6.8	Resultados Ensayo de tracción en material base de conexiones bajo estándares particulares (fuerza) .....	96
Tabla 6.9	Resultados Ensayo de tracción en material base de conexiones bajo estándares particulares (deformaciones) .....	97
Tabla 6.10	Propiedades del Acero A992.....	98
Tabla 6.11	Datos para el ensayo de tracción en la soldadura.....	100
Tabla 6.12	Resultados ensayo de impacto .....	103
Tabla 6.13	Calibración Gata 01.....	109
Tabla 6.14	Calibración Gato 02.....	109
Tabla 6.15	Detalle de Gatos Hidráulico.....	110
Tabla 6.16	Detalle de instrumentos de medida para el desplazamiento .....	110
Tabla 6.17	Procedimiento para el ensayo de carga cíclica .....	112
Tabla 6.18	Observaciones adicionales conexión VCN-02 .....	117
Tabla 6.19	Observaciones adicionales conexión VCN-02 .....	119
Tabla 6.20	Observaciones adicionales conexión VCP-01.....	121
Tabla 6.21	Observaciones adicionales conexión VCP-02.....	123
Tabla 6.22	Parámetros de la conexión.....	126

## **CAPÍTULO VII**

Tabla 7.1	Depreciación de equipos utilizados en la fabricación .....	128
Tabla 7.2	Tiempo de corte de los flejes para la viga .....	129
Tabla 7.3	Peso de acero requerido para la viga.....	130
Tabla 7.4	Tiempo utilizado en la soldadura y armado de la viga.....	130



Tabla 7.5	Masa de consumible requerido para la fabricación de la viga.....	131
Tabla 7.6	Tiempos acumulados en la fabricación de vigas.....	131
Tabla 7.7	Costo total de fabricación elemento Viga .....	132
Tabla 7.8	Tiempo de corte de los flejes para la columna .....	133
Tabla 7.9	Peso de acero requerido para la viga.....	133
Tabla 7.10	Tiempo utilizado en la soldadura y armado de la columna.....	134
Tabla 7.11	Masa de consumible requerido para la fabricación de la columna .....	134
Tabla 7.12	Tiempos acumulados en la fabricación de columnas.....	134
Tabla 7.13	Costo total de fabricación elemento columna.....	135
Tabla 7.14	Tiempo utilizado en la soldadura y armado de la conexión.....	136
Tabla 7.15	Masa de consumible requerido para la fabricación de la conexión.....	137
Tabla 7.16	Costo total de conectar la viga a la columna.....	138
Tabla 7.17	Costo total de los especímenes de prueba .....	139
Tabla 7.18	Tiempo total empleado en la inspección visual de la soldadura .....	140
Tabla 7.19	Tiempo total empleado en la inspección mediante tintas penetrantes de la soldadura.....	140
Tabla 7.20	Costo total de inspección de los especímenes de prueba .....	141
Tabla 7.21	Costo total ensayos de tracción en material base .....	142
Tabla 7.22	Costo total ensayos de tracción en material de aporte.....	143
Tabla 7.23	Costo total ensayos de impacto en material de aporte.....	144
Tabla 7.24	Costo de fabricación del marco de pruebas .....	145
Tabla 7.25	Costo de instrumentos y equipos utilizados en la prueba .....	147
Tabla 7.26	Costo total del proyecto.....	148



## NOMENCLATURA EMPLEADA

A:	Área del pistón cm <sup>2</sup> .
Ct:	Constante de tipo de estructura.
Cpr:	Factor de la fuerza de conexión pico.
D:	Carga muerta.
d:	Alto de la viga.
Dp:	Diámetro del pistón cm.
dc:	Ancho de la columna.
dz:	Medida que describe el panel nodal.
E:	Carga de sismo estático.
E%i:	Valor elongación porcentual correspondiente a cada espécimen.
E%:	Valor de elongación porcentual determinado del test.
Eesp:	Carga de sismo dinámico.
Fu:	Valor del esfuerzo ultimo del material.
Fui:	Valor de limite correspondiente a cada espécimen.
FR:	Fully restrained connections, Conexiones totalmente restringidas.
Fy:	Esfuerzo de fluencia.
Fyi	Valor de límite de fluencia correspondiente a cada espécimen
h:	Peralte del alma: distancia entre la raíz del patín para perfiles I laminados, distancia entre patines menos el filete de cada patín para perfiles I armados.
Hn:	Altura máxima de la edificación.
HSS:	Hollow Steel Section, Sección de acero vacía.

I:	Factor de importancia de la estructura (Residencial 1).
IMF:	Pórtico a momento intermedio.
L:	Carga viva.
L':	Distancia entre probables rotulas plásticas.
L'':	Distancia existente entre las dos rotulas plásticas en la misma viga.
Lh:	Distancia entre las rotulas plásticas en la viga.
Mc:	Momento que se genera en la cara de la columna donde se una la viga.
Mf:	Momento en la línea que cruza a la columna.
Mp:	Momento de plastificación.
Mp:	Momento de plastificación.
Mpr:	Máximo momento de plastificación.
OMF:	Pórtico a momento ordinario.
P:	Presión en Kg/cm.
P:	Valor de la carga puntual en la mitad de la viga.
Pu:	Carga axial requerida.
Py:	Carga axial de fluencia.
PR:	Partially restrained connections, Conexiones parcialmente restringidas.
R:	Coeficiente de reducción de respuesta estructural (Estructura metálica, $R = 7$ ).
Ry:	Relación de entre fluencia esperada y fluencia mínima, Relación entre la tensión de fluencia esperada con la mínima real.
S:	factor de tipo de suelo.

SMF:	Pórtico a momento especial.
T:	Periodo de vibración.
tb:	Altura total del alma de la viga.
tf:	Espesor del ala del perfil.
tp:	Espesor total del panel nodal.
tw:	Espesor del alma.
Vp:	Valor del esfuerzo de corte en la rótula plástica
VCN:	Conexión bajo estándares normalizados.
VCP:	Conexión bajo estándares particulares.
V:	Valor del esfuerzo de corte en la rótula plástica.
VE:	Resistencia al corte debido a esfuerzos sísmicos.
W:	Representa la carga distribuida del peso de la viga entre las dos rótulas plásticas.
wz:	Medida que describe el panel nodal.
X:	Distancia da la cara que une a la viga y columna a la rótula plástica.
Z:	Valor para el tipo de zona sísmica (Pichincha 0,4).
Ze:	Módulo plástico de la sección en la zona de rotula plástica.
$\lambda_w$ :	Esbeltez de la placa del alma ( $h/tw$ ).
$\lambda_{rw}$ :	Esbeltez límite del alma, que separa vigas de trabes amadas.
$\Theta_{sd}$ :	Es el ángulo en el cual se produce falla o la resistencia de la conexión es menor a la capacidad plástica esperada, cualquier situación que ocurra primero.

- $\theta_u$ : El valor del ángulo cuando la conexión ha sido deteriorada por completo al punto en que no es capaz de soportar la aplicación de más carga.
- $\theta'_{sd}$ : Criterio de aprobación para estado SD en el caso que  $L/d < 8$ .
- $\theta_u$ : Criterio de aprobación para estado U en el caso que  $L/d < 8$ .
- $\Phi_p$ : Coeficiente de discontinuidad de planta (0,9).
- $\Phi_p$ :  $\Phi_{Pa} * \Phi_{Pb}$ .
- $\Phi_p$ : 0,9 \* 1 (Discontinuidad tipo 2)
- $\Phi_{Pa}$ : El mínimo valor  $\Phi_{P_i}$  de cada piso  $i$  de la estructura, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 1, 2 y/o 3 ( $\Phi_{P_i}$  en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para las tres irregularidades).
- $\Phi_{Pb}$ : Se establece de manera análoga, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 4 y/o 5 en la estructura.
- $\Phi_E$ : Coeficiente de discontinuidad de elevación.
- $\Phi_{EA}$ : El mínimo valor  $\Phi_E$  de cada piso  $i$  de la estructura; para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 1 y/o 5 ( $\Phi_{E_i}$  en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para las dos irregularidades).
- $\Phi_{EB}$ : Se establece de manera análoga, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 2 y/o 3 en la estructura.

## RESUMEN

En este estudio se procedió a calificar un tipo de conexión presente en una estructura en el Distrito Metropolitano de Quito bajo parámetros descritos en los códigos FEMA 350 y AISC 341.

Para llevar a cabo esto y verificar si el tipo de conexión utilizada, satisface los requerimientos para zona sísmica se construyeron cuatro modelos físicos a escala real, dos de los cuales están fabricados siguiendo estándares normalizados, los dos especímenes restantes fueron fabricados emulando los procesos seguidos en la estructura que se está tomando como referencia. La conexión es del tipo VIGA "I" - COLUMNA TIPO CAJON COMPLETAMENTE SOLDADA.

Para evaluar su desempeño además de los ensayos para determinar sus propiedades mecánicas se llevó a cabo un ensayo de carga cíclica descrito en la FEMA 350.

Hizo falta para poder realizar el ensayo de carga cíclica construir un banco de prueba y adaptar un mecanismo para transmitir carga.

De la tabulación y análisis de los datos recogidos en la prueba se podrá concluir si esta conexión es aplicable al momento de construir pórticos intermedios y especiales, además de recomendaciones que mejoren el desempeño de la conexión.

## **INTRODUCCIÓN**

El presente estudio busca evaluar el comportamiento sismo-resistente de una conexión de viga I a columna tipo cajón HSS para determinar si es apropiada para una zona sísmica, como es el Ecuador. Para realizar esto se realizó las pruebas mostradas en la norma FEMA 350 para la calificación de una conexión, para posteriormente presentar los resultados y analizarlos para presentar las conclusiones pertinentes.

Se va a detallar todo el proceso que se debe seguir para calificar una junta para zonas sísmicas, explicando conceptos que se presentan en la norma para entender de mejor manera la aplicación de la misma en el entorno de nuestro país.

Como parte del análisis de la conexión, se realizó una simulación de la misma al ser sometida a la prueba que dicta el código de la FEMA 350. Para lo cual se utilizó el programa ANSYS 11 para el análisis estático y SAP 2000 para el análisis sísmico, el cual utiliza el método de los elementos finitos para simular el comportamiento de la conexión.

### **OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el desempeño de la conexión viga-columna comúnmente utilizada en el Distrito metropolitano de Quito, bajo estándares de validación internacionales dictados por el código FEMA 350 para aplicación sismo-resistente en edificaciones de estructura metálica.



## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**




- Definir el proceso de calificación
- Definir las características y detalles propios de la conexión que será motivo de estudio.
- Realizar un modelo teórico en el que simulen todas las situaciones características a las que se encuentra sometida la conexión dentro de una estructura, mediante la ayuda de un software de análisis por elementos finitos.
- Realizar un modelo físico de la conexión motivo de estudio en el que se realizarán los ensayos cíclicos de calificación descritos es en el apéndice “S” del código AISC 341-05 según lo que indica la FEMA 350.
- Diseñar el equipo de pruebas y establecer los instrumentos de medida necesarios para realizar el ensayo.
- Realizar el protocolo de pruebas con los resultados obtenidos.

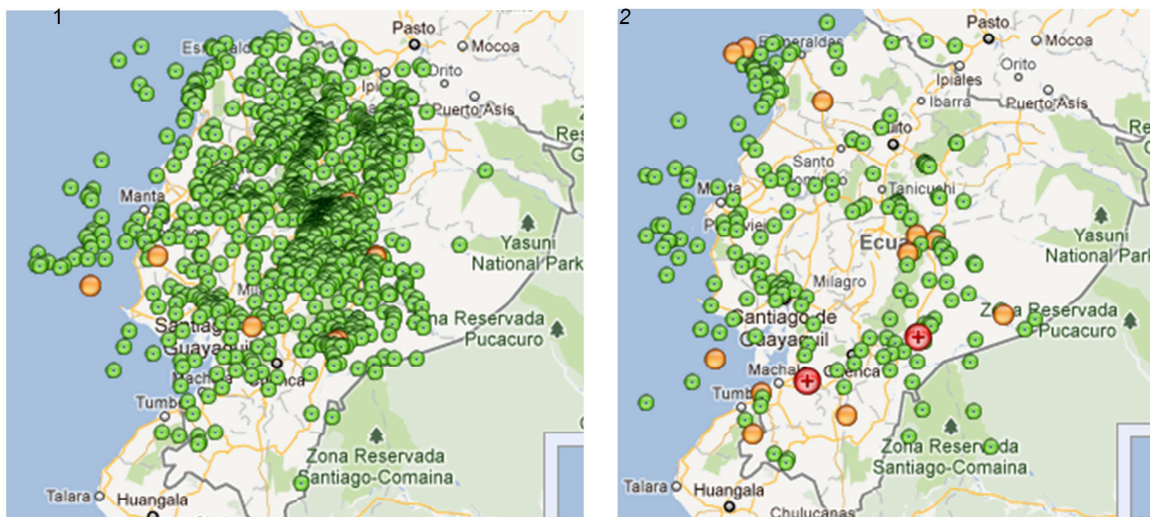
## JUSTIFICACIÓN

Considerando la presencia latente de una posibilidad de sismo en nuestro país, y que sus consecuencias son catalogadas como las de mayor afectación debido a catástrofes naturales, producto del análisis histórico, es importante considerar esta variable sismo como determinante en el diseño de una edificación y su estructura.

Las figuras a continuación muestran el comportamiento histórico de los fenómenos sísmicos en nuestro país.

Siendo los valores mostrados grados en la escala de Richter se tiene lo siguiente:

-  Magnitud  $\geq 5,6$
-   $4,8 \leq$  Magnitud  $< 5,5$
-   $4 \leq$  Magnitud  $< 4,8$



**Actividad sísmica en el 2007**

**Actividad sísmica en el 2009**

**Figura 1 Actividad sísmica en el Ecuador**

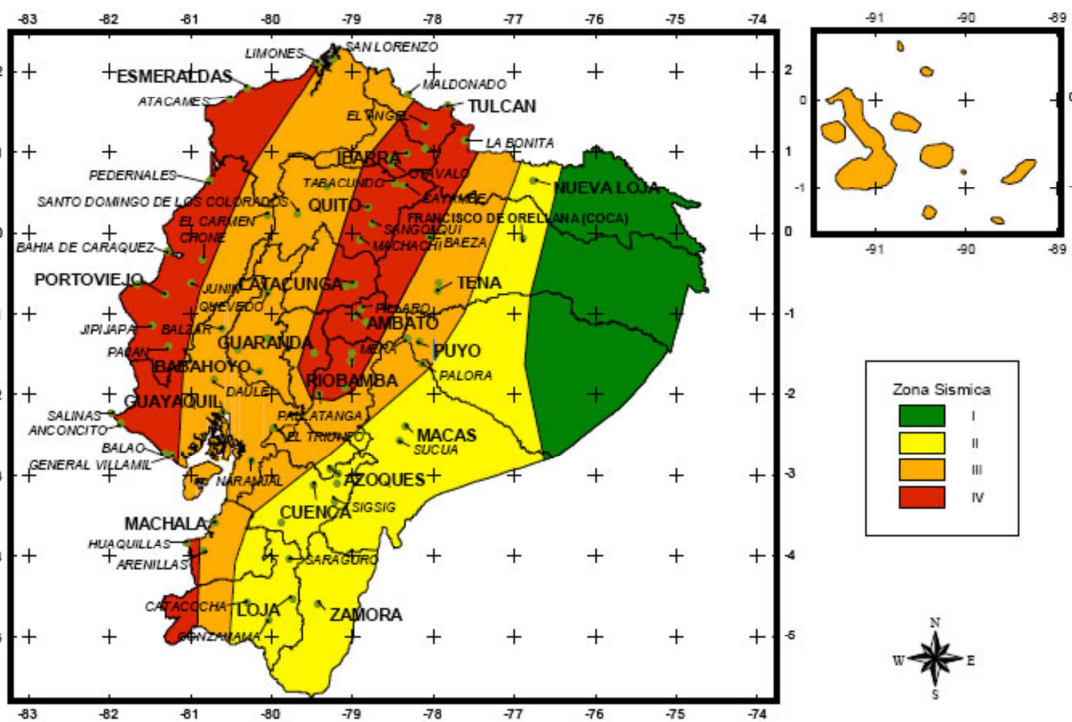
<sup>1</sup>Fuente: [www.igepn.edu.ec/BASES/sismosEc.htm](http://www.igepn.edu.ec/BASES/sismosEc.htm) (Instituto Geográfico Ecuatoriano, 2010)

<sup>2</sup>Fuente: [www.igepn.edu.ec/BASES/sismosEc.htm](http://www.igepn.edu.ec/BASES/sismosEc.htm)

Según la cruz roja ecuatoriana en su publicación de la “Cartografía de riesgos y capacidades en el Ecuador” clasifica las zonas de impacto sísmico en una escala que va del nivel I al IV, siendo I zonas de bajo impacto y IV para lugares de mayor peligro.

Una esquematización de este informe se indica en la figura 3, donde en particular se puede observar al Distrito Metropolitano de Quito ubicado en gran porcentaje de su extensión en un nivel IV de sismicidad.

Esta es la razón de que la ciudad de Quito sea considerada de alto riesgo sísmico, consecuentemente plantea la importancia del uso de estructuras sismorresistentes de un desempeño confiable en nuestro medio.



**Figura 2 Nivel sísmico del Ecuador por cantón**

Para zonas donde se plantean estas características, la FEMA (Federal Emergency Management Agency) plantea el uso de pórticos del tipo Especial o Intermedio y no permite de ninguna manera el uso de pórticos Ordinarios, para lograr las estructuras, será el diseñador quien deberá seleccionar entre especiales e intermedios según las aplicaciones de la edificación.

Como se puede observar en la tabla 1 es propio de los pórticos especiales e intermedios, el uso de conexiones precalificadas.

**Tabla 1 Requerimientos de diseño para pórticos no arriostrados**

Requerimiento	Categoría		
	Especial	Intermedio	Ordinario
Factor R	8	4.5	3.5
Capacidad de rotación plástica en rótulas	0.03	0.01	--
Distorsión de piso en las conexiones	0.04	0.02	--
Conexiones viga-columna	Precalificada o verificación experimental	Precalificada o verificación experimental	No
Zonas protegidas	Extremo de viga	Extremo de viga	No
Verificación panel nodal	Si	No	No

Fuente: Diseño Sismo-resistente de Construcciones de Acero

El código FEMA 350 lista un grupo de conexiones precalificadas para el uso en estructuras con pórticos momento resistentes, cualquier extrapolación en las aplicaciones o variación de estas conexiones implica seguir un proceso calificación.

En nuestra ciudad de la experiencia recogida al visitar algunas edificaciones en proceso de construcción se pudo apreciar el uso de la conexión viga I columna tipo cajón totalmente soldada en una cantidad importante de construcciones.

Siendo que la conexión mencionada tiene particularidades y que no es una conexión precalificada, existe un espacio para este estudio que aspira recoger información del comportamiento dinámico de esta configuración con el

fin de concluir si este desempeño la hace adecuada para las aplicaciones para las que está siendo usada.

## **ALCANCE**

El estudio como se lo plantea, verificará el desempeño de la conexión viga columna de la manera en la que se logra en nuestro medio de acuerdo con los estándares propuestos por el código fema 350 y tomando como referencia el diseño de una edificación existente en el Distrito Metropolitano de Quito.

Los resultados obtenidos estarán orientados a recomendar o no el uso de este tipo de conexiones en las condiciones de nuestro medio argumentando de manera técnica al presentar los registros de las diversas pruebas y principalmente la denominada “Ensayo de carga cíclica”.

La divulgación de los resultados obtenidos al considerarse de interés público se difundirá en un medio de comunicación escrito vinculado a la ingeniería mecánica.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA CONEXIÓN VIGA “I” COLUMNA TIPO CAJÓN

Los tipos de conexiones se eligen para soportar los esfuerzos de diseño y por ser las que se pueden realizar de la manera más rápida y sencilla posible; ya que esto reduce precios de producción y produce un avance eficiente en la construcción. Estas conexiones tienen condiciones únicas que deben ser estudiadas para su precalificación; tales como el tipo de acero, tipo de soldadura, dimensiones, etc.



**Figura 1.1 Conexiones de edificaciones de la ciudad de Quito**

Se acostumbra utilizar un tipo de conexión soldada de viga I a columna cajón HSS (Hollow Structural Sections), porque cumple con los parámetros antes mencionados; sin embargo no se ha realizado un estudio del comportamiento de este tipo de conexión bajo la acción de cargas sísmicas,

para verificar si cumple con lo especificado en el código FEMA 350. Por lo cual se va a realizar el estudio de esta conexión para presentar los resultados obtenidos y dar las conclusiones del caso.

Para el caso de la conexión que se va a estudiar se debe tomar en cuenta que esta conexión se enmarca en un diseño de una estructura no arriostrada. Lo que define las condiciones que debe cumplir la conexión.

Los pórticos no arriostrados son empalmes de vigas y columnas conectadas entre sí mediante soldaduras, pernos o ambos. Estos pórticos tienen gran capacidad de disipar energía cuando se construyen para tal fin, por lo que son recomendados para zonas sísmicas. También se los conoce como pórticos resistentes a momento ya que las barras componentes de estos pórticos quedan sometidos principalmente a momentos flectores y esfuerzos de corte.

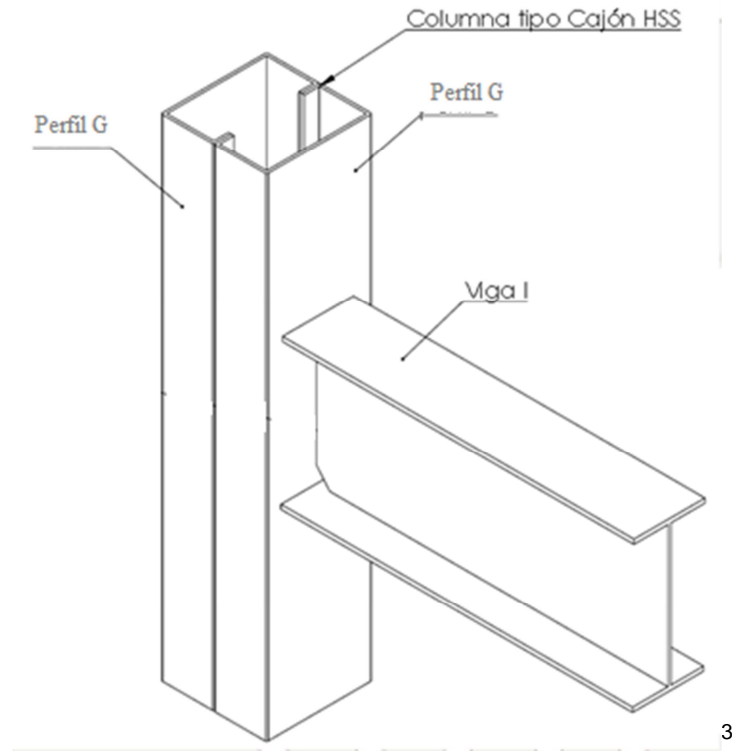
Según las especificaciones AISC 341-05 consideran tres niveles de desempeño para estos pórticos, los cuales son: pórticos especiales, intermedios u ordinarios. Lo cual se va a explicar de forma más detallada más adelante.

La conexión a analizarse es parte de la estructura metálica de una casa de dos pisos de un conjunto residencial en el sector de La Armenia; sin embargo se utilizan en muchas estructuras por la facilidad del montaje.

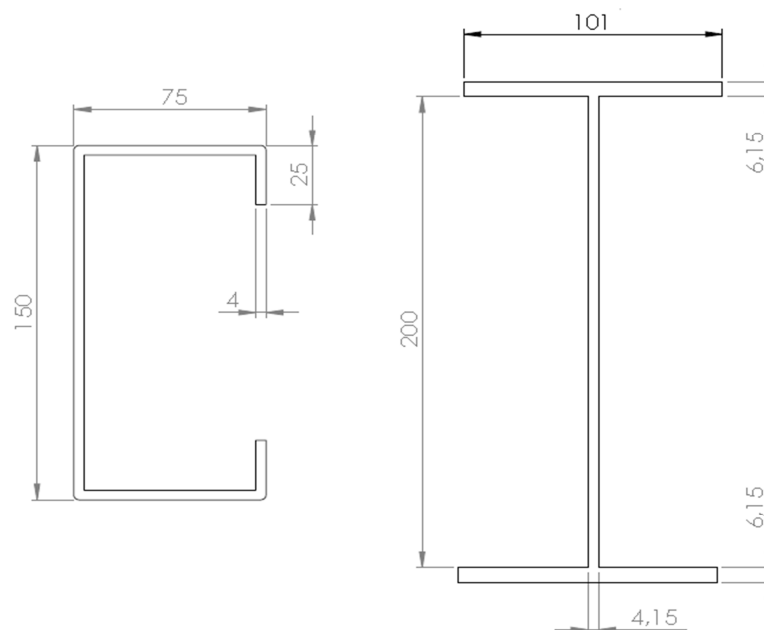
### **1.1.1. GEOMETRÍA**

La conexión estudiada es la de viga tipo I a una columna tipo cajón HSS totalmente restringida mediante soldadura del alma y de los patines, además la columna es rellena de hormigón. La conexión es soldada utilizando soldadura por electrodo revestido (SMAW), utilizando electrodos E7018.

A continuación se presentan figuras para mostrar de forma clara la soldadura que se va a realizar y las dimensiones de la viga y de la columna.



**Figura 1.2 Configuración de la conexión**



**Figura 1.3 Perfiles utilizados para construir la conexión**

<sup>3</sup> Las especificaciones de la soldadura se detallan en el WPS (Welding Procedure Specification), el cual se encuentra como anexo a este documento



### 1.1.2. MATERIALES UTILIZADOS

Para determinar las propiedades que debe cumplir un acero al carbono A36 para usarlo en estructuras, debe cumplir con la norma ASTM A36 / A36M “Standard Specification of Carbon Structural Steel”. Esta especificación cubre perfiles de acero al carbón, placas y barras de calidad estructural para usos en estructuras remachadas, empernadas o soldadas.

Las características que deben cumplir los materiales según esta especificación se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 1.1 Requerimientos de resistencia a la tracción para un acero al carbono de uso estructural**

Placas, Perfiles y Barras	
Resistencia a la tensión, ksi [MPa]	58-80 [400-550]
Punto de fluencia, ksi [MPa]	36 [250]
Placas y Barras	
Elongación en 8 pulg. [200 mm], min %	20
Elongación en 2 pulg. [50 mm], min %	23
Perfiles	
Elongación en 8 pulg. [200 mm], min %	20
Elongación en 2 pulg. [50 mm], min %	21

Fuente: ASTM A36/A36M

Notas:

- Ver la orientación del espécimen bajo la especificación de ensayo de tracción A 6/A 6M
- Para perfiles de 426 lb/pie [634 kg/m], el máximo de 80 ksi de resistencia a la tracción no aplica y la mínima elongación en 2 pulg. [50 mm] aplicable es 19 %
- Punto de fluencia de 32 ksi [220MPa] para placas mayores a 8 pulg. [200mm] en espesor
- No es requerida la determinación de la elongación para placas de piso

- Para placas de espesor mayor a 24 pulg. [600 mm], el requerimiento de elongación es reducida en dos puntos porcentuales. Ver los ajustes de los requerimientos de elongación en el ensayo de tracción bajo la especificación 6/A 6M.<sup>4</sup>

El material más usado en la construcción en acero en el Ecuador es el acero A 36, el cual cumple con las especificaciones antes presentadas. Es muy utilizado en Estados unidos también por sus propiedades, las cuales se especifican en el siguiente cuadro:

**Tabla 1.2 Propiedades del acero estructural A 36**

Propiedades A 36	
Límite de fluencia mínimo, Ksi (MPa)	36 (250)
Resistencia a la tracción mínimo, Ksi (MPa)	58 (410)
Porcentaje de elongación	20 %
Densidad, Kg/m <sup>3</sup> (lb/pulg. <sup>3</sup> )	7850 (0.28)

Nota: estos valores cambian para láminas de espesores mayores a 8 pulgadas.

El electrodo utilizado para soldar la conexión es el denominado E 7018, el cual es un electrodo con revestimiento de bajo hidrógeno con polvo de potasio y hierro, con el cual se puede soldar en toda posición (plana, horizontal, vertical, sobre cabeza). Se puede utilizar corriente alterna o continua cuando se conecte el electrodo al polo positivo. Tiene una Resistencia a la tracción de 70.000 lb/pulg<sup>2</sup> (psi) y un esfuerzo de fluencia de 58.000 lb/pulg<sup>2</sup> (psi) con un porcentaje de elongación del 22 %.

La fabricación de los perfiles se la puede realizar por laminación o soldando placas para conformar la sección. Son dos procesos que entregan diferentes propiedades a los perfiles, se debe tomar en cuenta estas diferencias al momento del diseño de una viga o una columna.

<sup>4</sup>Fuente: Tomado de la especificación ASTM A36 / A36M(Materials)

La laminación se realiza calentando al material que va a ser laminado hasta una temperatura en la cual se pueda deformar el material con un esfuerzo menor al esfuerzo de fluencia normal y sin generar grietas ni dislocación en la estructura del material. A esta temperatura se le suele conocer como la temperatura de re cristalización, la cual es aproximadamente proporcional a  $0,4T_m$ ; siendo  $T_m$  la temperatura de fusión del material (acero A36), que viene a ser  $1375^\circ\text{C}$ . Posteriormente se hace pasar el material por rodillos, los cuales deforman de forma plástica al material para crear la forma deseada. Normalmente este proceso se lo realiza en varias etapas para no llegar a romper la materia prima o provocar grietas y para no tener que ejercer esfuerzos de gran magnitud.

Este tipo de proceso da al material una serie de propiedades, las cuales se van a listar a continuación:

- No disminuye la ductilidad del material al evitar las dislocaciones en la microestructura del acero.
- Se eliminan los esfuerzos residuales dentro del material, evitando que el material se vuelva frágil.
- El producto final tiene un comportamiento anisotrópico, ya que los rodillos están a menor temperatura que el material, lo que provoca que la superficie del material laminado se enfríe más rápido que el núcleo, lo que provoca que la superficie tenga un tamaño de grano inferior al de la superficie.
- La dureza del material se mantiene, no aumenta, como en el caso del trabajo en frío.

Los perfiles también se construyen a partir de placas que son soldadas entre ellas para formar el perfil deseado. En nuestro país solo se utiliza esta forma de fabricación para todos los perfiles I.

Las propiedades que adquiere este tipo de perfiles son diferentes a las de los perfiles laminados. Esto se debe a que la soldadura afecta al material en su microestructura en la zona afectada por el calor (ZAC).

Los perfiles armados por medio de soldadura adquieren las siguientes características en las zonas donde hay afectación por el calor:

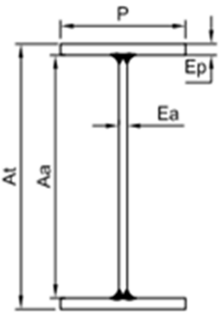
El material pierde ductilidad, la característica que le permite deformarse de una manera considerable antes de llegar a la rotura.

Aumenta la resistencia del material, por el efecto del enfriamiento rápido de la zona soldada.

El material se vuelve más frágil, perdiendo la capacidad de deformarse antes de romperse.

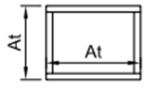
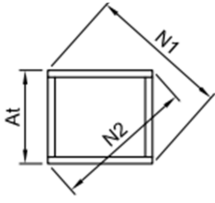
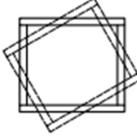
Los perfiles que se van a utilizar son fabricados por la empresa C.O CONSTRUCCIONES. Los perfiles son armados a partir de placas laminadas en caliente de acero A36 y son unidas para formar los perfiles por medio de un proceso de soldadura GMAW. Las tolerancias obtenidas por estos procesos están dadas por el proveedor del fleje de acero que para este caso fue KUBIEC.

**Tabla 1.3 Tolerancias obtenidas en los perfiles I en el proceso de fabricación de la empresa Kubiec**

Variables consideradas en la sección		Parámetros		Tolerancia
Sección		Altura de la viga	At ≤ 300	4 , -3
			At > 300	At / 100 (Max 12) , -3
		Ancho del patín	P	± 3
		Longitud	L ≤ 6000	≤ 2 + 1 mm/m
		L > 6000	At ≤ 600	≤ 2 + 1 mm/m
			At > 600	≤ 5 + 1 mm/m
		Ea y Ep Espesor de alma y patín		ASTM A6 M tabla a1

Fuente: Artículo tomado de [www.kubiec.com](http://www.kubiec.com) "Tolerancias" el Octubre 2012(KUBIEC, KUBIEC)

**Tabla 1.4 Tolerancias obtenidas en los perfiles HSS en el proceso de fabricación de la empresa Kubiec**

Variables consideradas en la sección		Parámetros		Tolerancia
Desv. En vigas cajón		At		±4.0
		At		±4.0
Perpend. Entre flejes		At < 1000	N1-N2	±6.0
		L ≥ 6000	N1-N2	±8.0
Torsión en viga cajón		Sin especificar en el código de referencia (AWS D1.1 SECCION 5) Ya que en este tipo de sección se elimina efectos de torsión al estar conectados a otros elementos.		

Con frecuencia se suele denominar vigas a los perfiles rolados y travesaños armados a los elementos que se arman a partir de placas. Se arman las denominadas travesaños a partir de elementos de placas ya que son vigas mayores que soportan a varias vigas, y suelen tener una gran longitud. Sin embargo, si se toma la especificación LRFD se puede ver que para considerar un elemento a flexión como una viga o como travesaño armado, se tiene que evaluar la esbeltez del alma, para lo cual se presenta la siguiente relación:

$$\lambda_w \leq \lambda_{rw} \quad (1.1)$$

$$\lambda_{rw} = 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (1.2)$$

Donde.

$\lambda_w$  = esbeltez de la placa del alma  $\left(\frac{h}{t_w}\right)$

$\lambda_{rw}$  = esbeltez límite del alma, que separa vigas de trabes amadas

$h$  = peralte del alma

$t_w$  = espesor del alma

$F_y$  = esfuerzo de fluencia del material del alma

Para la especificación LRFD para que un elemento sea considerado como viga, sea este laminado o armado, debe cumplir lo especificado en la ecuación (1.1)

### 1.1.3. MÉTODOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN

En esta sección se va a redactar el proceso que se lleva a cabo para realizar el montaje de las vigas, fabricando de esta manera la conexión. Para el caso específico de la conexión estudiada se describe el montaje en la sección 5.2 de este documento.

Hay que diferenciar las diferentes etapas o pasos que hay al realizar el montaje, los cuales son:

- Preparación de la viga y la columna.
- Transporte y ubicación de la viga
- Soldadura
- Limpieza e inspección

### 1.1.3.1. Preparación de la viga y de la columna

Se procede a marcar en la columna el sitio donde debe estar ubicada la viga, para esto se debe hacer una línea horizontal en la columna, que indique donde debe ir ubicado el patín inferior de la viga. También se debe marcar el medio del ancho de la columna para indicar dónde se debe colocar el alma de la viga (ver figura).



**Figura 1.4 Marcas y apoyo provisional para el montaje de la viga**

Una vez hecho esto se procede a soldar un apoyo provisional, como se observa en la figura, para mantener la viga en su lugar mientras se realiza el proceso de soldadura. Este apoyo provisional esta soldado a la columna en dos puntos, los cuales después se desbastan usando un disco abrasivo para retirar el apoyo.

Para el caso de la viga se debe realizar los agujeros de acceso y los biseles en los extremos si los procedimientos de soldadura lo especifican.



**Figura 1.5 Preparación de la viga antes del montaje**

### **1.1.3.2. Transporte y ubicación**

En esta etapa se transportan las vigas al sitio de montaje con la ayuda de una grúa, en algunas ocasiones se realiza el transporte manualmente. Una vez hecho esto se procede a ubicar la viga encima del apoyo provisional soldado en la columna, usando la grúa o un teclé. Una vez ahí se sitúa la viga en la posición correcta usando como guía las marcas hechas anteriormente en la columna. Se verifica la perpendicularidad con la escuadra y se verifica si la viga está en una posición horizontal utilizando un nivel de burbuja. Se comprueba medidas de referencia para saber si la viga está ubicada en la posición correcta.

Al realizar esta actividad se deben cumplir las medidas de seguridad pertinentes para evitar accidente y daños materiales. Todo el equipo de trabajo deberá estar usando lo siguiente:

- Casco.
- chaleco reflectivo.
- Botas antideslizantes y con protección en la punta.
- Arnés para cualquier obrero trabajando a una altura mayor a 1,8 metros.
- Gafas de protección.
- Guantes.



### **1.1.3.3. Soldadura**

El procedimiento para realizar la soldadura es de mucha importancia para el desempeño de la conexión, es por eso que el proceso de soldadura que es usado es un proceso precalificado por la norma AWS D1.1 especificados en el capítulo 3 de la misma. Un WPS viene a ser el documento donde se redacta todo el procedimiento de soldadura, desde los electrodos, material de aporte hasta las dimensiones del cordón. Sus siglas vienen de su nombre en inglés: Welding Procedure Specifications. Se pueden calificar nuevos procesos de soldadura, aunque esto no se suele hacer en la práctica.

El WPS para la conexión estudiada se encuentra en los anexos de este documento.

### **1.1.3.4. Limpieza e inspección**

Los cordones de soldadura terminados se dejan enfriar al ambiente, para después retirar la escoria de la soldadura usando una piqueta y un cepillo de alambre. Una vez hecho esto se hace una inspección visual para verificar la presencia de fisuras o de discontinuidades en el cordón de soldadura. Se verifica si se ha cumplido con lo establecido en el WPS. Los detalles que se deben revisar en la inspección visual se especifican en la sección 2.2.5.

También en esta sección se detallan otros tipos de ensayos que se llevan a cabo para inspeccionar la soldadura.

## **1.2. COMPORTAMIENTO DE LA CONEXIÓN**

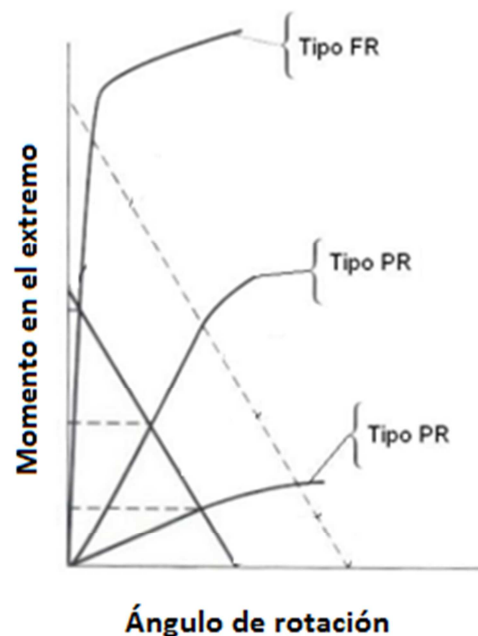
### **1.2.1. TIPOS DE CONEXIONES**

Las conexiones son los puntos donde se unen tanto vigas como columnas para formar la estructura que sostiene la edificación, estos elementos al irse sumando deben conservar continuidad con el fin de transmitir de manera planificada todas las cargas a la cimentación incluidas las de sismo en el caso

de los diseños de sistemas sismo resistentes (SLRS seismic load resistance system).

Las conexiones entre vigas y columnas según como se realicen se clasifican en Completamente restringidas (FR, fully restrained), Parcialmente restringidas (PR, partially restrained) y conexiones simples.

Las conexiones del tipo FR son capaces de proveer una restricción rotacional del 90 % o más, por su lado las conexiones PR son capaces de restringir el movimiento rotacional de un 20% a menos del 90%, y las conexiones simples tienen valores de restricción inferior al 20% por lo que prácticamente solo se diseña para resistir fuerzas de corte.



5

**Figura 1.6 Comportamiento de los tipos de conexiones definido por la AISC**

La conexión a estudiarse se clasifica como una totalmente restringida (FR), ya que en la misma se realiza una soldadura de filete en todo el perímetro de la

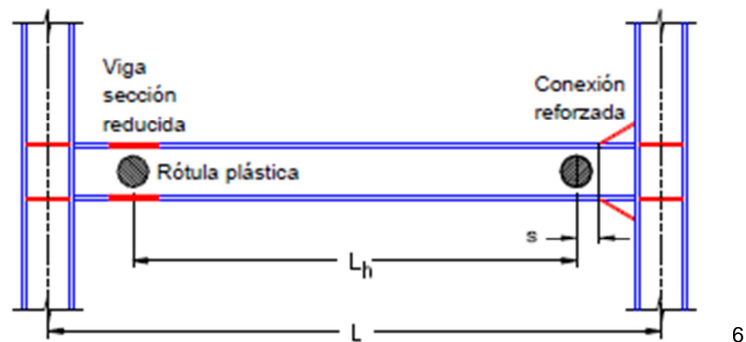
<sup>5</sup>Conexiones en Estructura Metálica, Luis Zapata Baglietto(Baglietto, 2007)

viga, además la viga está ubicada a tope con la columna, limitando de esta manera más del 90 % de la rotación de la conexión.

Sabiendo que la rótula plástica es el estado plástico que alcanzan todas las fibras de un elemento estructural en una zona al producirse una articulación en la sección transversal del mismo, los pórticos no arriostrados la usan como mecanismo de disipación de energía. Haciendo una inducción de la rótula plástica en el extremo de la viga mediante la utilización del concepto de viga débil-columna fuerte, ya que una columna que entre en deformación plástica genera más daño estructural que una viga que se haya deformado de esta manera.

Para todos los tipos de conexiones y en especial para los diseñados para mayor exigencia es la reubicación de la rótula plástica de tal manera que esta se aleje de la cara de la columna.

Para esto se procede a reducir la sección de las alas de la viga para debilitarla.

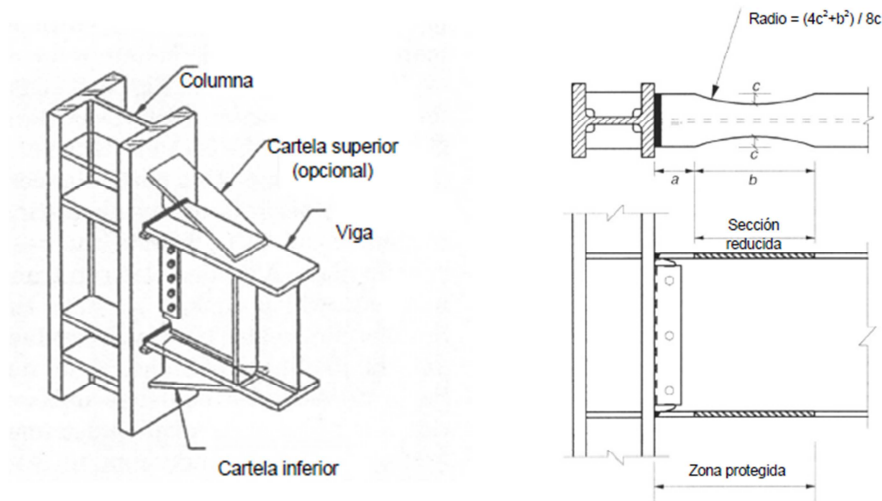


**Figura 1.7 Formación de la rótula plástica**

Otra manera de que se mantenga el concepto de columna fuerte es reforzar la columna cerca de la conexión mediante el uso de placas rigidizadoras.

<sup>6</sup>Diseño Sismorresistente de Construcciones de Acero(Crisafulli)

De la experiencia recogida la distancia adecuada para la formación de la



rótula plástica oscila entre 1/3 a 1/4 de  $d_b$  que es la altura de la viga.

7

**Figura 1.8 Ejemplos de conexiones que usan rigidizadores (izquierda) y sección reducida (derecha)**

A continuación se muestran algunas fórmulas tomadas del código FEMA 350 que permiten calcular valores de esfuerzos y momentos que se dan en el nudo donde se une la viga con la columna.

El valor probable del máximo momento de plastificación se calcula con la siguiente formula:

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_e \quad (1.3)$$

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.2 \quad (1.4)$$

DONDE:

$C_{pr}$  = factor de la fuerza de conexión pico

$R_y$  = relación de entre fluencia esperada y fluencia mínima

$F_y$  = esfuerzo de fluencia

$Z_e$  = modulo plástico de la sección en la zona de rótula plástica

$F_u$  = valor del esfuerzo ultimo del material

<sup>7</sup>Diseño Sismo-resistente de Construcciones de Acero(Crisafulli)

El corte por otro lado en la zona de rotula plástica se verifica bajo la siguiente ecuación:

$$V_p = \frac{M_{pr} + M_{pr} + P L'/2 + W L'^2/2}{L'} \quad (1.5)$$

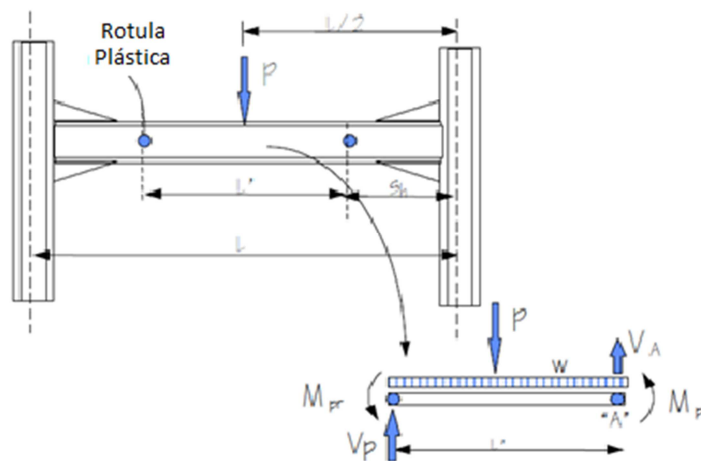
DONDE:

$M_{pr}$  = definido en la ecuación 1.3

$P$  = valor de la carga puntual en la mitad de la viga

$L'$  = distancia existente entre las dos rotulas plásticas en la misma viga

$W$  = representa la carga distribuida del peso de la viga entre las dos rotulas



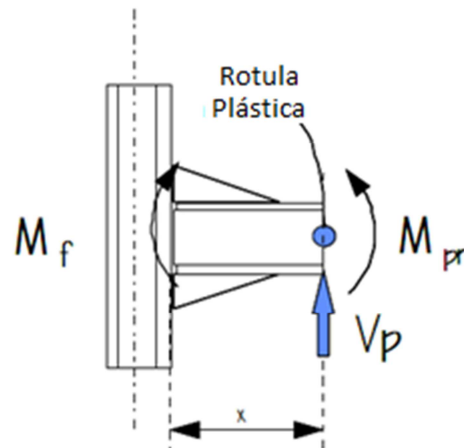
8

**Figura 1.9 Diagrama de cuerpo libre para el cálculo de los momentos de corte en rótula plástica**

<sup>8</sup>FEMA 350, "Recommended Seismic Design Criteria for new steel moment – Frame Buildings", Junio 2000(Agent, 2000)

Es importante de igual manera verificar los momentos generados en la columna por efectos de las cargas en las zonas críticas definidas en dos posiciones:

- El momento generado en la línea que atraviesa el medio de la columna



9

**Figura 1.10 Diagrama de cuerpo libre para determinar momentos en la columna**

$$M_f = M_{pr} + V_p x \quad (1.6)$$

DONDE:

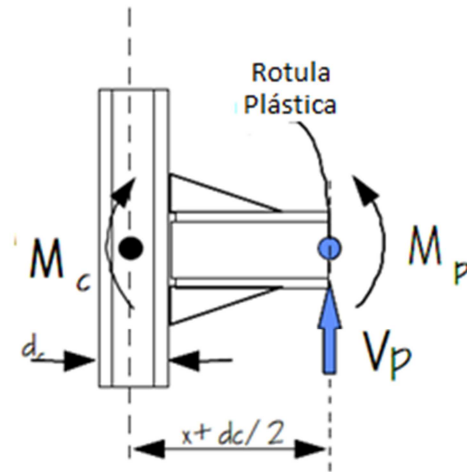
$M_{pr}$  = se define en la ecuación 1.3

$V_p$  = valor del esfuerzo de corte en la rótula plástica

$x$  = distancia da la cara que une a la viga y columna a la rótula plástica

<sup>9</sup>FEMA 350, "Recommended Seismic Design Criteria for new steel moment – Frame Buildings", Junio 2000(Agent, 2000)

- El momento generado en la cara donde se unen tanto columnas como vigas



10

**Figura 1.11 Diagrama de cuerpo libre para determinar momentos en la columna**

$$M_c = M_{pr} + V_p (x + d_c/2) \quad (1.7)$$

DONDE:

$M_{pr}$  = se define en la ecuación 1.3

$V_p$  = valor del esfuerzo de corte en la rótula plástica

$X$  = distancia da la cara que une a la viga y columna a la rótula plástica

$d_c$  = ancho de la columna ilustrado en la figura anterior

<sup>10</sup>FEMA 350, "Recommended Seismic Design Criteria for new steel moment – Frame Buildings", Junio 2000(Agent, 2000)

## **1.2.2. CONEXIONES EN PÓRTICOS NO ARRIOSTRADOS**

Los pórticos no arriostrados se clasifican en:

- Especiales (SMF)
- Intermedios (IMF)
- Ordinarios(OMF)

Cada uno con sus exigencias y sus aplicaciones que determinan el correcto uso de las mismas, es necesario señalar de manera reiterativa que debido a las exigencias sísmicas en el Distrito Metropolitano de Quito al estar en una zona categoría IV, requiere obligatoriamente el uso de pórticos especiales o intermedios.

### **1.2.2.1. Conexiones en pórticos especiales**

Los pórticos especiales resistentes a momento (SMF) son diseñados para un factor de respuesta sísmica  $R=8$  por lo que se considera que su exigencia es elevada, se idealiza para mínima deformación plástica fuera de la zona de vigas, es decir que tanto columnas como paneles nodales trabajaran en la zona elástica de deformación.

Consecuentemente con el grado de exigencia que tienen estos tipos de pórticos están obligados a utilizar conexiones precalificadas establecidas en la FEMA 350.

La conexión viga-columna debe ser capaz de rotar en la zona plástica al menos 0,04 radianes como distorsión total de piso, o distorsión de la rótula de 0,03 radianes.

Por otro lado la capacidad de flexión de la conexión que se mide en la cara de la columna para la distorsión de piso mínima total de piso de 0,04 radianes.



### **1.2.2.2. Conexiones en pórticos intermedios**

A pesar de ser pórticos diseñados con coeficientes  $R=4,5$ , es decir que se diseñan para disipar energía de una manera moderada exigen el uso de conexiones precalificadas y proveer los mecanismos para que solo las vigas de preferencia trabajen fuera de la zona elástica.

Las conexiones para este tipo de pórtico deben ser capaces de resistir una rotación plástica correspondiente a la distorsión total de piso de 0,02 radianes.

La resistencia al corte  $V_E$  debe ser verificada de la misma manera que para los SMF con la ecuación 1.5.

Para este tipo de pórtico en el panel nodal no se requieren de verificaciones adicionales como en el caso de las SMF.

### **1.2.2.3. Conexiones en pórticos ordinarios**

Estos pórticos son de exigencia menor que los anteriores ya que se diseñan para lugares de bajo riesgo sísmico, por lo que se utilizan factores  $R$  en el orden de 3,5.

En este tipo de pórticos las conexiones no deben ser necesariamente precalificadas sin que esto disminuya la responsabilidad sobre garantizar el desempeño de las mismas, para este caso se pudieran utilizar tanto conexiones parcialmente restringidas como totalmente restringidas.

## **1.3. ORIGEN Y ESTUDIO DE LA NORMA APLICABLE A LA PRECALIFICACIÓN**

### **1.3.1. ANTECEDENTES**

Tras el análisis de las estructuras afectadas en por el terremoto de Northridge ocurrido en el año 1994 en California se determina que muchas de las fallas que aparecieron durante el sismo fueron causados por deficiencia en los métodos para lograr la conexión viga-columna, donde identificaron las siguientes anomalías que clasificaron como críticas:

- La resiliencia del material de aporte de los electrodos utilizados tenia valores muy bajos, esto tras la aplicación del ensayo de Charpy en probetas con muesca en “V”
- La práctica durante el montaje de usar respaldos (Steel backing) utilizados para lograr juntas de penetración completa y no retirarlos luego generan problemas en la raíz de la soldadura.
- Prácticas incorrectas durante la soldadura en la que el material de aporte se calienta en exceso para aumentar la velocidad de deposición del material de aporte.

Junto con estas y otras observaciones apareció como una de las consecuencias del análisis el uso de conexiones precalificadas dejando atrás las prácticas denominadas pre-Northdrige y se decidió:

- La reubicación de la rótula plástica alejándola de la columna
- Aumentar la relación entre el momento flector que es capaz de tolerar la viga y el momento de plastificación de la misma.

Como refuerzo de esto se propone el uso de conexiones precalificadas para pórticos momento-resistentes o no arriostrados donde cada tipo de conexión pueda ofrecer al diseñador información y una guía al momento de diseñar la conexión especificando el alcance de la misma.

### **1.3.2. ESTUDIO DE LA NORMA**

El proceso de precalificación no busca incluirse para cada proyecto nuevo en una construcción sino únicamente en los casos de conexiones que no consten como precalificadas en el código, o cuando una conexión que consta como precalificada se usa fuera del alcance para la que fue probada.

Una conexión que sea tipificada como precalificada implicara que:

- Existe suficiente información experimental y analítica para asegurar que la conexión presenta adecuada capacidad de deformación plástica.
- Se dispone de modelos racionales para predecir la resistencia asociada a los distintos modos de falla y la capacidad de deformación, a partir de las propiedades geométricas y mecánicas de los elementos componentes.
- Los datos existentes permiten evaluar estadísticamente la confiabilidad de la conexión.

#### **1.3.2.1. PROGRAMA DE PRUEBA**

Este programa indica el código, se lo debe realizar siguiendo el apéndice S del código AISC 341.

Es preciso clarificar que este estudio evalúa las condiciones de un prototipo, es decir una conexión que pertenece a un pórtico de características geométricas, mecánicas y constructivas que están o van a ser usadas en una edificación, el análisis de este elemento se logra construyendo un espécimen de prueba o modelo que reconstruya esas condiciones.

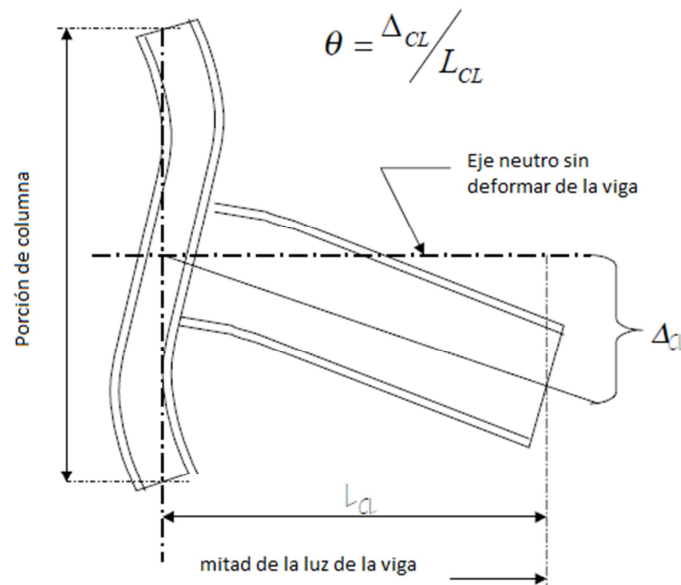
La configuración de prueba son todos aquellos elementos que al ser aplicados al espécimen de prueba permitirán transmitir carga y desarrollar el test. La combinación de la configuración de prueba y el espécimen generan el ensamblaje o conjunto de condiciones que materializan este protocolo.

Los resultados deben proporcionar información sobre el valor medio obtenido del ángulo de deriva o desplazamiento para los estados de pérdida de resistencia ( $\theta_{SD}$ ) y el denominado último ( $\theta_U$ ).

$\theta_{SD}$  = Es el ángulo en el cual se produce falla o la resistencia de la conexión es menor a la capacidad plástica esperada, cualquier situación que ocurra primero.

$\theta_U$  = Es el valor del ángulo cuando la conexión ha recibido un daño tan severo que si se continúa, la habilidad de resistir las cargas gravitacionales es incierta.

11



**Figura 1.12 Rotación angular del modelo tras la prueba de carga cíclica**

La secuencia de carga está especificado en el código de la manera en la que se indica en la siguiente tabla, considérese que un ciclo de rotación cíclica es el desplazamiento de un punto hasta regresar a su posición inicial pasando por un pico positivo y un negativo.

<sup>11</sup>FEMA 350, "Recommended Seismic Design Criteria for new steel moment – Frame Buildings", Junio 2000(Agent, 2000)

**Tabla 1.5 Protocolo de pruebas para el ensayo de carga cíclica<sup>12</sup>**

Carga N <sup>a</sup>	Valor Pico de deformación (rad)	Número de ciclos (n)
1	0.00375	6
2	0.005	6
3	0.0075	6
4	0.01	4
5	0.015	2
6	0.02	2
7	0.03	2

### **1.3.2.2. DOCUMENTACIÓN NECESARIA DE SER REPORTADA PARA QUE LA CONEXIÓN SEA PRECALIFICADA**

El código establece información básica que se debe presentar al momento de reportar el estudio y es la siguiente:

- Un dibujo o descripción clara del ensamblaje de prueba, incluyendo dimensiones clave, condiciones de frontera en los puntos de carga y de reacción, y la ubicación de apoyos laterales.
- Un dibujo del detalle de la conexión que muestre dimensiones de los elementos, grados del acero utilizado, los detalles de soldadura como material de aporte, y todos los detalles pertinentes de la conexión.
- Una lista en la que se hayan considerado todas las variables esenciales listadas en el código AISC 341-05 en su punto S2.
- Un listado o gráfica que muestre la carga aplicada o el historial de desplazamiento del espécimen de prueba
- Una lista de todas las soldaduras de demanda crítica
- Definir y enunciar que región de la conexión es una zona protegida
- Un gráfico de la carga aplicada versus el desplazamiento del espécimen de prueba. el desplazamiento mostrado debe ser medido en o cerca del

<sup>12</sup>FEMA 350, “Recommended Seismic Design Criteria for new steel moment – Frame Buildings”, Junio 2000(Agent, 2000)

punto donde se aplicó la carga. La localización de los puntos donde se toman las mediciones deben estar muy bien identificados.

- Un diagrama del momento aplicado en la viga en función del ángulo de deriva de piso. Estas dos variables deben ser calculadas en la línea neutra de la viga.
- La manera en que los componentes de la muestra contribuyen a la rotación inelástica total debido a fluencia o deslizamiento, así como que porcentaje de rotación aporta cada uno deberán ser identificados. El método utilizado para calcular rotaciones inelásticas también debe constar en el informe.
- Una lista cronológica de observaciones significativas de la prueba, incluyendo observaciones de fluencia, deslizamiento, inestabilidad y rotura de cualquier parte según corresponda.
- Describir el modo de falla y reportar si la prueba se detuvo antes de la falla cual fue la razón para tomar esta decisión.
- Los resultados de los ensayos realizados a los materiales de la conexión
- Las especificaciones del proceso de soldadura (WPS) y reportes del control de calidad en la soldadura

### 1.3.2.3. CRITERIO DE ACEPTACIÓN

El coeficiente de variación entre los ángulos de los dos estados no deberá superar el 10 % menos de la media, es decir menos de una desviación estándar y además no debe ser menor a los valores de la siguiente tabla:

**Tabla 1.6 Criterio de Aceptación para la prueba cíclica<sup>13</sup>**

Sistema estructural	Criterio de aprobación $\theta_{SD}$	Criterio de aprobación $\theta_U$
OMF	0.02	0.03
SMF	0.04	0.06

<sup>13</sup>FEMA 350, “Recommended Seismic Design Criteria for new steel moment – Frame Buildings”, Junio 2000(Agent, 2000)

En caso en que la relación entre la luz entre vigas y la altura de la viga sea menos que 8 se deben calcular los valores de criterio de aceptación con las siguientes formulas tomadas del código Fema 350:

$$\theta'_{SD} = \frac{8d}{L} \left( 1 + \frac{L-L'}{L} \right) \theta_{SD} \quad (1.8)$$

$$\theta'_U = \left( 1 + \frac{L-L'}{L} \right) \theta_U \quad (1.9)$$

Dónde:

$\theta'_{SD}$  = Criterio de aprobación para estado SD en el caso que  $L/d < 8$

$\theta_{SD}$  = Criterio de aprobación indicado en la tabla anterior

$\theta'_U$  = Criterio de aprobación para estado U en el caso que  $L/d < 8$

$\theta_U$  = Criterio de aprobación indicado en la tabla anterior

$L$  = Distancia entre centros de columna

$L'$  = Distancia entre probables rotulas plásticas

$d$  = Alto de la viga

#### 1.3.2.4. PRESENTACIÓN DE UNA CONEXIÓN PRECALIFICADA

Si la conexión cumpliera con los criterios de aceptación luego de documentar adecuadamente los procedimientos de prueba, existen detalles que se deben presentar con la finalidad de mostrar la información trascendental de la conexión para quien la quiera utilizar en sus diseños.

La información que se debe presentar es la siguiente:

- Una descripción general de la conexión donde se aprecie sus principales componentes y características
- Una descripción del comportamiento esperado en el rango elástico y plástico, indicando la localización del comportamiento inelástico controlando resistencia y deformación de la conexión.
- Enunciar para que sistemas es precalificada la conexión, ya sea para SMF o IMF

- Definir los límites en los que es precalificada la conexión en función de sus variables.
- Enumerar las soldaduras de demanda crítica
- Definir la parte de la conexión que es zona protegida
- Detallar el procedimiento de diseño de la conexión
- Lista de las referencias de los reportes de prueba, investigaciones y otras publicaciones que ayudaron con las bases de precalificación
- Resumen del control de calidad y los procedimientos que garantizan la misma.

#### **1.4. CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR REQUERIDA**

Una de las formas para asegurar que los cordones de soldadura se realicen de forma que cumplan con todos los requerimientos del WPS (Welding Process specification), es que los cordones sean realizados por soldadores calificados según la norma AWS D1.1.

La AWS D1.1 es el código para soldaduras en estructuras, y plantea todas las condiciones que se deben cumplir para que la estructura sea segura y con un diseño eficaz. Este Código contiene los requerimientos para la fabricación y el montaje de las estructuras de acero soldadas.

En el código AWS D1.1 se especifica que para realizar la calificación del soldador se deben preparar probetas que se analizan con diferentes ensayos dependiendo del tipo de soldadura y el espesor de las placas. Los diferentes ensayos que se deben realizar se muestran en la tabla siguiente, donde se limita solo a las soldaduras de filete y de ranura en placas, como es el caso de la conexión que se va a analizar:



**Tabla 1.7 Ensayos necesarios y parámetros que debe cumplir una soldadura de filete para calificar a un soldador**

Producción de soldadura de filete (Unión en T y oblicuas)		Número de especímenes					Dimensiones calificadas		Ángulos diedros calificados	
							Esesor nominal calificada, mm			
Tipo de soldadura de prueba	Esesor nominal de la placa de prueba (T) mm	Interrupción de la soldadura de filete	Macrografía	Doblado de lado	Doblado de raíz	Doblado de cara	Min	Max.	Min	Max
Opción Ranura a1 <sup>14</sup>	10	-	-	-	1	1	3	Ilimitado	30 °	Ilimitado
Opción Ranura a1 <sup>14</sup>	10 < T < 25	-	-	2	-	-	3	Ilimitado	30 °	Ilimitado
Opción Ranura a2 <sup>14</sup>	≥ 25	-	-	2	-	-	3	Ilimitado	30 °	Ilimitado

Opción filete 1 <sup>14</sup>	12	1	1	-	-	-	3	Ilimitado	60 °	135 °
Opción filete 2 <sup>14</sup>	10	-	-	-	2	-	3	Ilimitado	60 °	135 °
Opción filete 3 <sup>14</sup>	> 3	-	1	-	-	-	3	Ilimitado	30 °	Ilimitado

Fuente: AWS D1.1 2008 tabla 4.11

<sup>14</sup> Ver la los detalles de las figuras para realizar la soldadura en el anexo A

Al ser el soldador calificado se asegura que el mismo ha realizado las soldaduras que se proponen para la calificación del soldador, y que se han puesto a prueba según los ensayos propuestos en la tabla 1.7, obteniéndose resultados favorables. Se asegura de esta manera que el soldador puede realizar una soldadura de filete.

En la tabla 4.11 del AWS D1.1 se puede observar todas las pruebas y probetas que se deben realizar para llevar a cabo la calificación del soldador.

## **CAPÍTULO II**

### **DETERMINACIÓN DEL PROCESO DE PRECALIFICACIÓN<sup>15</sup>**

#### **2.1. VARIABLES**

Para efectos del proceso de precalificación se debe considerar la manera en la que inciden las siguientes variables en la conexión:

##### **2.1.1. PARAMETROS DE LOS PERFILES**

- Forma de la sección transversal
- Métodos de fabricación de la sección transversal
- Alto del perfil
- Peso del perfil por unidad de longitud (lb/ft)
- Espesor de la lámina de acero que lo conforma
- La relación alto- longitud del perfil
- Relación ancho espesor de la sección transversal
- Apoyos laterales

##### **2.1.2. RELACIONES VIGA-COLUMNA**

- Resistencia del panel nodal
- Relación de momentos entre la viga-columna

##### **2.1.3. SOLDADURA**

- Localización, medidas, número de pasadas, tipo (CJP, PJP, filete, etc.) y cualquier tipo de refuerzo que se utilice

---

<sup>15</sup> Proceso de precalificación enunciado en el apéndice S de la norma AISC 341

- El tipo de material de aporte y su resistencia, así como la tenacidad determinada por el ensayo de Charpy
- El detalle del uso de los apoyos de sujeción (Backing)
- Perforaciones de accesos para soldar, se debe considerar tanto dimensiones y acabado.
- Control y garantías acerca de la calidad en la soldadura.

#### **2.1.4. PARAMETROS DE LA MANO DE OBRA**

- Rugosidad de las superficies sometidas a corte térmico o esmerilado
- Tolerancias de los cortes
- La manera en que el soldador realiza su trabajo
- Presencia de elementos que hayan quedado del montaje y haya olvidado el trabajador

## **2.2. PROCEDIMIENTOS**

### **2.2.1. DETERMINACIÓN DE MEDIDAS REALES**

Todas las medidas usadas de los perfiles se deben registrar según las tomadas con los instrumentos de medición adecuados, no se podrán utilizar los datos brindados por el fabricante.

Las medidas deben ser representativas de la viga y columna más crítica utilizados en la construcción o prototipo.

Las medidas de los espesores que se han recogido de la visita a la construcción señalada han permitido adquirir valores para la conexión prototipo listadas en la sección 1.1.1.

### **2.2.2. DETERMINACIÓN DE LOS DETALLES DE LA CONEXIÓN**

Es importante representar en el espécimen de prueba todas las particularidades de la conexión como se logra en el campo al momento de construir el pórtico en la edificación, respetando el uso de materiales, disposición y métodos de fabricación similares.

Para efectos de la conexión que es motivo de este estudio se enunciaron las características propias de la misma en la sección 1.1 de este documento.

### **2.2.3. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LOS MATERIALES**

El uso de valores del esfuerzo de fluencia ( $F_y$ ) y esfuerzo último ( $F_u$ ) brindados por el fabricante no es permitido, para efectos de cálculos se deberán utilizar valores obtenidos mediante ensayos destructivos de tracción acorde con lo que dicta la ASTM A370 que brinden información de porciones de material utilizadas en alas y almas de vigas y columnas, con atención a los siguientes detalles:

Para reportar el esfuerzo de fluencia ( $F_y$ ) será necesario utilizar el método de compensación (offset method) al 0,2 % especificado en la sección 13.2.1 de la ASTM A370.

La tasa de aplicación de la carga debe procurar representar tanto como sea posible las condiciones a las que someterá al espécimen de prueba.

El límite elástico de la viga no deberá ser superior a 15 por ciento por debajo de  $R_yF_y$  para el grado de acero que se utilizará para los elementos correspondientes del prototipo.

Las columnas de la conexión no deberán presentar una tensión de fluencia fuera del rango de  $\pm 15\%$  de  $R_yF_y$  para el grado de acero a utilizarse.  $R_yF_y$  se obtendrá conforme a lo indicado en la sección 6.2 del código AISC 341-05

El código ASTM A370 aclarara cuestiones vinculadas con el ensayo de tracción como la forma de las probetas, las marcas de referencia utilizadas, la

orientación de las fibras en la máquina, velocidad de carga, como reportar los resultados entre otros.

#### **2.2.4. PLANIFICACIÓN DE LA SOLDADURA Y MONTAJE**

Al ser la soldadura un elemento crítico al momento de que la conexión desarrolle su capacidad adecuadamente en su planificación se deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- La soldadura deberá ser desarrollada en estricto cumplimiento con el WPS (Welding Procedure Specifications) como lo indica el código AWS D1.1.
- Las variables esenciales del WPS deberán ser tratados acorde lo indicado por la AWS D1.1 en el capítulo 4 dentro de los parámetros establecidos para materiales de aporte manufacturados.
- Los valores tanto de tenacidad y resistencia a la tracción del material de aporte no pueden ser los indicados por el fabricante, estos deben ser los obtenidos de los ensayos pertinentes para cada caso
- La resistencia a la tracción mínima del material de aporte utilizada en el espécimen de prueba debe ser la misma utilizada en el prototipo de prueba, por otro lado este valor no debe ser mayor a 25 Ksi (125 Mpa) por arriba del especificado para el prototipo.
- La tenacidad mínima del material de aporte usada en el espécimen de prueba es la que sea especificada para el prototipo, y no debe superar en más del 50% o 25 ft-lb (34KJ), lo que sea mayor, el valor mínimo de la tenacidad utilizada en el prototipo.
- Las posiciones en las que se realiza la soldadura tanto en el prototipo como en el espécimen de prueba deben ser las mismas
- Elementos de sujeción que ayudan en el montaje (baking) y perforaciones de acceso a la soldadura se deben utilizar de la misma manera en el espécimen y en el prototipo.
- Los datos de tenacidad y resistencia a la tracción se llevaran a cabo apegados al Apéndice X de la AISC 341-05 y el AWS B4.0

- El montaje de componentes del espécimen de prueba deberá seguir en detalle los procedimientos que en el campo se utilizan para fabricar el prototipo a fin de no afectar las relaciones de posición viga-columna

### **2.2.5. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

Los ensayos no destructivos son de carácter primordial en el control de calidad (QC) y por ende en las garantías de calidad (QA), propias de la conexión.

El código establece como NDT utilizados para verificar la calidad de la soldadura los siguientes ensayos:

- Inspección visual
- Tintas Penetrantes / Partículas Magnéticas
- Ultrasonido

Y establece que la inspección visual es la primera verificación que se debe realizar a cada elemento y deberá ser reportado prestando mayor interés en los siguientes aspectos:

- Identificación del tipo y grado del material
- Que este detallado para el soldador si la junta es de penetración completa o parcial.
- Que se respeten las dimensiones del diseño
- Acabado de las superficies
- Elementos de sujeción temporal para lograr la soldadura
- Verificar el cumplimiento de los WPS
- Verificar la buena administración de los consumibles de soldadura
- Verificar que las condiciones ambientales no perjudiquen los procesos
- Verificar que no se suelde sobre fisuras
- Acabado de la soldadura

Una lista de los elementos a inspeccionar de manera visual mostrado por el código AISC 341-05 se muestra en las siguientes tablas, donde se puede

apreciar que la inspección va desde que inicia el proceso hasta que finaliza con la apariencia del cordón de soldadura.

Las siglas que aparecerán en las tablas (O, P, D) refieren a lo siguiente:

O: se utiliza para inspecciones al azar de los ítems, estas inspecciones no tienen por qué retrasar los procesos o detenerlos en espera de ser revisados.

P: Estos ítems deberán ser controlados antes de la recepción definitiva del mismo.

D: deberán levantarse documentos para reportar la inspección de estos ítems, indicando a que elemento de la edificación corresponde y si existió reparación exitosa en caso de ser una falla inaceptable.

**Tabla 2.1 Parámetros de inspección visual antes del proceso de soldadura**

ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN VISUAL ANTES DE LA SOLDADURA	CONTROL DE CALIDAD	
	Actividad	Documentación
Identificación de los materiales (tipo y grado)	O	---
Detalles Constructivos Soldadura de Ranura	P/O	---
Verificar que exista el detalle si la junta es CJP o PJP		
Dimensionamiento		
Condiciones de la caras de los métales a soldar		
Puntos de soldadura provisional (tacking weld)		
Apoyos provisionales (backing)		
Disposición y acabado de las perforaciones de acceso	O	---
Detalles constructivos de la soldadura de filete	P/O	---
Dimensionamiento		
Condiciones de la caras de los métales a soldar		
Puntos de soldadura provisional (tacking weld)		

Fuente: AISC 341-05



**Tabla 2.2 Parámetros de inspección visual durante el proceso de soldadura**

ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN VISUAL DURANTE DE LA SOLDADURA	CONTROL DE CALIDAD	
	Actividad	Documentación
WPS a seguir	O	---
Parámetros de los equipos de soldadura		
Velocidad de avance		
Materiales seleccionados para la soldadura		
Gas de protección utilizados		
Pre calentamiento que se aplica		
Temperatura de trabajo mantenida		
Posición de trabajo		
Uso de varios materiales de aporte si es el caso	O	---
Uso de soldadores calificados		
Control y manipulación de consumibles	O	---
Empaquetamiento		
Control de Exposición al ambiente		
Condiciones Ambientales	O	---
Ráfagas de viento existentes		
Precipitaciones y Temperatura		
Técnicas de Soldadura	O	---
Limpieza entre pasadas y final		
Consideración de las limitaciones		
Consideración de los requerimientos de calidad		
No soldar sobre puntos de suelda provisional en mal estado	O	---

Fuente: AISC 341-05

**Tabla 2.311 Parámetros de inspección visual después del proceso de soldadura**

ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN VISUAL DESPUÉS DE LA SOLDADURA	CONTROL DE CALIDAD	
	Actividad	Documentación
Limpieza de la soldadura	O	---
Identificación del soldador legible	O	---
Verificación geométrica de la soldadura	O	---
Verificación Visual de los criterios de aceptación	P	D
Prohibiciones de fisuras		
Fusión de los materiales base y aporte		
Perfiles de soldadura		
Tamaño de soldadura		
Acabado de los cortes		
Porosidad		
Colocación de cordones de refuerzo	P	D
Placas de apoyo removidas y el acabado de la zona afectada	P	D
Actividades de reparación	P	---

Fuente: AISC 341-05

Los ensayos de ultrasonido en las juntas de penetración completa (CJP) deben realizarse en el 100 por ciento de ranura CJP en materiales de espesor igual o mayor a 8mm. Los ensayos de ultrasonido en materiales de menos de 8 mm de espesor no son necesarios. El ensayo de tintas penetrantes y partículas magnéticas se llevará a cabo en el 25 por ciento de todos los cordones CJP en la conexión viga columna.

De existir una conexión cuyo metal base tenga un espesor de 38 mm y esté cargado a tensión a través de la dirección del espesor en juntas en T, donde el material conectado a esta sea de un espesor mayor a 19mm y contenga una junta de penetración completa se deberá utilizar ultrasonido para

identificar las discontinuidades detrás y alado de la línea de fusión. Las discontinuidades encontradas deberán aceptarse o rechazarse de acuerdo al criterio expuesto en la tabla 6.2 de la AWS D1.1.

Las superficies que hayan sido sometidas de la viga a corte térmico deberán ser analizadas mediante partículas magnéticas o tintas penetrantes si el espesor del alma es superior 38 mm.

Los espacios donde hayan sido removidos elementos de sujeción utilizados como apoyo de la soldadura en el proceso de montaje deberán ser sometidos a tintas penetrantes.

#### **2.2.6. ENSAYO DE CARGA CÍCLICA**

El ensayo de carga cíclica se llevara a cabo para cumplir con el protocolo indicado en la sección 1.4.1, para efectos de cumplir con este objetivo deberán diseñarse las adaptaciones para transmitir carga, apoyos necesarios y ubicación de los instrumentos de medición necesarios que permitan la recopilación de la información que se requiere para elaborar los informes y concluir sobre el desempeño de la conexión.

Como se indicó las longitudes al igual que la disposición de los apoyos se planean adaptar a las capacidades de los equipos disponibles para hacer el ensayo.

De manera propuesta los apoyos para la columna serán un apoyo fijo para el extremo se supone va a la cimentación y en apoyo móvil para el extremo se supone ubicado al lado que apunta al piso superior de la edificación.

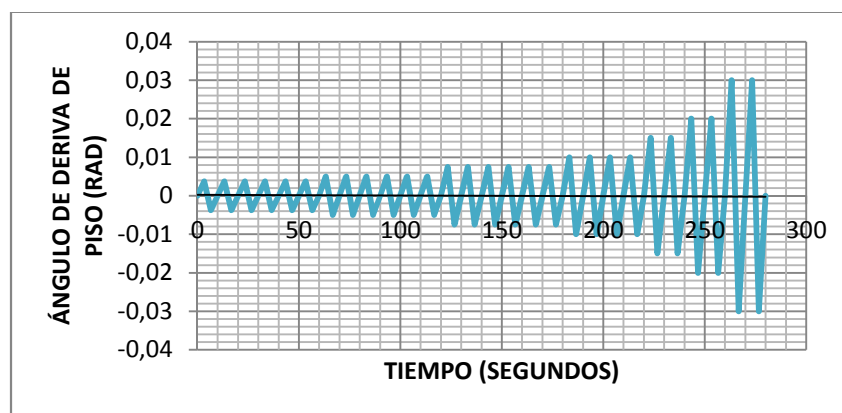
La carga puntual se hará en un extremo de la viga con el fin de generar el momento necesario para generar los ángulos de distorsión requeridos.

De la tabla 2.4 “Protocolo de pruebas para el ensayo de carga cíclica” se observa que el número de ciclos al que se espera someter a la conexión será de 28, si es que la conexión no presenta falla antes de este valor.

**Tabla 2.4 Protocolo de pruebas para el ensayo de carga cíclica**

Longitud de viga (mm)	PROTOCOLO DE CARGA	
2200		
Numero de ciclos	Angulo de deriva de piso (rad)	Deflexión a 400 mm (mm)
6	0.00375	1,5
6	0.005	2
6	0.0075	3
4	0.01	4
2	0.015	6
2	0.02	8
2	0.03	12

Experiencias recogidas de otras experiencias publicadas han señalado que en cierta medida la respuesta inelástica depende del protocolo de pruebas, por lo que se ha encontrado la recomendación de cumplir 1 ciclo en un tiempo aproximado de 10 segundos, es decir una frecuencia de 0,1 Hz con el fin de apreciar de mejor manera los fenómenos que acontezcan, por lo que se plantea este valor como tentativo al desarrollar el ensayo.



**Figura 2.1 Variación del ángulo en función del tiempo para el protocolo de carga exigido**

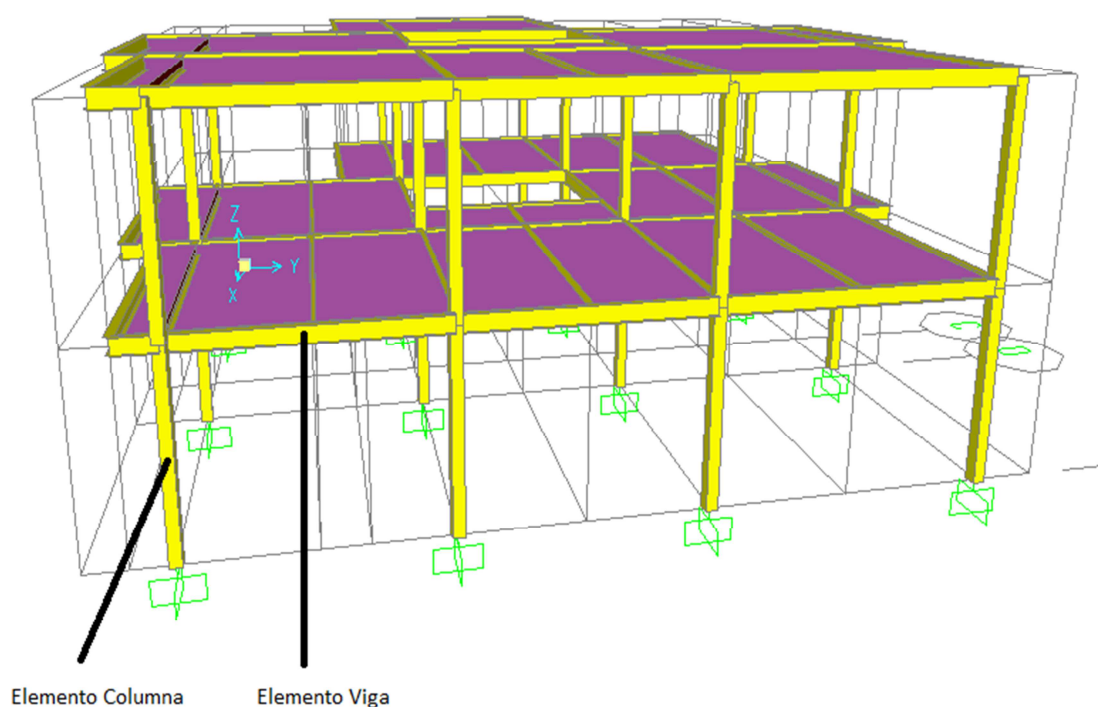
## CAPÍTULO III

### SIMULACIÓN POR ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

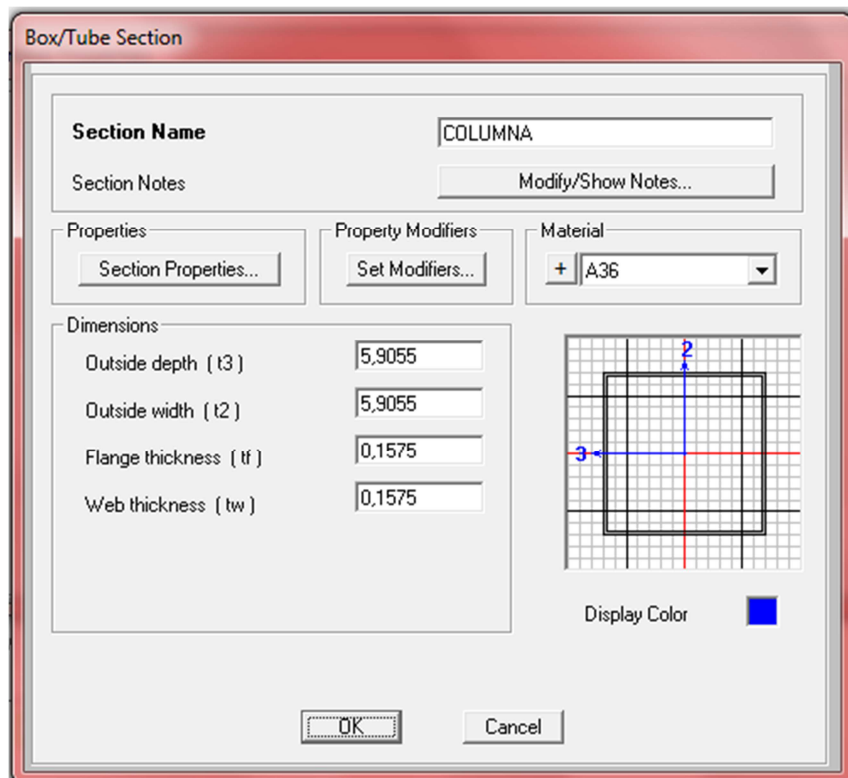
#### 3.1. SIMULACIÓN DE LAS CONDICIONES A LAS QUE ESTA SOMETIDA LA CONEXIÓN DENTRO DE UNA ESTRUCTURA MEDIANTE SOFTWARE DE ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

La simulación de la estructura se la realizo en el programa SAP 2000 Versión 14, donde se juntaron las cargas vivas, muertas y de sismo siguiendo lineamientos descritos en el Código Ecuatoriano de la Construcción y en la ASCE 07-05.

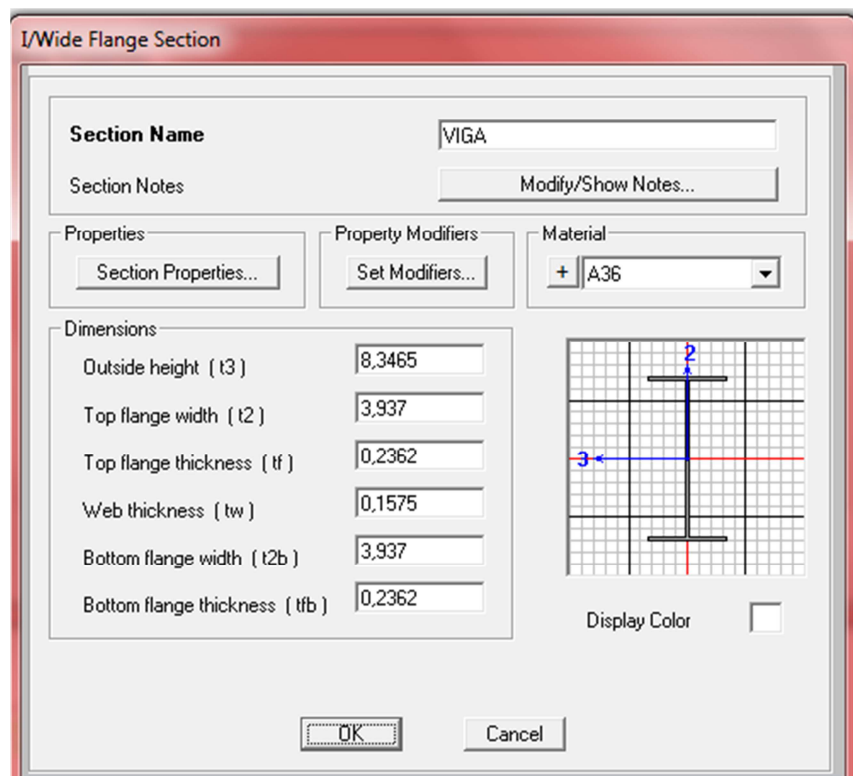
La estructura de estudio está destinada a uso residencial y su distribución se completa en dos plantas de área útil de construcción de 260 y una altura de 5 m, las losas son hechas de hormigón fundidas sobre láminas de deck metálico distribuidas por kubiec (kubilosa).



**Figura 3.1 Estructura antes de la aplicación de cargas**

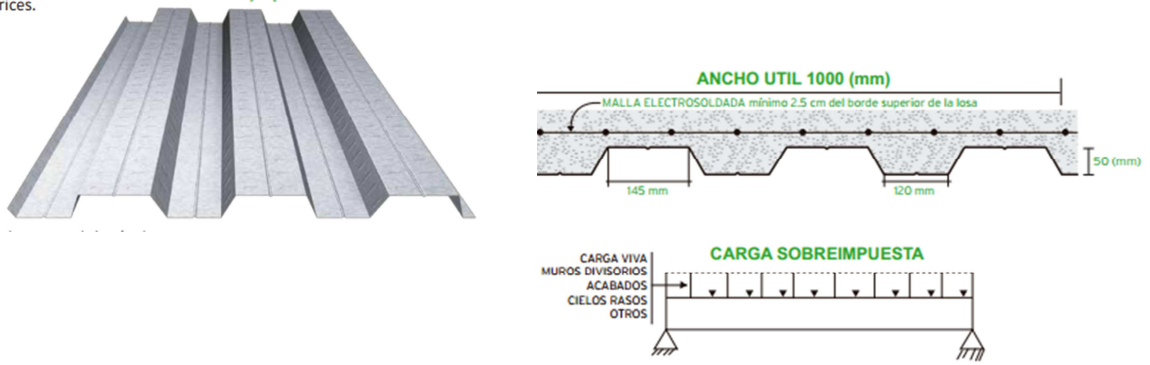


**Figura 3.2 Sección del elemento columna (in)**



**Figura 3.3 Sección del elemento viga (in)**

trices.



**Figura 3.4 Sistema de losa utilizado en la estructura<sup>16</sup>**

### 3.1.1 CARGAS

Se determinó la carga muerta con los siguientes valores:

**Tabla 3.1 Carga muerta aplicada en la estructura**

DESCRIPCIÓN	PESO (Kg/m <sup>2</sup> )	CARGA DISTRIBUIDA SOBRE LA ESTRUCTURA (Kgf/m <sup>2</sup> )
Muros de media asta con unidades de mampostería hueca de 15 mm de espesor	239,63	322
Baldosa de cerámica de 19 mm sobre mortero de 13 mm	78,52	78,52
Peso de la losa (hormigón fc210 densidad: 2200 kg/m <sup>3</sup> )	174,98	174,98
<b>TOTAL</b>		<b>575,5</b>

Fuente: ASCE 07-05

<sup>16</sup><http://www.kubiec.com/catalogos/HOJA%20TECNICA%20KUBILOS.A.pdf>

Para la carga viva el código ASCE 07-05 sugiere para aplicaciones residenciales una carga de 85,59 kg/ .

Para la simulación del sismo estático el programa requiere que especifiquemos el valor del coeficiente para el calcular el corte basal (base shear coeficient)

$$V = \frac{ZIC}{R\Phi_p\Phi_E} \quad (3.1)$$

Dónde:

Z = valor para el tipo de zona sísmica (Pichincha 0,4)

I = Factor de importancia de la estructura (Residencial 1)

R = coeficiente de reducción de respuesta estructural (Estructura metálica 7)

$\Phi_p$  = coeficiente de discontinuidad de planta (0,9)

$$\Phi_p = \Phi_{Pa} * \Phi_{Pb} \quad (3.2)$$

$\Phi_p = 0,9 * 1$  (Discontinuidad tipo 2)

$\Phi_{PA}$  = El mínimo valor  $\Phi_{Pj}$  de cada piso i de la estructura, obtenido de la tabla 5, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 1, 2 y/o 3 ( $\Phi_{Pj}$  en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para las tres irregularidades)

$\Phi_{PB}$  = Se establece de manera análoga, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 4 y/o 5 en la estructura.

$\Phi_E$  = coeficiente de discontinuidad de elevacion

$$\Phi_E = \Phi_{EA} * \Phi_{EB} * \Phi_{EC} \quad (3.3)$$

$$\Phi_E = 1 * 0,9 * 1 \text{ (Discontinuidad tipo 3)}$$

Dónde:

$\Phi_{EA}$  = El mínimo valor  $\Phi_E$  de cada piso i de la estructura, obtenido de la tabla 6; para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 1 y/o 5 ( $\Phi_{Ej}$  en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para las dos irregularidades).



$\Phi_{EB}$  = Se establece de manera análoga, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 2 y/o 3 en la estructura,

$\Phi_{EC}$  = Se establece para cuando se encuentre presente la irregularidad tipo 4 en la estructura.

$$C = \frac{1,25 S^S}{T} \quad (3.4)$$

Dónde:

S = factor de tipo de suelo (suelo intermedio 1,2)

T = Periodo de vibración

$$T = C_t (h_n)^{3/4} \quad (3.5)$$

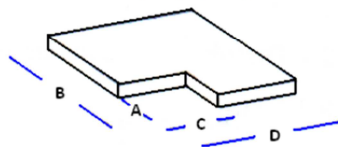
Donde

$C_t = 0,09$  (para pórticos de acero)

$H_n$  = altura máxima de la edificación

*Tipo 2 – Retrocesos excesivos en las esquinas –  $\Phi_{pi} = 0,9$*

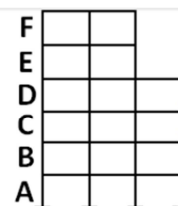
$A > 0,15$  y  $C > 0,15 D$



**Figura 3.5** Discontinuidad de planta encontrada en la estructura

*Tipo 3 – Irregularidad Geométrica -  $\Phi_{Ei} = 0,9$*

$a > 1,30 b$



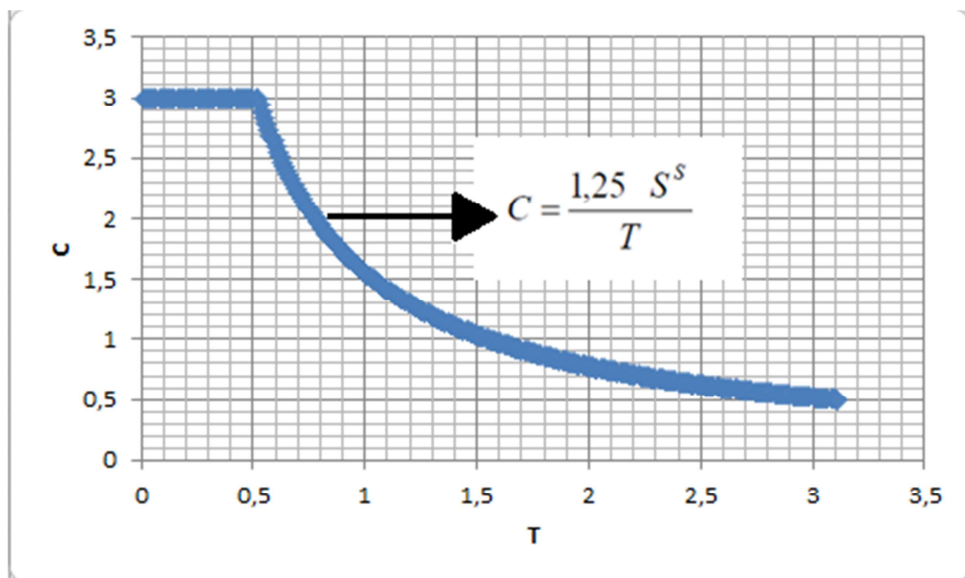
**Figura 3.6** Discontinuidad de elevación encontrada en la estructura

**Tabla 3.2 Resumen de factores para encontrar Coeficiente de corte de base**

V = 0,3647	
COEFICIENTE	VALOR
Z	0,4
I	1
C	5,15
$\Phi_p$	0,9
$\Phi_E$	0,9
R	7
S	1,2
T	0,3
Ct	0,09
hn	5

Fuente: Información tomada del Código Ecuatoriano de la Construcción

Para simular el sismo dinámico, el programa requiere que se introduzca una función del comportamiento del espectro de aceleración. Para hacer esto se recurre al CEC, obteniendo lo siguiente:



**Figura 3.7 Espectro de aceleración utilizado en la simulación**

El CEC especifica que  $C_m$  es el mayor valor al que puede llegar la variable  $C$ , que para suelos intermedios tiene un valor de 3. El menor valor de  $C$  siempre va a ser 0,5.

Las combinaciones de carga que se utilizaron fueron las siguientes:

$$1,4D \quad (3.6)$$

$$1,2D + 1,6L \quad (3.7)$$

$$1,2D + 1E_{esp} + 1L \quad (3.8)$$

$$1,2D + 1E + 1L \quad (3.9)$$

Dónde:

D: Carga muerta

L: Carga viva

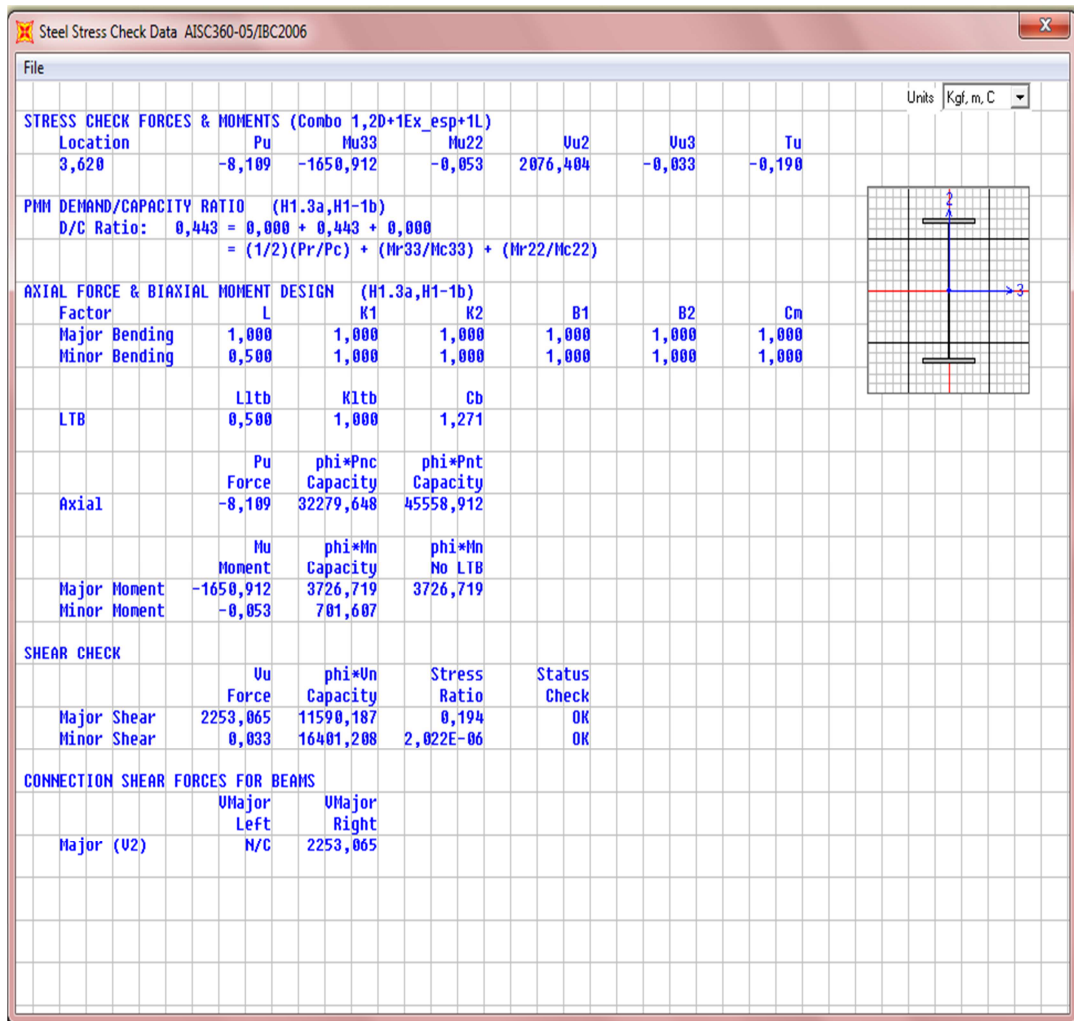
E: Carga de sismo estático

Eesp: Carga de sismo dinámico

### 3.2. RESULTADOS

Al concluir la simulación se encontró que todos los elementos estructurales cumplen con el diseño por demanda capacidad según el código de análisis que es el AISC 360-05. Un ejemplo de esto son los detalles que entrega el programa para el elemento más esforzado, los cuales se presentan a continuación:

En este elemento en particular la combinación de cargas más crítica resultado del análisis, es la que considera entre sus factores la carga viva, muerta y el sismo dinámico que se define en la ecuación 3.8:



**Figura 3.8 detalles presentados por SAP2000 de la verificación de la estructura**

Las gráficas de momento y corte presentadas para este elemento, analizado bajo esta combinación de carga se muestran en las siguientes figuras:

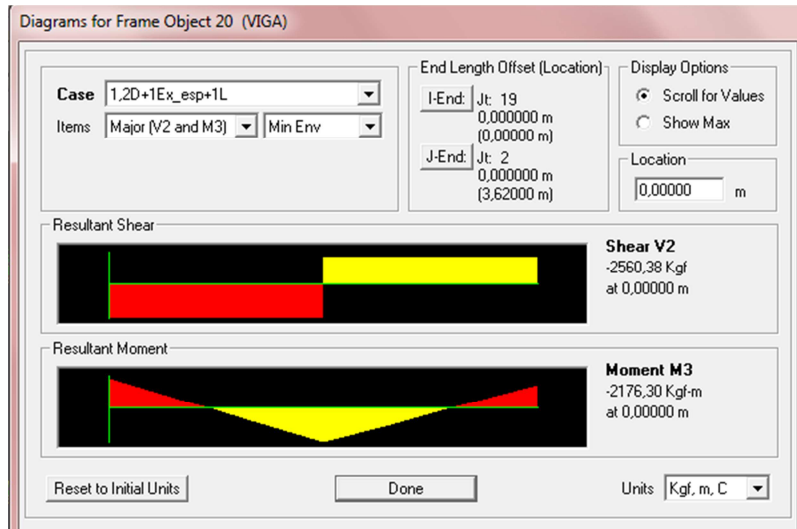


Figura 3.9 Diagrama de momento y corte del elemento más esforzado (valores para  $x=0$  mm)

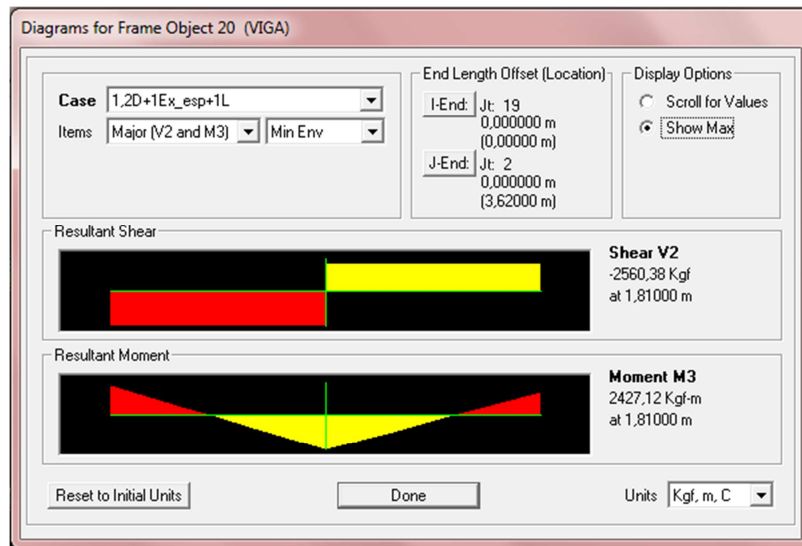
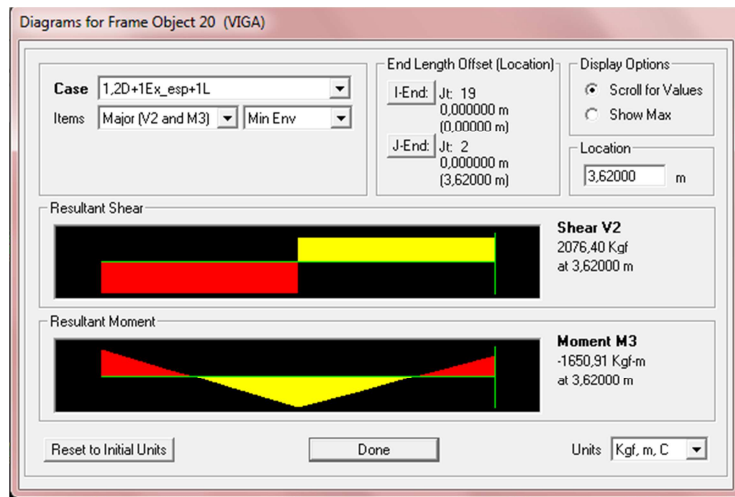
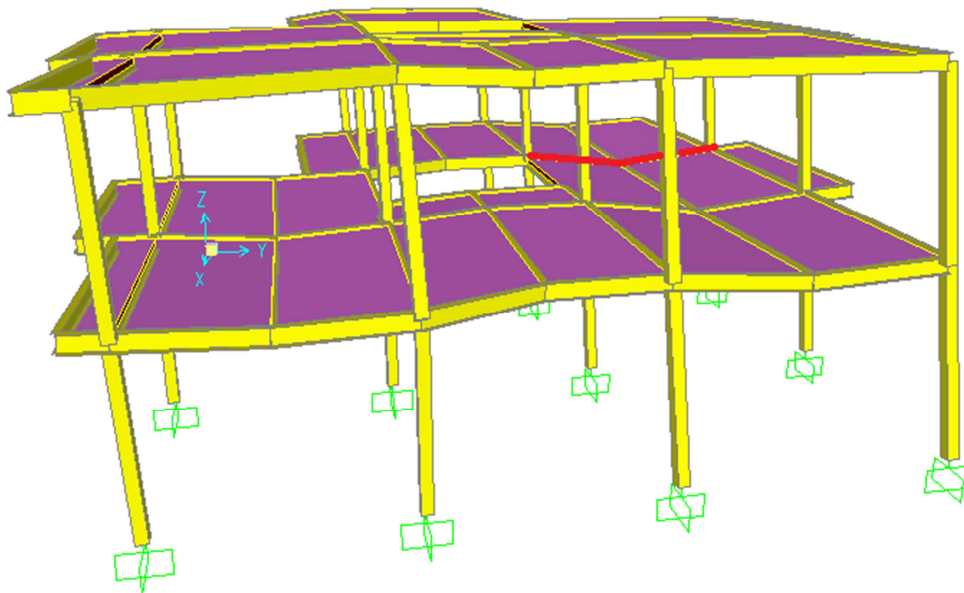


Figura 3.10 Diagrama de momento y corte del elemento más esforzado (valores para  $x=1810$  mm)

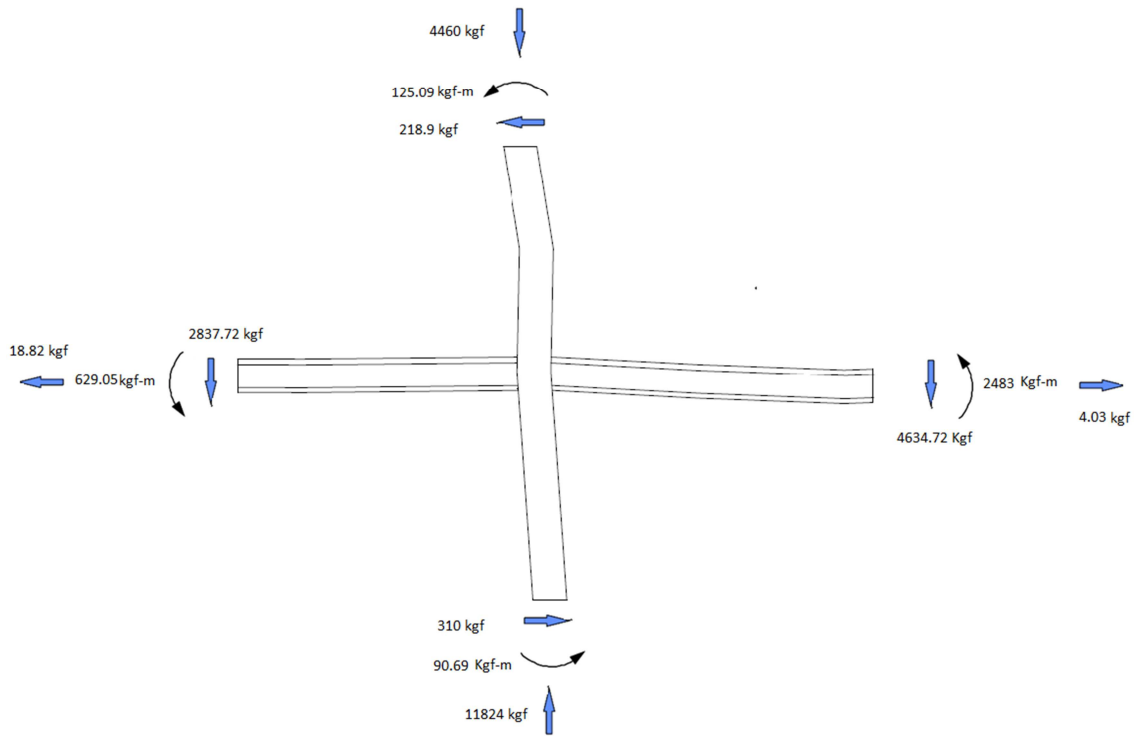


**Figura 3.11 Diagrama de momento y corte del elemento más esforzado (valores para  $x=3620$  mm)**

Para esta combinación de cargas la deformada total de la estructura presentada por el programa es la mostrada en la figura, siendo importante destacar que todos los elementos permanecen en la zona elástica.



**Figura 3.12 Deformada de estructura residencial para combinación de carga , en rojo aparece el elemento más esforzado de la estructura**



**Figura 3.13 Fuerzas y Momentos alrededor de la conexión más crítica más esforzada en el plano y-z a la mitad del elemento más crítico**

# CAPÍTULO IV

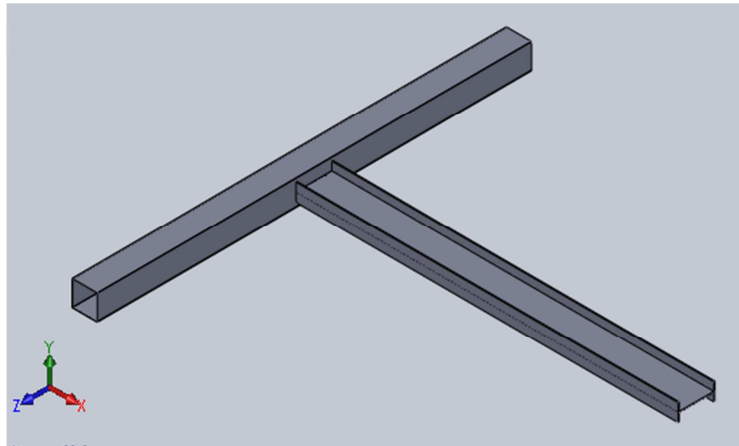
## DISEÑO DEL MODELO DE PRUEBA

### 4.1. ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DE LA CONEXIÓN

Al estar definidas de antemano las medidas de la conexión así como el tipo de material en el presente capítulo se analizarán las cargas a las que se debería someter la conexión para lograr los desplazamientos que exige el código, para determinar estas cargas se utilizó el programa ANSYS versión 11, con el cual se puede realizar análisis estructurales utilizando como herramienta principal los elementos finitos. Además se utilizó como software de apoyo para realizar la geometría en tres dimensiones el programa SolidWorks.

Al permitir el código FEMA 350 que la prueba se realice con el espécimen de prueba en cualquiera de los tres ejes coordenados, siempre y cuando se respete la relación de posición entre la viga, la columna y la posición de las cargas, hemos decidido ubicar a todos los extremos de la conexión en el Plano "XZ", es decir a nivel del piso y las fuerzas perpendiculares a la viga a lo largo del Eje "Z", esto con el fin de facilitar el diseño de los mecanismos de transmitir carga al ser una posición más cómoda para ubicar gatos hidráulicos respecto al espécimen de prueba.





**Figura 4.1 Ubicación de la conexión en los ejes coordenados, siendo “XZ” el suelo**

Cabe aclarar algunas consideraciones que se hicieron en la simulación, tales como los tipos de apoyos, el tipo de elemento que se va a utilizar para realizar el mallado, el tipo de mallado y el tipo de análisis. Estas consideraciones van a influir de gran manera en la respuesta de la conexión al empezar a deformarla.

En el ensayo, tanto el virtual como el real, se debe recrear dos tipos de apoyos en la columna, uno de tipo pasador, el cual se encuentra en uno de los extremos de la columna, y uno de tipo rodillo, que se encuentra en el extremo opuesto de la columna, permitiendo el desplazamiento longitudinal. Por lo tanto en los apoyos no existen momentos de reacción.

La aplicación de la carga se la hará en el extremo de la viga opuesto a la columna con el fin de aprovechar el brazo de palanca para disminuir las cargas que se deben aplicar y manejar deflexiones que sean más fáciles de medir.

La geometría utilizada en las simulaciones es la detallada en la sección 1.1.1 de este documento donde la longitud de la columna es de 2500 mm y la longitud de viga es 2000 mm, medidas reales de una construcción en el DMQ.

#### **4.1.1. ANALISIS ESTÁTICO**

En este software se trabajó con las unidades de medición por defecto que son:

Fuerza: N

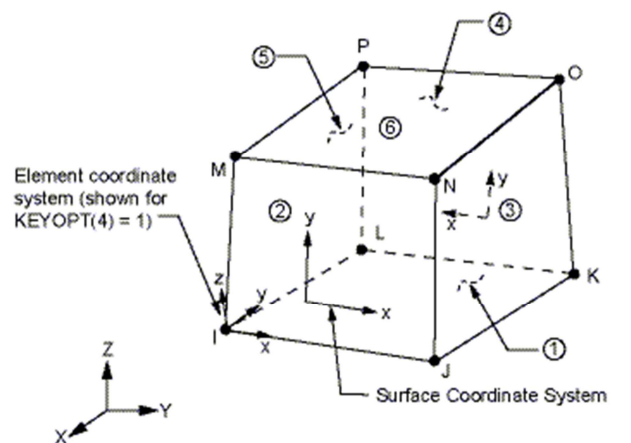
Longitud: mm

El tipo de análisis que se utilizó fue "Static"

El gráfico en tres dimensiones se lo realizó en Solidworks como un solo elemento y fue importado a Ansys en formato .IGES.

En las propiedades del material se utilizó como módulo de elasticidad E el valor de  $210.000 \text{ N/mm}^2$ , y para el módulo de Poisson se utilizó el valor de 0,33. Estos valores están en concordancia con las propiedades mecánicas del acero ASTM A36.

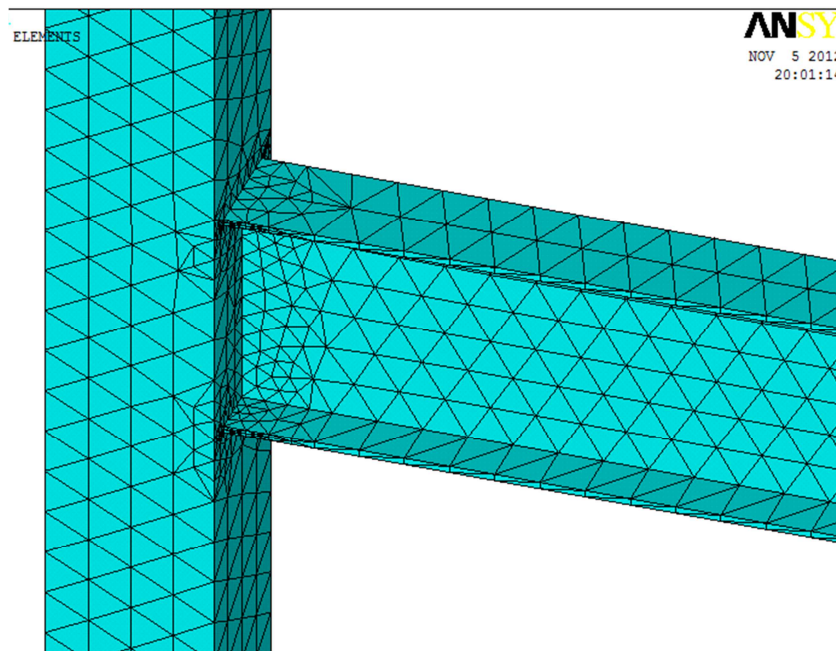
El tipo de elemento finito utilizado en el programa para poder realizar la simulación fue el elemento de ANSYS 8brick45, el cual es un elemento rígido que es usado en la modelación de estructuras en tres dimensiones y está definido por ocho nodos, teniendo cada nodo tres grados de libertad, traslación en los ejes x, y, z.



**Figura 4.2 Elemento finito Solid 45**

Para el mallado se realizaron dos distintos tamaños en la figura, uno para toda la estructura, y uno más detallado para la zona de la conexión. Esto se

realiza para obtener resultados más precisos en la zona de la conexión, en la que se enfoca este estudio.



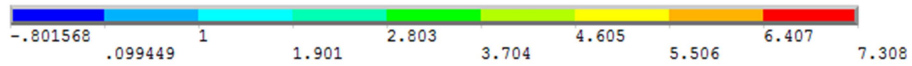
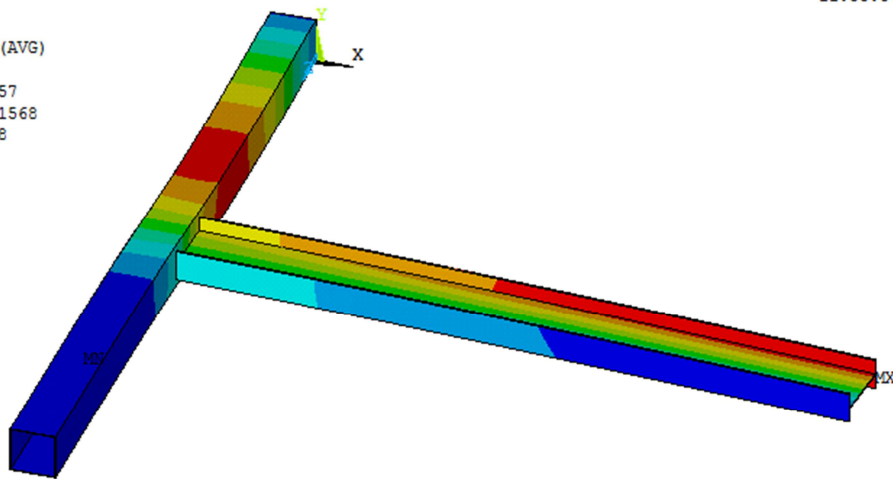
**Figura4.3 Mallado para simulación en ANSYS**

Al ingresar los datos del sistema en Ansys pudimos obtener valores de las fuerzas necesarias, así como los puntos críticos donde se desarrollan los esfuerzos equivalentes de Von Mises, desplazamientos del espécimen a lo largo de los ejes “X” y “Z”.

Para el caso de la deflexión más importante se obtuvieron las siguientes graficas:

NODAL SOLUTION  
 STEP=1  
 SUB =1  
 TIME=1  
 UX (AVG)  
 RSYS=0  
 DMX =66.357  
 SMN =-.801568  
 SMX =7.308

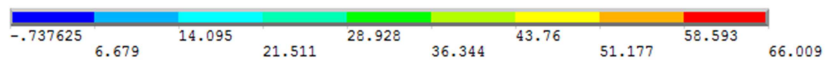
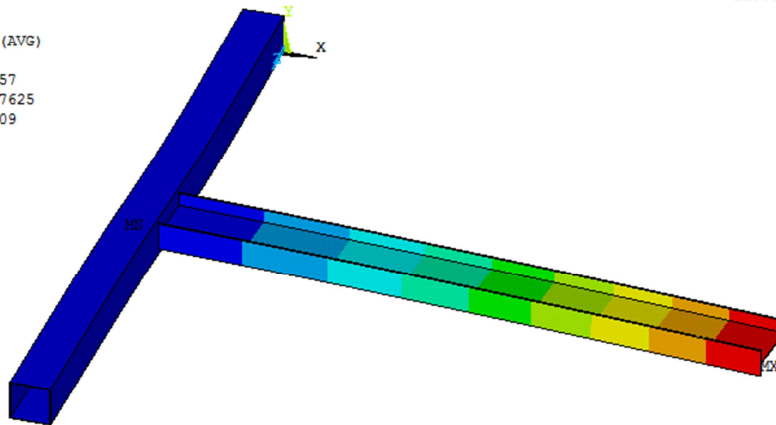
**ANSYS**  
 DEC 3 2012  
 11:55:04



**Figura 4.4** Desplazamientos a lo largo del Eje “X”, cuando la carga genera un Angulo de deriva de piso de 0,03 rad.

1  
 NODAL SOLUTION  
 STEP=1  
 SUB =1  
 TIME=1  
 UZ (AVG)  
 RSYS=0  
 DMX =66.357  
 SMN =-.737625  
 SMX =66.009

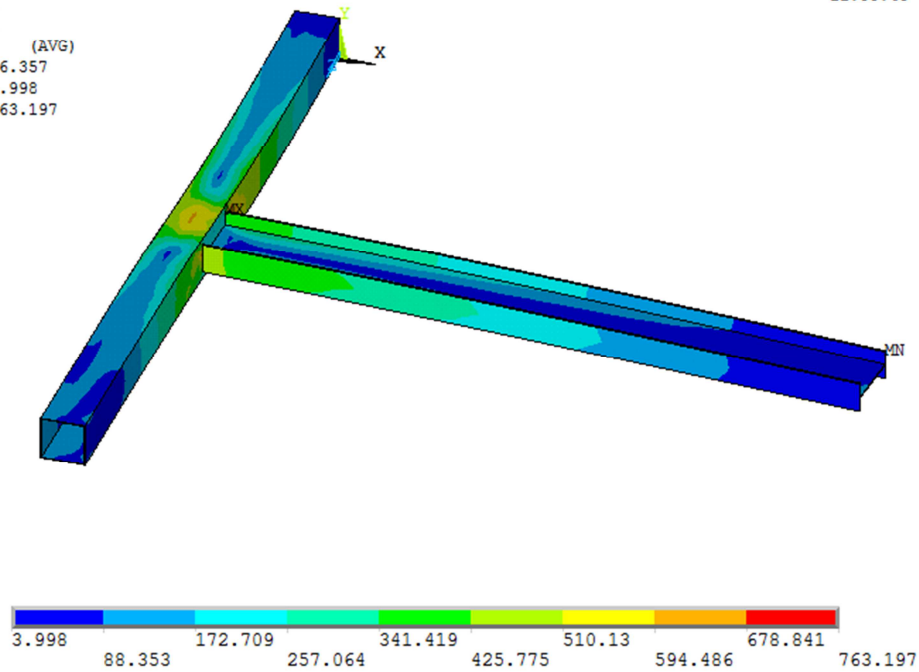
**ANSYS**  
 DEC 3 2012  
 11:53:10



**Figura 4.5** Desplazamientos a lo largo del Eje “Z”, cuando la carga genera un Angulo de deriva de piso de 0,03 rad.

NODAL SOLUTION  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
SEQV (AVG)  
DMX =66.357  
SMN =3.998  
SMX =763.197

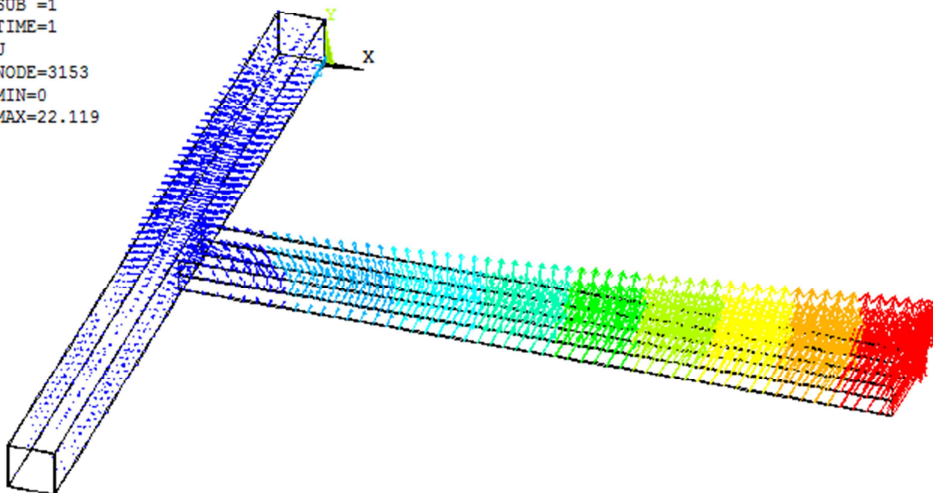
ANSYS  
DEC 3 2012  
11:55:40



**Figura 4.6** Distribución del Esfuerzo Equivalente de Von Mises cuando la carga genera un Angulo de deriva de piso de 0,03 rad.

1  
VECTOR  
STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
U  
NODE=3153  
MIN=0  
MAX=22.119

ANSYS  
DEC 3 2012  
17:54:12



**Figura 4.7** Deformaciones generadas tras la aplicación de la carga en el sistema

Todos estos gráficos y valores ayudan a visualizar con anticipación de alguna manera lo que sucederá en el test, información importante a fin de diseñar los por menores de los mecanismos para transmitir carga, así como del sistema que genere el espacio para ubicar todos los elementos del test.

Principalmente la simulación fue hecha con el objetivo de determinar las cargas que se esperen necesarias para generar los desplazamientos y se resumen en la siguiente tabla, una ventaja de cargar en este plano es que tanto fuerzas positivas y negativas serán iguales, lo que no sucede si se ubica viga y columna en su posición normal de trabajo donde el valor de las fuerzas estaría influenciado por la acción de la gravedad.

**Tabla 4.1 Fuerzas necesarias para lograr desplazamientos**

<b>Deflexión requerida en el extremo de la viga (mm)</b>	<b>Deflexión lograda en el extremo d la viga (mm)</b>	<b>Fuerza Aplicada (Tnf)</b>
±8,25	-8,92	-0,51
	8,18	0,51
±11	-11,52	-0,65
	11,45	0,65
±16,5	-17,00	-0,76
	16,59	0,76
±22	-22,50	-0,91
	23,10	0,91
±33	-34,40	-1,10
	35,00	1.10
±44	-46,91	-1,55
	47,51	1,55
±66	-66,30	-2,80
	68,50	2,80

# CAPÍTULO V

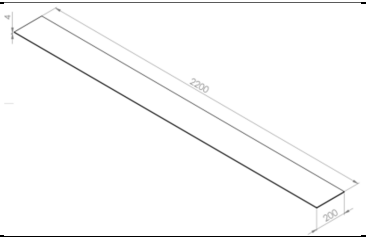
## CONSTRUCCIÓN





### 5.1. FABRICACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS

En nuestro país los perfiles I se fabrican por medio de soldadura de placas metálicas, a diferencia a otros países donde los perfiles pueden ser laminados en caliente. Las soldaduras normalmente se realizan mediante procesos automáticos, como el proceso SAW (soldadura por arco sumergido), como es el caso de la empresa Kubiec. También se realizan las soldaduras por procesos de soldadura semiautomáticos, como el proceso GMAW (soldadura de arco metálico con gas de protección) como es el caso de los perfiles estudiados.

Las columnas tipo cajón son fabricadas uniendo mediante el proceso de soldadura GMAW dos perfiles “G”, a los cuales se les da su forma mediante deformación en frío.

**Tabla 5.1 Proceso de fabricación de la Viga metálica tipo I**

Actividad	Descripción	Instrumentos	Esquema
Selección de material	Se seleccionan las planchas que se van a usar para los patines y para el alma, para esto se mide el espesor y las dimensiones de largo y ancho.	Pie de rey, Flexómetro	
Armado	Se ubica la plancha que va a ser utilizada como patín en una mesa horizontal, se mide y se marca la mitad del ancho de la placa para ubicar ahí la plancha correspondiente al alma. Se verifica perpendicularidad con una escuadra metálica y se hace un punto de soldadura en el extremo, se verifica nuevamente y se realiza un punto de soldadura en la mitad de la longitud de la viga y en el extremo opuesto. Se repite el proceso para unir el otro patín.	Pie de rey, Flexómetro, Escuadra metálica, Soldadora con proceso SMAW, electrodo E7018	

Limpieza	Se transporta la viga al área de soldadura. Para preparar la viga para la soldadura se realiza una limpieza utilizando un disco de alambre (grata). Se realizan de 3 a 5 pases para dejar las superficies de soldadura limpias.	Amoladora, Disco de alambre (grata)	
Soldadura	Se mide y se hacen marcas para identificar donde se van a realizar los cordones de soldadura con el Proceso GMAW. Para evitar deformaciones térmicas se realizan las soldaduras a ambos lados del alma al mismo tiempo empezando un soldador de un extremo de la viga y otro soldador del extremo opuesto.	flexómetro, Soldadora Proceso GMAW, Electrodo ER 70 S-6, Marcador	
Limpieza e inspección	Al terminar el proceso de soldadura se hacen varios pases con el disco de alambre (grata) para eliminar salpicaduras. Posteriormente un ingeniero hace una inspección visual de todos los cordones.	Calibrador de soldadura, Amoladora, Disco de alambre (grata)	
Pintura	Se pintan las vigas para terminar el proceso.	Compresor, pintura antioxidante color gris	

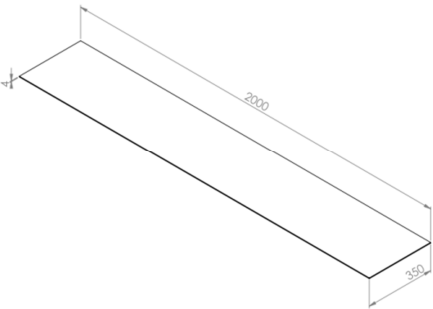
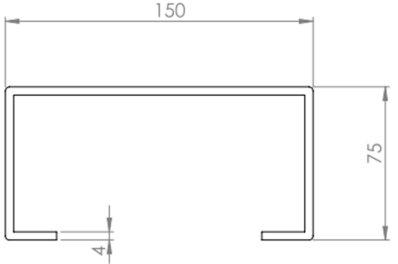
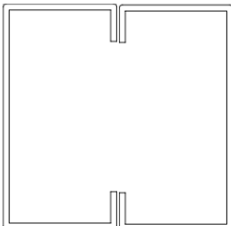
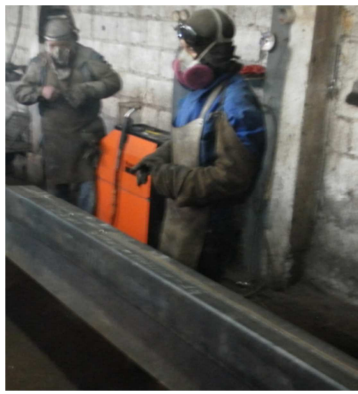

**Nota:**

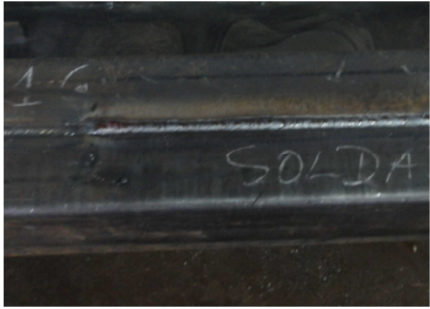

Los procedimientos de soldadura son descritos en detalle en los WPS que se encuentran en la sección 5.3.

Los parámetros de la inspección están especificados en la sección 2.2.5.



**Tabla 5.2 Proceso de fabricación de la columna tipo cajón HSS**

Actividad	Descripción	Instrumentos	Esquema
Selección de material	Se seleccionan las planchas que se van a usar para fabricar dos perfiles tipo G de 150x75x4, para esto se mide el espesor y las dimensiones de largo, ancho y espesor.	Pie de rey, Flexómetro	
Trabajo en Frío	Las láminas son dobladas en una prensa realizando en ellas un trabajo en frío para lograr darles la forma tipo G	Pie de Rey, Prensa hidráulica	
Armado	Se ubican dos perfiles tipo G unidos fijamente con prensas de tornillo en una mesa para poder realizar la un punto de soldadura con el proceso SMAW, se realizan 4 puntos en toda la longitud de la columna.	Pie de rey, Flexómetro, Escuadra metálica, Soldadora con proceso SMAW, electrodo E7018	
Limpieza	Se transporta la columna al área de soldadura. Para preparar la columna para la soldadura se realiza una limpieza utilizando un disco de alambre (grata). Se realizan de 3 a 5 pases para dejar las superficies de soldadura limpias.	Amoladora, Disco de alambre (grata)	
Soldadura	Se mide y se hacen marcas para identificar donde se van a realizar los cordones de soldadura con el Proceso GMAW. Se ubica la columna en una mesa, de manera que el cordón de soldadura va a ser realizada en la posición 1G.	flexómetro, Soldadora Proceso GMAW, Electrodo ER 70 S-6, Marcador	

Limpieza e inspección	Al terminar el proceso de soldadura se hacen varios pases con el disco de alambre (grata) para eliminar salpicaduras. Posteriormente un ingeniero hace una inspección visual de todos los cordones.	Calibrador de soldadura, Amoladora, Disco de alambre (grata)	
Pintura	Se pintan las columnas para terminar el proceso.	Compresor, pintura antioxidante color gris	

Nota:

- Los procedimientos de soldadura son descritos en detalle en los WPS que se encuentran en la sección 5.3.
- Los parámetros de la inspección están especificados en la sección 2.2.5.

## 5.2. MONTAJE

Para el montaje aparecieron dos procesos identificados a continuación, por un lado aparece el proceso de fabricación de las conexiones denominadas VCN que cumplen con parámetros de las normas aplicables a estructuras de este tipo y por otro lados los que hemos denominado VCP que utilizan parámetros particulares de fabricación.

Tabla 5.3 Procedimiento de montaje conexiones VCN



ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIALES Y EQUIPOS	INSTRUMENTOS	ESQUEMA
Señalar	Se mide la altura a la que debe ir la viga y se hace una línea horizontal a escuadra, posteriormente se marca la mitad del ancho de la columna y también se marca donde tienen que ir los bordes de los patines, para este caso se mide 50 mm desde el medio hacia cada lado.	Marcador	Flexómetro, Escuadra metálica.	
Soldadura de apoyos	Se suelda un ángulo en la columna haciendo tres puntos de soldadura. Este ángulo va a servir de apoyo provisional para ubicar la viga en su lugar.	Soldadora Proceso SMAW, Electrodo E7018, Marcador.	Escuadra	
Preparación de la viga	La soldadura de los patines de la viga a la columna es de penetración completa, por lo que se debe realizar un bisel con la amoladora según lo especificado en el WPS. Además se deben realizar agujeros de acceso en el alma de la viga para que el soldador pueda realizar una soldadura de penetración completa, de acuerdo a lo estipulado en la FEMA 350, Figura 3.5	Amoladora, Disco abrasivo,	Flexómetro	

Tabla Procedimiento de montaje conexiones VCN (continuación)

<p>Ubicación de la viga</p>	<p>Se levanta la viga con la ayuda de un tecle, para ubicarla encima del apoyo provisional soldado a la columna, una vez ahí se sitúa la viga en la posición correcta usando como guía las marcas hechas anteriormente en la columna. En este caso se colocó un apoyo provisional al otro extremo libre de la viga para fijar su posición perpendicular respecto a la columna.</p>	<p>Tecle</p>	
<p>Verificación</p>	<p>Se verifica la perpendicularidad con la escuadra y se verifica si la viga está en una posición horizontal utilizando un nivel de burbuja. Se comprueban las medidas de referencia para saber si la viga está ubicada en la posición correcta. Si no lo está se repite el proceso desde el paso anterior</p>	<p>Escuadra metálica, Flexómetro, nivel de burbuja.</p>	

**Tabla Procedimiento de montaje conexiones VCN (continuación)**




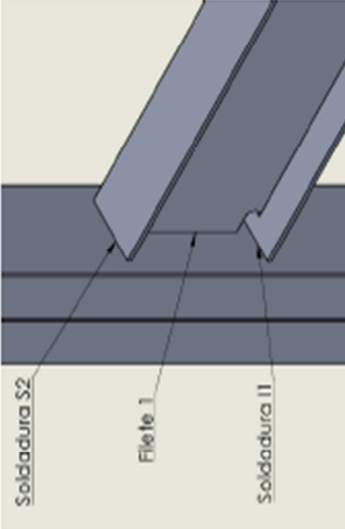
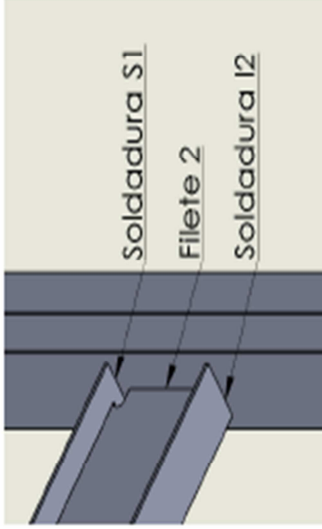


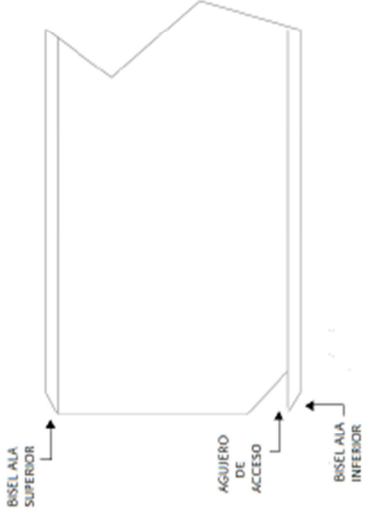
<p><b>Punteado</b></p>	<p>Se realiza un punto de soldadura en cada esquina de las alas de la viga.</p>			
<p><b>Limpieza</b></p>	<p>Se realiza una limpieza utilizando un disco de alambre (grata). Se realizan de 3 a 5 pases para dejar las superficies de soldadura limpias.</p>	<p>Amoladora, Disco de alambre (grata)</p>		
<p><b>Soldadura de filete 1</b></p>	<p>Se inicia de manera ascendente hasta que se consume todo el electrodo, en cada parada para cambio de electrodo se realiza limpieza con un disco de alambre. Se utilizaron dos electrodos y la mitad de un tercero.</p>	<p>Soldadora Proceso SMAW de 220 V Electrodo E 7018 Disco de Alambre (grata) Amoladora Disco abrasivo.</p>		


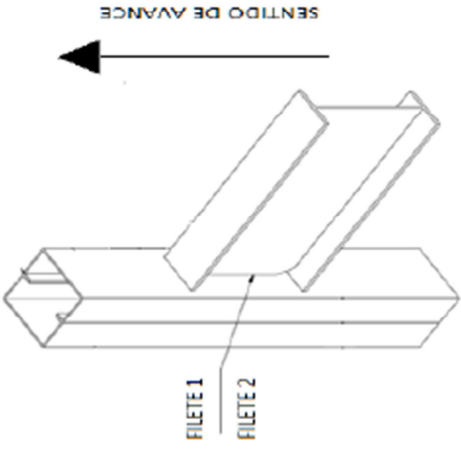
Tabla Procedimiento de montaje conexiones VCN (continuación)

Soldadura de filete 2	El proceso de soldadura es igual al mencionado. Se verifican los filetes 1 y 2 y si es necesario se retira el excedente de material usando un disco abrasivo.			 <p>Soldadura S2 Filete 1 Soldadura I1</p>
Soldadura ranura S1	Para soldar la ranura superior interna el soldador empieza el proceso desde el extremo del ala en una posición sobre cabeza, hasta pasar a través del agujero de acceso del alma. Una vez hecho interrumpe el proceso para ubicarse en lado opuesto para continuar el cordón de soldadura hasta llegar al extremo del patín. Antes de realizar el segundo pase se realiza una limpieza.	Soldadora Proceso SMAW de 220 V Electrodo E 7018 Disco de Alambre (grata) Amoladora Disco abrasivo.		 <p>Soldadura S1 Filete 2 Soldadura I2</p>
Soldadura ranura S2	Se realiza en condón en el mismo sentido de avance que se dio en la soldadura S1. Es una soldadura en posición horizontal de ranura. En este caso no se interrumpió el proceso.			
Soldadura I1	Se repite el proceso mencionado anteriormente para la soldadura S1, con la diferencia de que se realiza en una posición de soldadura horizontal.			
Soldadura I2	Se realiza de la misma manera que el cordón de soldadura S2, con la diferencia de que se realiza en una posición sobre cabeza y por este motivo se debió realizar varios pases hasta depositar todo el material de aporte necesario.			
Limpieza e inspección	Al terminar el proceso de soldadura se hacen varios pases con el disco de alambre (grata), para eliminar salpicaduras. Posteriormente un ingeniero hace una inspección visual de todos los cordones.	Amoladora, Disco de alambre (grata)	Calibrador de soldadura	

**Tabla 5.4 Procedimiento de montaje conexiones VCP**

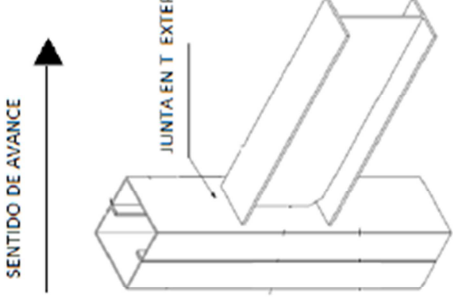
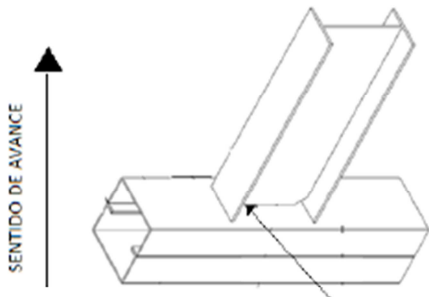
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIALES Y EQUIPOS	INSTRUMENTOS	ESQUEMA
Señalar	Se procedió a marcar la ubicación donde se montaran las alas y patín de la viga sobre la cara de la columna donde no existe cordón de soldadura.	Marcador	Flexómetro, Escuadra metálica.	
Preparación de la viga	Se realizó un bisel a 45 grados y de pendiente positiva en el ala superior de la viga, mientras que en el ala inferior se realizó un bisel a 45 grados de pendiente negativa. Ambas superficies fueron logradas por desbaste con la amoladora. Además se procede a generar un agujero de acceso de forma de triángulo rectángulo en el alma de manera que quede próximo al patín inferior.	Amoladora, Disco abrasivo,	Flexómetro	

**Tabla Procedimiento de montaje conexiones VCP (continuación)**

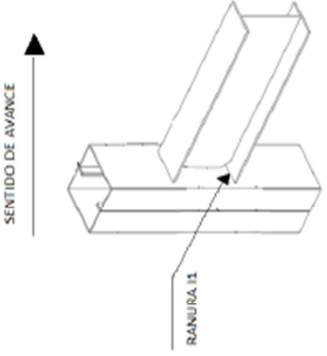
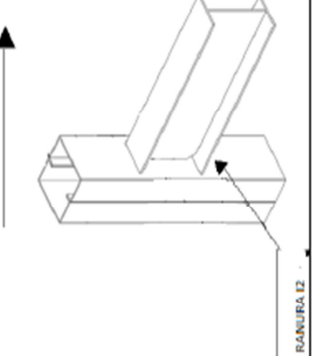

<p>Ubicación previo a la soldadura</p>	<p>Para ubicar y fijar provisionalmente la viga sobre la columna se procedido de manera similar que para las conexiones VCN-01 y VCN-02, con la diferencia que no se utilizó una placa de apoyo sobre el que se ubique el patín inferior. Solo se utilizó puntos de soldadura o tacking Weld.</p>	<p>Soldadora SMAW 220 V, electrodo E7018</p>	<p>Flexómetro Nivel de burbuja y escuadra metálica</p>	
<p>Soldadura de filete 1</p>	<p>Se suelda de manera ascendente con el electrodo revestido con un amperaje de 75 A, se utilizan dos electrodos en este proceso</p>	<p>Soldadora Proceso SMAW de 220 V Electrodo E 7018 Disco de Alambre (grata) Amoladora Disco abrasivo.</p>		
<p>Soldadura de filete 2</p>	<p>Inmediatamente concluido el proceso de soldadura del filete número uno se procede a soldar el filete número dos con las mismas regulaciones del equipo.</p>			



**Tabla Procedimiento de montaje conexiones VCP (continuación)**

<p>Junta en T exterior</p>	<p>El cordón filetes de penetración parcial en junta en T del ala superior es soldada con un amperaje de 130 A avanzando sin interrupciones</p>	<p>Soldadora Proceso SMAW de 220 V Electrodo E 7018 Disco de Alambre (grata) Amoladora Disco abrasivo</p>	
<p>Junta en T interior</p>	<p>La junta en T inferior del ala superior de la viga está conformado por dos cordones longitudinales que se ven interrumpidos por separados por el alma de la viga que los atraviesa de manera transversal, estos dos cordones son realizados en posición sobre cabeza con un amperaje de 75 A</p>		

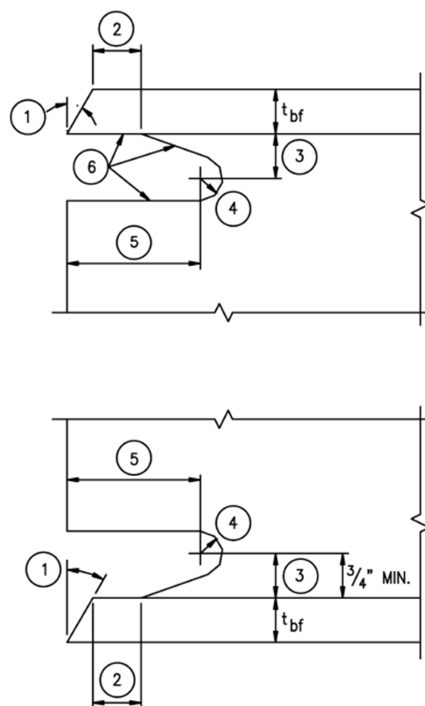
**Tabla Procedimiento de montaje conexiones VCP (continuación)**

<p>Soldadura I1</p>	<p>Se procede a soldar en posición plana un cordón desde in extremo del ala inferior y se interrumpe la soldadura cuando se pasa con el electrodo atreves del agujero de acceso, el soldador se cambia de posición y continua el proceso desde donde fue interrumpido. Todo esto se realiza con un amperaje de 75 A</p>	<p>Soldadora Proceso SMAW de 220 V Electrodo E 7018 Disco de Alambre (grata) Amoladora Disco abrasivo</p>	 <p>Diagrama que muestra la soldadura I1 en posición plana. Una línea indica el 'SENTIDO DE AVANCE' hacia la izquierda. Una etiqueta 'RANURA I1' apunta a la ranura que se está formando en la parte superior de la pieza.</p>
<p>Soldadura I2</p>	<p>Se realiza el cordón en posición sobre cabeza con un amperaje de 80 A, donde se realiza el proceso en una sola pasada</p>		 <p>Diagrama que muestra la soldadura I2 en posición sobre cabeza. Una línea indica el 'SENTIDO DE AVANCE' hacia la izquierda. Una etiqueta 'RANURA I2' apunta a la ranura que se está formando en la parte superior de la pieza.</p>
<p>Limpieza</p>	<p>. Al terminar el proceso de soldadura se hacen varios pases con el disco de alambre (grata), para eliminar salpicaduras. Posteriormente un ingeniero hace una inspección visual de todos los cordones.</p>	<p>Amoladora, Disco de alambre (grata)</p>	 <p>Fotografía que muestra un operario utilizando un disco abrasivo para limpiar la soldadura. Se observan chispas volando durante el proceso.</p>

### 5.3. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Cada proceso de soldadura que totalmente especificado en un WPS. Para el proyecto se tienen cuatro tipos:

- WPS para la fabricación de la viga. Soldadura de filete.
- WPS para la fabricación de la columna. Soldadura de penetración
- WPS uno para la soldadura CPJ (de penetración completa) del patín de la viga con la columna
- WPS de filete del alma de la viga con la columna.



**Figura 5.1 Medidas de los agujeros de acceso**

Notas:

1. Bisel requerido según el procedimiento de soldadura seleccionado según la AWS D1.1
2. Valor superior a  $t_{bf}$  o mayor a  $\frac{1}{2}$ "
3.  $\frac{3}{4} t_{bf}$  a  $t_{bf}$ ,  $\frac{3}{4}$ " mínimo ( $\pm \frac{1}{4}$  ")
4.  $\frac{3}{8}$ "radio mínimo
5.  $3 t_{bf}$  ( $\pm \frac{1}{2}$  ")

## CAPÍTULO VI

### PRUEBAS Y RESULTADOS

Dentro del proceso de pruebas se utilizarán cuatro especímenes de medidas idénticas y con vigas y columnas bajo los mismos estándares de fabricación, sin embargo dos de estos especímenes estarán bajo estándares congruentes con los códigos aplicables, como son AWS, AISC y FEMA en cuanto al proceso de lograr la conexión viga-columna, a lo que identificaremos como normalizados. En los otros dos especímenes la conexión viga-columna se logrará emulando los procesos realizados en campo, a lo que denominaremos fabricación bajo estándares particulares.

Aunque el proceso de calificación solicita aplicar pruebas de carga cíclica sobre dos conexiones normalizadas es neutro afán visualizar cómo se comportan las conexiones tal como se logran en el medio y por ello aparecen las dos conexiones bajo estándares particulares.

Estos especímenes permitirán comparar el comportamiento de las conexiones, así como si estas son adecuadas para zonas sísmicas, resaltan entre estas diferencias la inexistencia del WPS, el uso de soldadores que no son calificados, y el uso de los llamados agujeros de ratón fuera de especificación.

A continuación se clasifica en la tabla la nomenclatura que utilizaremos para designar los distintos especímenes

**Tabla 6.1 Nomenclatura asignada a cada espécimen**

NOMENCLATURA DE ESPECÍMENES			
ITEM	DESIGNACIÓN	ESTÁNDARES AISC	ESTÁNDARES PARTICULARES
1	VCN01	X	
2	VCN02	X	
3	VCP01		X
4	VCP02		X

## **6.1. ENSAYOS DE INSPECCIÓN VISUAL**

### **6.1.1. INSPECCIÓN VISUAL ANTES DE LA SOLDADURA**

#### **6.1.1.1. Identificación de los materiales**

Para el caso de los cuatro especímenes los materiales fueron entregados una vez salidos de la línea de producción con la identificación en la que constaba material, grado, y dimensionamiento, conforme lo solicitado por el cliente, esta identificación estuvo detallada con tiza blanca sobre los elementos evitando confusiones y en cumplimiento de la norma.

La validez de la información en cuanto a propiedades mecánicas del material no están en el alcance de la inspección visual, se podrá verificar cuando se realicen los correspondientes ensayos destructivos.

El cumplimiento de las medidas de las vigas y columnas se verifico en campo con instrumento de medición “pie de rey” donde se verifico el cumplimiento de las solicitudes del cliente.

#### **6.1.1.2. Detalles constructivos de la soldadura de ranura**

Los detalles constructivos de los cordones de ranura utilizados en la conexión fueron dimensionados y descritos en el WPS y fueron llevados de manera clara al soldador y a los encargados de preparar la junta a fin de evitar cualquier tipo de confusión en el caso de los especímenes bajo estándar AISC.

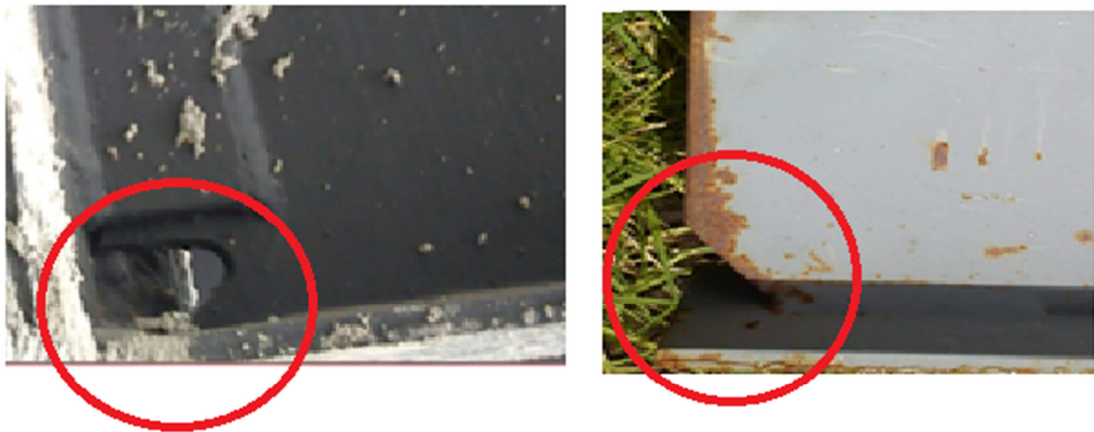
Por otro lado para los especímenes de estándar particular al no existir WPS no existía procedimientos previos a la soldadura señalados

En nuestra conexión se utilizó en lo que refiere a soldadura de ranura juntas de penetración completa (CJP), la preparación de las caras en ambos casos se hizo con amoladora con un disco de corte.

En ninguno de los especímenes se hizo uso de apoyos provisionales o backing, mientras que en todos los casos se utilizó punteo provisional (tacking weld) el mismo que fue removido concluido los procesos de soldadura como indica el código.

#### **6.1.1.3. Disposición y acabado de las perforaciones de acceso**

En el caso de las perforaciones de acceso o agujeros de ratón como se denominan en campo apareció una marcada diferencia, en el caso de los especímenes AISC se cumplieron con el dimensionamiento y ubicación dispuesto por la AWS D1.1, por el contrario el corte con forma de triángulo rectángulo utilizado en campo no aparece en el código quedando descalificado.



**Figura 6.1 Perforaciones de acceso soldadura de ranura. (iz. Especímenes AISC, der. Especímenes particulares)**

#### **6.1.1.4. Detalles constructivos de la soldadura de filete**

En este caso también resalta la diferencia entre los dos modos de realizar la conexión, siendo las conexiones bajo estándares AISC las que tenían dimensiones y detalles constructivos verificables en el WPS correspondientes, mientras que en el caso de las conexiones de estándar particular no existía

este elemento que ayude a verificar si la conexión está de acuerdo a la planificación respectivas.

En ambos caso se hizo uso de Tacking Weld que fue removido posterior a la culminación de la conexión, además en ninguno de los dos casos existió preparación previa de las superficies que no sea la limpieza con grata de alambre y biselado a 45 grados en las alas de las vigas.

## 6.1.2. INSPECCIÓN VISUAL DURANTE LA SOLDADURA

### 6.1.2.1. WPS a seguir

En el caso de los especímenes bajo estándares AISC se contaba con dos WPS, uno para el proceso de soldadura del alma donde se utilizó soldadura de filete (Fillet Weld) y otro para las alas donde se utilizó soldadura de ranura (Groove Weld) que describían todos los parámetros de soldadura que dictan los ejemplos descritos en la AWS D1.1, este documento se encuentra adjunto en los anexos de este texto, los valores de algunas de las variables fueron recogidos de las sugerencias del proveedor de electrodos según “Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura” de Indura.

Los parámetros del equipo para la soldadura de almas y patines se mantuvieron dentro de lo descrito en WPS.

**Tabla 6.2 Parámetros del equipo de soldadura (Extracto del WPS)**

Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (voltios)	Vel. de avance (mm/min)
	Clase	Diámetro	Amperaje (amperios)	Tipo y polaridad		
SMAW	E 7018	1/8	130-210	DC+	22-28 V	12-18 cm/min

El proceso de soldadura fue SMAW con electrodo E7018, el mismo que llego al lugar de trabajo perfectamente identificado en el empaque y en cada

elemento como es necesario para evitar confusiones. La temperatura de trabajo fue de 23,5 °C, cumpliendo con los requerimientos del código, en cuanto a las distintas posiciones de trabajo fueron según lo planificado y con los soldadores calificados para dichas posiciones, todo esto como indica el código.

Por su parte las juntas de estándar particular no contaron con un WPS para los distintos procesos que se utilizaron, donde todas las calibraciones del proceso fue dado por la experiencia del soldador.

El material utilizado fue el mismo E7018 con las mismas garantías que para las conexiones VCN.

#### **6.1.2.2. Uso de soldadores calificados**

Para el caso de los especímenes VCN se utilizó soldadores calificados debidamente identificados que se mantienen activos y justamente se desempeñan en el área de la obra civil, esta documentación (WPQ) fue presentada y adjuntada en los anexos de este texto.

Por su parte el soldador de los especímenes VCP no cuenta con ninguna certificación que garantice sus capacidades aunque señala de manera verbal la experiencia que le permite realizar la soldadura en la conexión.

#### **6.1.2.3. Control y manipulación de consumibles**

Al ser el electrodo E-7018 de bajo hidrogeno el fabricante indica que se debe mantener la humedad relativa del producto por debajo de 0,4 %, para lo cual para la conexión VCN se utilizó hornos de secado a una temperatura de 80 °C,

Donde se mantenían los electrodos hasta el momento de ser llevados al porta electrodos y ser utilizados en el proceso, esto conforme a la recomendación del proveedor y en cumplimiento del código.





**Figura 6.2 Hornos de secado para electrodos de bajo hidrogeno**

Por su parte las conexiones VCP a pesar que el soldador contaba con el horno de secado no tuvieron dichos cuidados con los electrodos, estos permanecían tiempo superior a 20 minutos expuestos al ambiente mientras el soldador realizaba los preparativos para soldar, por lo que no cumplen con los requisitos de buen manejo de consumibles, aunque para efectos de nuestras conexiones de prueba.

#### **6.1.2.4. Condiciones ambientales**

A pesar que tanto para las conexiones VCN y VCP se realizó la soldadura a aire libre la velocidad del viento era considerablemente baja al estar protegido alrededor por paredes y otras edificaciones del sector, emulando la construcción en campo para una edificación pequeña.

En ninguno de los caso se presentaron precipitaciones o temperaturas inferiores a 19 °C, lo que es favorable para el proceso de soldadura.

#### **6.1.2.5. Técnicas de soldadura**

En cuanto a la limpieza entre pasadas el soldador que realizo las conexiones VCN siguió las recomendaciones de las técnicas de limpieza para backgouging con disco de amolar, y siguiendo las recomendaciones

particulares para cada posición de trabajo para los electrodos de bajo hidrogeno, con movimientos oscilatorios y con varias pasadas para cordones delgados que conformen el aporte total y verificando la formación del conocido ojo de pescado en el cordón.



**Figura 6.3 Configuración del cordón de soldadura producto de la oscilación.**

Para el caso de las conexiones bajo estándares particulares la limpieza se realizó únicamente al final de la realización de los cordones para retirar la escoria, se realizó un solo cordón con la técnica de oscilación más el uso de desplazamiento descendente en el proceso de soldadura vertical impedía al soldador verificar la geometría de soldadura que dejaba, además en los cordones CJP se apreció que a diferencia de las conexiones VCN en lugar de realizar el cordón en varias pasadas se hizo en una sola pasada trabajando con un amperaje más alto de 210 amperios.

### **6.1.3. INSPECCIÓN VISUAL DESPUÉS DE LA SOLDADURA**

#### **6.1.3.1. Limpieza de la soldadura**

En todas las conexiones realizadas tanto VCN como VCP se realizó limpieza para remover la escoria propia del recubrimiento del electrodo, cumpliendo de esta manera con lo que se describe en el código AWS en la sección 5.31

### 6.1.3.2. Identificación de soldador legible

Para ambos caso se procedió a marcar con la debida identificación a las conexiones para saber el soldador que lo realizo, esto con el fin de evitar confusiones y evaluar el desempeño de cada soldador y de la conexión de manera general.

### 6.1.3.3. Verificación geométrica de la soldadura

Para las conexiones VCN al momento de la inspección visual no se encontraron irregularidades en los cordones de soldadura, esto se verifico con un calibrador de cordones de soldadura de filete y de ranura con las medidas correspondientes definidas para pierna en el caso del filete y la altura del cordón en el caso de la ranura.



**Figura 6.4 Galga de inspección soldadura<sup>17</sup>**

A simple vista en estas conexiones no se encontraron discontinuidades como poros o fisuras, tanto material base y de aporte se ven como un solo elemento, todo resumido en un acabado uniforme de los cordones.

Por esta razón en estas conexiones no hizo falta reparación alguna o colocación de cordones de refuerzo.

---

<sup>17</sup> FUENTE: [http://pdf.directindustry.es/pdf/ultra-prazision-messzeuge/reglas-de-montaje-reglas-cintas-metricas-pequenas-galgas/29541-55350-\\_19.html](http://pdf.directindustry.es/pdf/ultra-prazision-messzeuge/reglas-de-montaje-reglas-cintas-metricas-pequenas-galgas/29541-55350-_19.html)

Para la conexión VCP se puede apreciar que no existe mucha uniformidad en la geometría de los cordones de soldadura, sin embargo salta a la vista que aquellos que fueron realizados sobre cabeza presentan una apariencia más desigual lo que pudiera dar lugar a discontinuidades.

**Tabla 6.3 Resumen de la inspección visual realizada**

ÍTEM A INSPECCIONAR	ESTADO DE LA CONEXIÓN			
	VCN01	VCN02	VCP01	VCP02
<b>ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN VISUAL ANTES DE LA SOLDADURA</b>				
Identificación de los materiales (tipo y grado)	ok	ok	ok	ok
Detalles Constructivos Soldadura de Ranura				
Verificar que exista el detalle si la junta es CJP o PJP	ok	ok	x	x
Dimensionamiento	ok	ok	x	x
Condiciones de la caras de los metales a soldar	ok	ok	ok	ok
Puntos de soldadura provisional (tacking weld)	ok	ok	ok	ok
Apoyos provisionales (backing)	ok	ok	ok	ok
Disposición y acabado de las perforaciones de acceso	ok	ok	x	x
Detalles constructivos de la soldadura de filete				
Dimensionamiento	ok	ok	x	x
Condiciones de la caras de los metales a soldar	ok	ok	ok	ok
Puntos de soldadura provisional (tacking weld)	ok	ok	ok	ok
<b>ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN VISUAL DURANTE DE LA SOLDADURA</b>				
WPS a seguir				
Parámetros de los equipos de soldadura	ok	ok	x	x
Velocidad de avance	ok	ok	s/r	s/r
Materiales seleccionados para la soldadura	ok	ok	s/r	s/r
Gas de protección utilizados	N/A	N/A	N/A	N/A
Pre calentamiento que se aplica	N/A	N/A	N/A	N/A
Temperatura de trabajo mantenida	ok	ok	s/r	s/r
Posición de trabajo	ok	ok	s/r	s/r
Uso de varios materiales de aporte si es el caso	N/A	N/A	N/A	N/A
Uso de soldadores calificados	ok	ok	x	x
Control y manipulación de consumibles				
Empaquetamiento	ok	ok	ok	ok
Control de Exposición al ambiente	ok	ok	ok	ok
Condiciones Ambientales				
Ráfagas de viento existentes	ok	ok	ok	ok
Precipitaciones y Temperatura	ok	ok	ok	ok
Técnicas de Soldadura				
Limpieza entre pasadas y final	ok	ok	x	x
Consideración de las limitaciones	ok	ok	ok	ok

### Tabla Resumen de la inspección visual realizada (continuación)

Consideración de los requerimientos de calidad	ok	ok	x	x
No soldar sobre puntos de suelda provisional en mal estado	ok	ok	ok	ok
ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN VISUAL DESPUÉS DE LA SOLDADURA				
Limpieza de la soldadura	ok	ok	ok	ok
Identificación del soldador legible	ok	ok	ok	ok
Verificación geométrica de la soldadura	ok	ok	x	x
Verificación Visual de los criterios de aceptación				
Prohibiciones de fisuras	ok	ok	x	x
Fusión de los materiales base y aporte	ok	ok	ok	ok
Perfiles de soldadura	ok	ok	x	x
Tamaño de soldadura	ok	ok	ok	ok
Acabado de los cortes	ok	ok	ok	ok
Porosidad	ok	ok	ok	ok
Colocación de cordones de refuerzo	ok	ok	x	x
Placas de apoyo removidas y el acabado de la zona afectada	N/A	N/A	N/A	N/A
Actividades de reparación	N/A	N/A	N/A	N/A
Notas ok.- ítem aprobado x.- ítem rechazado N/A.- ítem no aplica al proceso s/r- sin referencia				

## 6.2. ENSAYO DE TINTAS PENETRANTES

Como guía del proceso de inspección de tintas penetrantes se hizo uso del código pertinente que es el ASTM 165, donde se describen los distintos procesos recomendados para llevar a cabo el ensayo no destructivo, el proceso para este ensayo dependerá del tipo de líquidos que se dispongan.

### 6.2.1. MATERIALES UTILIZADOS EN EL ENSAYO

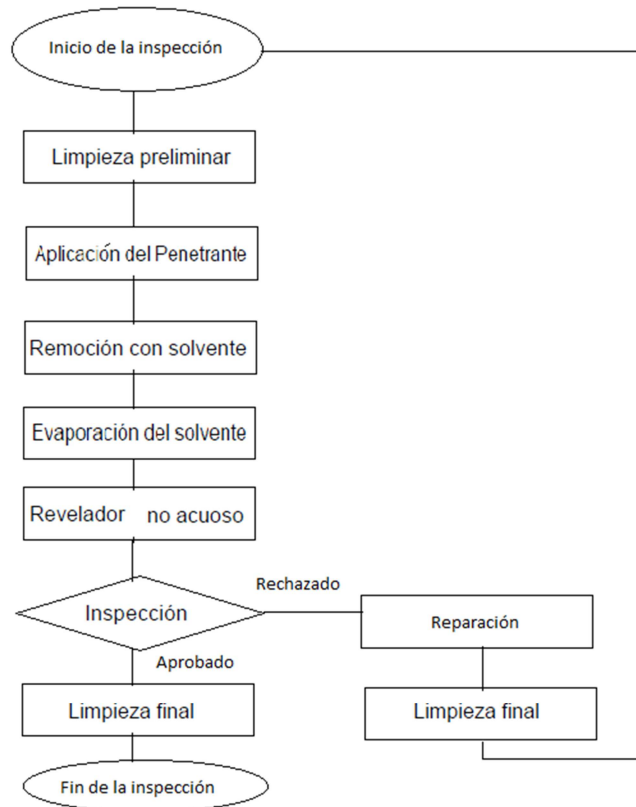
Para el ensayo de tintas penetrantes se hará uso de líquidos de limpieza, tintas de penetración y reveladores de las siguientes características:

**Tabla 6.4 Descripción del kit de tintas penetrantes**

LIQUIDO	FABRICANTE	TIPO	APLICACIÓN
Removedor SPOTCHECK SKC-S	Magnaflux	Disolvente	Utilizado en la limpieza previa a la aplicación del penetrante, o para retirar el exceso de este previo a la aplicación del revelador, este fluido cumple con las exigencias de la ASTM 165 para ser utilizado en el ensayo de tintas penetrantes
Penetrante SPOTCHECK SKL-SP2	Magnaflux	Penetrante coloreado rojo para limpieza con disolvente	Soldaduras, forjas, recipientes a presión, piezas de fundición, metales en general, pruebas de filtración, centrales eléctricas, construcción. Aplicable bajo estándares ASTM 165
Revelador SPOTCHECK SK2-S2	Magnaflux	No acuosa	Revelador de contraste color blanco para ensayo de tintas penetrantes, que cumple con las exigencias de la ASTM 165

## 6.2.2. PROCEDIMIENTO

Para la combinación de líquidos que se tienen disponibles para el test la norma establece el siguiente procedimiento.



**Figura 6.5 Procedimiento Tipo II Método C, para reveladores no acuosos, recomendado por el proveedor y descrito por la ASTM E 1220.**

Las recomendaciones del código para inspección de soldadura sugieren que el tiempo de espera para la evaporación del solvente debe ser de 15 minutos, además el fabricante aconseja que la distancia entre la pieza de inspección y el rociador oscile entre 20 y 30 cm.

## 6.2.3. RESULTADOS

Los resultados se presentan resumidos en la siguiente tabla, donde se han analizado todos los cordones de soldadura de las distintas conexiones, además

en los anexos constan la presentación de resultados con forme a formato basado en las exigencias del código reportando el ensayo en su totalidad.

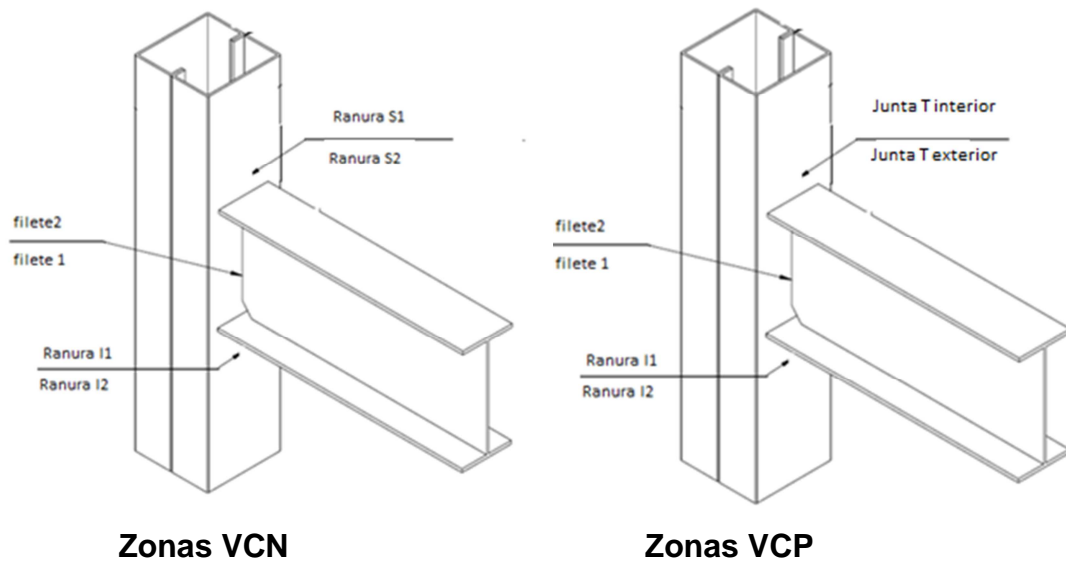
**Tabla 6.5 Resumen de la inspección en el ensayo de tintas penetrantes**

<b>CONEXIÓN</b>		<b>VCN01</b>											
ZONA		FILETE 1		FILETE 2		RANUR A S1		RANUR A S2		RANUR A I1		RANUR A I2	
PRESENCIA DE DISCONTINUIDAD		SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO
INSPECCIÓN 1			X		X		X		X		X		X
<b>CONEXIÓN</b>		<b>VCN02</b>											
ZONA		FILETE 1		FILETE 2		RANUR A S1		RANUR A S2		RANUR A I1		RANUR A I2	
PRESENCIA DE DISCONTINUIDAD		SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO
INSPECCIÓN 1			X		X		X		X		X		X
<b>CONEXIÓN</b>		<b>VCP01</b>											
ZONA		FILETE 1		FILETE 2		JUNTA T EX.		JUNTA T IN.		RANUR A I1		RANUR A I2	
PRESENCIA DE DISCONTINUIDAD		SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO
INSPECCIÓN 1			X		X		X		X		X	X	
<b>CONEXIÓN</b>		<b>VCP02</b>											
ZONA		FILETE 1		FILETE 2		RANUR A S1		RANUR A S2		RANUR A I1		RANUR A I2	
PRESENCIA DE DISCONTINUIDAD		SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO
INSPECCIÓN 1			X		X		X		X		X		X

Nota: la fisura encontrada se presentó en el cordón realizado sobre cabeza, la misma que se presume se dio por arrancar varias veces el arco desde la misma zona sin controlar la apariencia del cordón.



En la siguiente grafica se ilustrara a que zona pertenece cada nombre asignado a los distintos cordones.



**Figura 6.6 Zonas de inspección por tintas penetrantes**

A continuación se presentan imágenes que surgieron del proceso de inspección por tintas penetrantes, se muestran imágenes por un lado en la figura la aplicación del penetrante y en la figura se muestra la aplicación del revelador con un resultado favorable a la inspección, por otro lado en la figura se muestra el cordón en el que se encontraron discontinuidades (poros y fisuras) mencionados en la tabla.



**Figura 6.743 Aplicación del penetrante (iz), aplicación del revelador (der) filete 1**



**Figura 6.8 Fisuras detectadas en el ensayo de tintas penetrantes probeta VCP 01 Zona I2**

**Figura.**

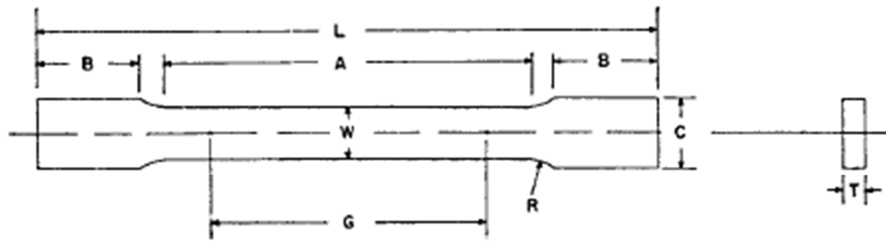
### **6.3. ENSAYOS DESTRUCTIVOS SOBRE PROBETAS DE MATERIAL**

Para efectos del proyecto y cumplimiento de lo descrito por los códigos que dictan los lineamientos de los ensayos requeridos previo a la prueba de carga cíclica se necesitan los siguientes ensayos para garantizar propiedades de los materiales utilizados.

- Ensayos de tracción en probeta de material utilizado en la fabricación de los perfiles.
- Ensayos de tracción de probeta de material base y de aporte utilizado en las juntas soldadas
- Ensayos de impacto sobre probeta del material de aporte y base utilizado en las juntas.

#### **6.3.1. ENSAYO DE TRACCIÓN EN MATERIAL DE PERFILES**

Para el ensayo de tracción en la probeta del material se utilizó como referencia el documento ASTM 370 (Standard Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products), el mismo que determinó las dimensiones que se utilizarían en las probetas definidas de la siguiente manera.



T= 4 mm (menor espesor utilizado en la fabricación)

L= 200 mm

B= 50 mm

A= 50 mm

G= 60 mm

C= 50 mm

W= 40 mm

R= 13 mm

**Figura 6.9 Dimensionamiento de las probetas para el ensayo de tracción<sup>18</sup>**

Estas probetas fueron realizadas mediante corte por plasma y posteriormente maquinadas para retirar la zona afectada por el proceso de corte.

El ensayo de tracción en estas probetas aporta con los valores de esfuerzos de fluencia y de resistencia a la tracción, además de permitir determinar la elongación porcentual del material con el objetivo de observar que el material que se presenta cumple con los requerimientos de la ASTM A36 / A36M.

Al ser proveedores distintos de material para las conexiones se procedieron a realizar ensayos de tracción a los materiales entregados por los dos proveedores, para las probetas bajo estándares AISC se recibió material proveniente de la empresa Kubiec, mientras que para las conexiones bajo estándares particulares se tomó material entregado por Servicor, proveedor de

<sup>18</sup>Fuente ASTM 370

materiales para el soldador que realizo las edificaciones que son tomadas de referencia.

Los resultados que surgieron del ensayo fueron los siguientes, de los cuales se descartan el valor más alto y más bajo de los cinco para realizar con las tres restantes el promedio, que será un dato representativo del esfuerzo de fluencia, ultimo a la tracción y elongación porcentual de las probetas.



**Figura 6.10 Probeta del ensayo de tracción en material base**

**Tabla 6.6 Resultados Ensayo de tracción en material base de conexiones bajo estándares AISC (fuerzas)**

Nº	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área de sección transversal (mm <sup>2</sup> )	Fuerza en fluencia (kg)	Límite de fluencia (MPa)	Límite de fluencia (psi)	Fuerza en rotura (Kg)	Límite de tracción (MPa)	Límite de tracción (psi)
1	4,0	38,83	155,32	6880	434,10	62871,12	8395	529,69	76715,56
2	4,0	40,50	162,00	7330	443,42	64221,30	8665	524,18	75917,81
3	4,0	39,02	156,08	6830	428,84	62110,29	8445	530,25	76796,69
4	4,0	39,82	159,28	6720	413,46	59882,25	8395	516,52	74808,26
5	4,0	37,75	151,00	6540	424,45	61473,92	8665	562,36	81448,25

Fy2 y Fy4: datos desechados

$$\frac{62151,77 + 62151,77 + 62151,77}{3} = 62151,77 \text{ Psi} \quad (6.1)$$

$$F_y = 62151,77 \text{ Psi}$$

Dónde:

F<sub>yi</sub>= valor de límite de fluencia correspondiente a cada espécimen

F<sub>y</sub>= valor de límite de fluencia determinado del test

Fu3 y Fu4: datos desechados

$$Fu = \frac{Fu1+Fu2+Fu5}{3} \quad (6.2)$$

$$Fu = 76335,26 \text{ Psi}$$

Dónde:

Fui= valor de limite correspondiente a cada espécimen

Fu= valor de límite de tracción determinado del test

**Tabla 6.7 Resultados Ensayo de tracción en material base de conexiones bajo estándares AISC (deformaciones)**

Nº	LONGITUD ENTRE MARCAS INICIAL (mm)	LONGITUD ENTRE MARCAS FINAL (mm)	VARIACIÓN DE LONGITUD (mm)	ELONGACIÓN (%)
1	50,00	67,04	17,04	34,08
2	50,00	69,36	19,36	38,72
3	50,00	68,70	18,70	37,40
4	50,00	71,76	21,76	43,52
5	50,00	71,07	21,07	42,14

E%1 y E%4 : datos desechados

$$E\% = \frac{Fu2+Fu3+Fu5}{3} \quad (6.3)$$

$$E\% = 39,42 \%$$

Dónde:

E%i= valor elongación porcentual correspondiente a cada espécimen

E%= valor de elongación porcentual determinado del test

**Tabla 6.8 Resultados Ensayo de tracción en material base de conexiones bajo estándares particulares (fuerza)**

Nº	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área de sección transversal (mm <sup>2</sup> )	Fuerza en fluencia (Kg)	Límite de fluencia (MPa)	Límite de fluencia (psi)	Fuerza en rotura (Kg)	Límite de tracción (MPa)	Límite de tracción (psi)
1	4,0	39,40	157,60	4515	280,76	40662,2 7	7340	456,42	66104,34
2	4,0	40,34	161,36	4315	262,07	37955,5 3	7000	425,14	61573,28
3	4,0	40,22	160,88	4415	268,94	38951,0 1	7260	442,24	64050,82
4	4,0	39,98	159,92	4460	273,31	39584,2 3	7320	448,57	64967,84
5	4,0	39,98	159,92	4515	276,68	40072,3 8	7295	447,04	64745,95

Fy1 y Fy2: datos desechados

$$Fy = \frac{Fy3 + Fy4 + Fy5}{3} \quad (6.4)$$

$$Fy = 39535,87 \text{ Psi}$$

Dónde:

Fyi= valor de límite de fluencia correspondiente a cada espécimen

Fy= valor de límite de fluencia determinado del test

Fu3 y Fu4: datos desechados

$$Fu = \frac{Fu3 + Fu4 + Fu5}{3} \quad (6.5)$$

$$Fu = 64588,20 \text{ Psi}$$

Dónde:

Fui= valor de limite correspondiente a cada espécimen

Fu= valor de límite de tracción determinado del test

**Tabla 6.9 Resultados Ensayo de tracción en material base de conexiones bajo estándares particulares (deformaciones)**

Nº	LONGITUD ENTRE MARCAS INICIAL (mm)	LONGITUD ENTRE MARCAS FINAL (mm)	VARIACIÓN DE LONGITUD (mm)	ELONGACIÓN (%)
1	50,00	71,76	21,76	43,52
2	50,00	71,07	21,07	42,14
3	50,00	70,25	20,25	40,50
4	50,00	71,12	21,12	42,24
5	50,00	71,14	21,14	42,28

E%1 y E%4 : datos desechados

$$E\% = \frac{Fu2+Fu4+Fu5}{3} \quad (6.6)$$

$$E\% = 42,22 \%$$

Dónde:

E%i= valor elongación porcentual correspondiente a cada espécimen

E%= valor de elongación porcentual determinado del test

Se puede observar que ambos resultados tanto del material utilizado en las conexiones bajo estándares AISC como los materiales utilizados en las conexiones de estándares particulares cumplen con los requisitos determinados en el código ASTM A36/A36M, sin embargo tras la diferencia considerable entre las propiedades mecánicas que se obtuvieron como resultado se procedió a conversar con un representante del proveedor para las conexiones que cumplen con los códigos internacionales, quien supo indicar que para aplicaciones estructurales de obra civiles han dejado de proveer el acero A36, reemplazado en la actualidad ASTM A992 que presenta mejor fluencia y resistencia a la tracción aunque un menor porcentaje de elongación.

Los valores según código que debe tener este acero en sus propiedades mecánicas son las siguientes:

**Tabla 6.10 Propiedades del Acero A992**

<b>Propiedades A 992</b>	
Límite de fluencia mínimo, Ksi (MPa)	50 (345)
Resistencia a la tracción mínimo, Ksi (MPa)	65 (450)
Porcentaje de elongación	18 %
Densidad, Kg/m <sup>3</sup> (lb/pulg. <sup>3</sup> )	7850 (0.28)

Fuente: ASTM A992/A992M

### **6.3.2. ENSAYO DE TRACCIÓN EN LA SOLDADURA**

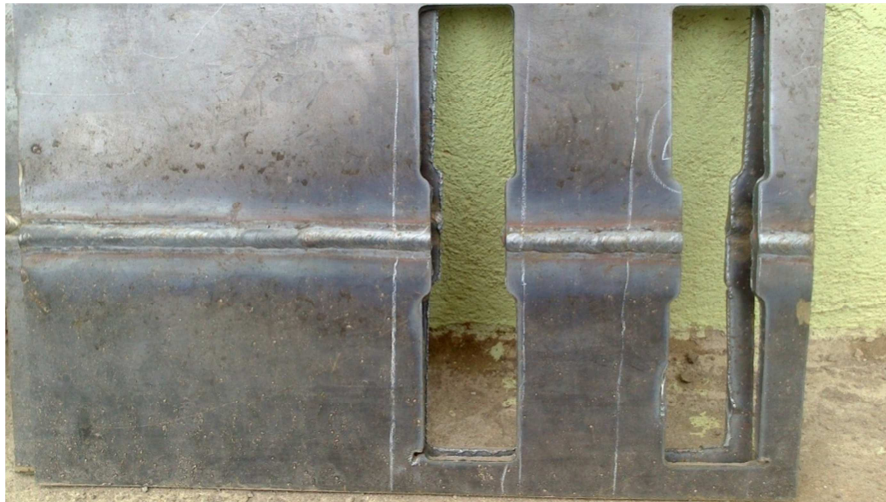
Para el ensayo de tracción en la soldadura se utilizaron como referencia los siguientes códigos:

- ASTM 370 (Standard Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products)
- AWS B 4.0 (Standard Methods for Mechanical Test of Weld)
- AWS D1.1 Capítulo IV

De los cuales se extrajo el proceso de fabricación de las probetas de material, así como su geometría.

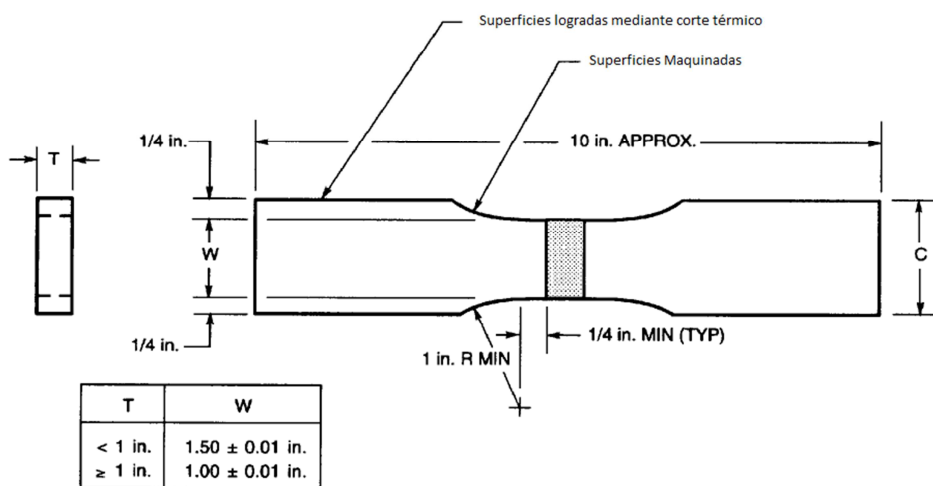
Los especímenes que se utilizaron fueron fabricados a partir de dos planchas de material unidas por un cordón de soldadura fabricado de acuerdo con el WPS adjunto y cortadas mediante plasma y maquinadas para eliminar la zona afectada por el proceso.





**Figura 6.11 Placa metálica de la que se extraen las probetas para el ensayo de tracción**

La geometría que se utilizó para las probetas fue de la siguiente manera:



**Figura 6.12 Geometría de la probeta de tracción en la soldadura<sup>19</sup>**

Para el caso del ensayo en estas probetas se consideró únicamente los valores de esfuerzo último, esto debido a que son los valores proporcionados por el fabricante, además de ser los que se usan en diseño y los que exige el código verifica que estén en orden.

<sup>19</sup>Fuente: AWS B 4.0

La máquina entrega valores de fuerza aplicada en Kg, en la siguiente tabla se resumen los esfuerzos correspondientes a dicho valor de fuerza para las secciones pertinentes a las probetas.

**Tabla 6.11 Datos para el ensayo de tracción en la soldadura**

Nº	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL (mm <sup>2</sup> )	FUERZA (Kg)	LIMITE DE TRACCIÓN (MPa)	LIMITE DE TRACCIÓN (psi)
1	5,1	37,41	190,79	10975	563,73	81646,35
2	5,1	37,71	192,32	10975	559,25	80996,81
3	5,1	37,97	193,65	10975	555,42	80442,19
4	5,1	38,04	194,00	11200	565,76	81940,28
5	5,1	38,35	195,59	10900	546,16	79100,83

Para determinar el valor de la resistencia a la tracción del material utilizado se procedió a descartar los datos extremos y con los tres restantes se determinó la media como se indica a continuación:

Fu4 y Fu5 : datos desechados

$$Fu = \frac{Fu1+Fu2+Fu3}{3} \quad (6.7)$$

Fu = 80179 Psi

Dónde:

Fui= valor de límite de tracción correspondiente a cada espécimen

Fu= valor de límite de tracción determinado del test

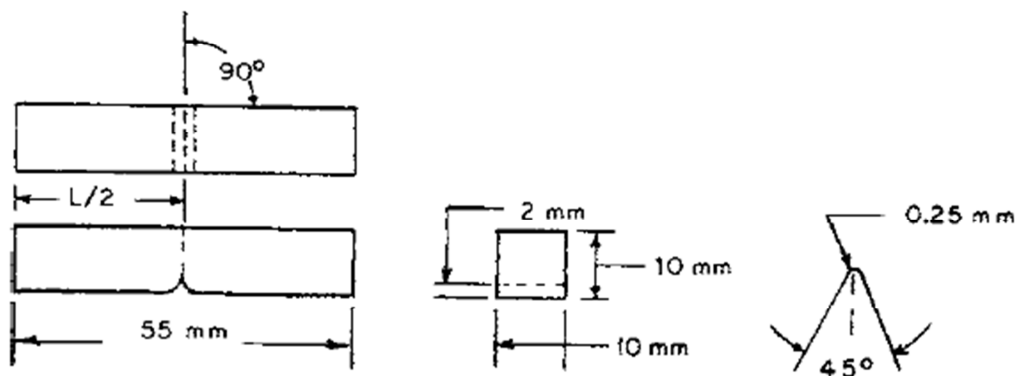
Valor que cumple satisfactoriamente los valores del código que sugieren como valor mínimo de resistencia de 70 Ksi.

### 6.3.3. ENSAYO DE IMPACTO EN MATERIAL DE SOLDADURA

Para el ensayo de impacto se utilizó como referencia los siguientes códigos:

- ASTM 370 (Standard Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products)
- AWS B 4.0 (Standard Methods for Mechanical Test of Weld)
- AWS D1.1 Capítulo IV

Se utilizó un espécimen estándar extraído de la unión de dos planchas de acero de espesor 12 mm, donde el cordón de soldadura que las unía fue hecho según el WPS adjunto, de acuerdo con las exigencias de los códigos estas probetas fueron fresadas y mantuvieron las siguientes medidas:



**Figura 6.13 Dimensionamiento de las probetas para el ensayo de Charpy (CVN)<sup>20</sup>**

Los datos con los que se comparan los resultados, serán con los otorgados por el fabricante de electrodos “Indura”, los mismos que indican que el ensayo se dio a -30°C, por lo que se procedió a llegar a dicha temperatura con la ayuda de Hielo seco (CO<sub>2</sub>) y alcohol industrial donde se sumergió a las probetas previo a la prueba de impacto.

<sup>20</sup>Fuente: ASTM 370



**Figura 6.14** Probeta CVN antes del ensayo de impacto



**Figura 6.15** Probetas sumergidas en proceso de enfriamiento



**Figura 6.16** Probeta CVN después del Ensayo de impacto

El hielo seco se encontraba a  $-68\text{ }^{\circ}\text{C}$  al sumergirlo en el alcohol, se procedió a introducir las probetas y esperar que el sistema alcance una temperatura uniforme de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se esperaron 5 minutos para que la temperatura en las probetas sea uniforme y se procedió a hacer el ensayo de impacto y se obtuvieron los resultados presentados en la siguiente tabla.

**Tabla 6.12 Resultados ensayo de impacto**

<b>Nº</b>	<b>Energía Absorbida (Kg-m)</b>	<b>Energía Absorbida (J)</b>
1	7,5	73,5
2	5,5	53,9
3	8,1	79,4
4	6,8	66,6
5	7,5	73,5

E2 y E3: datos desechados

$$E = \frac{E1+E4+E5}{3} \quad (6.8)$$

$$E = 71,2 \text{ J}$$

Dónde:

E<sub>i</sub>= valor de energía absorbida por cada espécimen

E= valor de energía absorbida determinado del test

Valor que supera los requerimientos para el material que indica que a -30 se requiere de un valor de 27 J para el material ser idóneo para su aplicación, según la AWS A5.1/A5.1M.

#### **6.4. ENSAYOS DE CARGA CÍCLICA SOBRE LA CONEXIÓN**

Para el desarrollo del ensayo de carga cíclica se procedió a realizar una configuración de prueba donde además de los especímenes de prueba se incluyen los elementos necesarios que permiten aplicar carga, dicha configuración genero datos de fuerza necesaria para lograr la rotación que exige el código. Todos los datos recogidos de esta experiencia proporcionan al ser tabulados y analizados las herramientas necesarias para concluir sobre la

idoneidad de la conexión para ser usada como conexión de un pórtico ordinario, intermedio o especial.

#### **6.4.1. ADAPTACIONES PARA TRANSMITIR CARGA CÍCLICA EN EL MODELO**

Para transmitir carga y cuantificar las variables sobre los especímenes de prueba se identifican claramente cuatro elementos que intervienen en el sistema y que serán descritos de manera individual así como de manera colectiva al mostrar en qué lugar se ubican. Estos elementos son:

##### **6.4.1.1. Banco de pruebas**

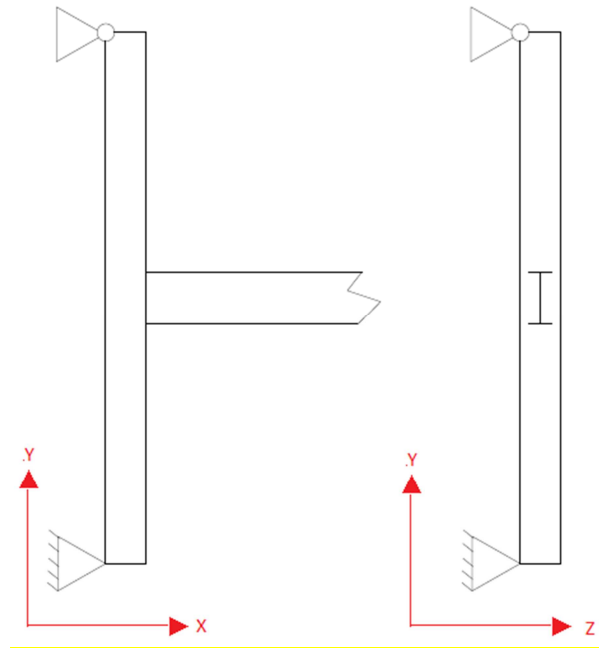
El banco de pruebas se define como el espacio físico donde se conjugan los especímenes de prueba con los elementos de transmisión de carga e instrumentos de medición para la realización del ensayo de carga cíclica.

Para realizar esta prueba se necesitaba una configuración que sea capaz de resistir los esfuerzos generados por los elementos para transmitir carga, así también como los esfuerzos de reacción en los apoyos. Además no debe sufrir deformaciones, o sufrir deformaciones mínimas para que se pueda apreciar solo la deformación de la conexión de estudio.

Para cumplir con los requerimientos anteriormente descritos, se procedió a fabricar un marco de hormigón armado, el cual resistiría los esfuerzos generados y brindaría apoyo a la conexión. El marco de hormigón fue hecho con hormigón de 210 kg / cm<sup>2</sup> de resistencia, además en las zonas donde se esperaban la aplicación de fuerza (en los apoyos de la columna y en la base de los gatos hidráulicos) se reforzó utilizando dentro del hormigón varillas metálicas de 18 mm de diámetro. Se usó alrededor de dos metros cúbicos para la fabricación del marco.

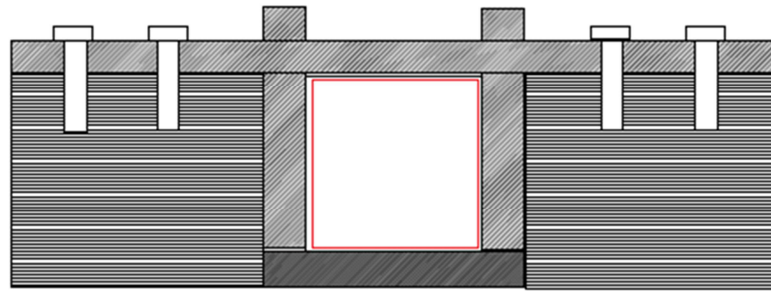
##### **6.4.1.2. Apoyos para restricción de movimiento**





Para la realización de la prueba se requería de restringir el movimiento en los extremos de la columna de tal manera que el extremo inferior no permita el deslizamiento en ninguno de los ejes coordenados, por otro lado en el extremo superior de la columna se requiere dejar libre el movimiento únicamente a lo largo del eje longitudinal de la columna.



**Figura 6.17 Apoyos en la Columna**

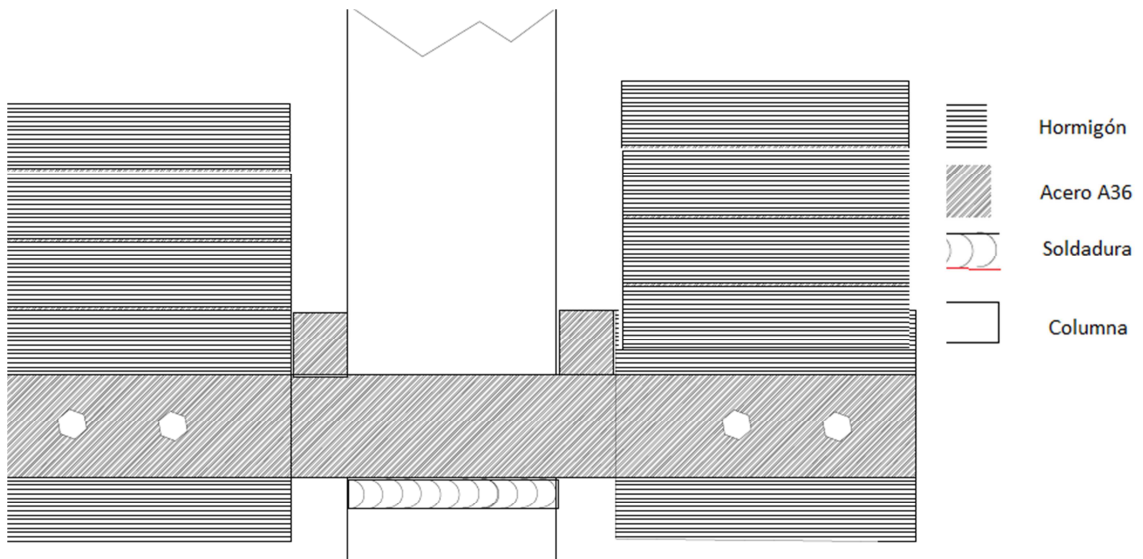
Para lograr esto en la práctica se dispusieron apoyos de la siguiente manera para cada extremo de la columna:



-  Placa de Acero A36
-  Hormigón
-  Soporte de madera
-  Espacio para la columna de acero

**Figura 6.18 Apoyos que restringen movimiento en ejes x e z**

Este tipo de apoyo restringe el movimiento en los ejes “x” e “z” por lo que para la columna para el apoyo inferior se procedió hacer un cordón de soldadura en el eje transversal de la columna para que restrinja el movimiento en el eje “y”, visto en planta se vería como la esquematización siguiente:



**Figura 6.19 Ubicación del cordón de soldadura en apoyo inferior para restringir el movimiento en el eje y**



Se utilizaron cuatro pernos expansores de ½"x100 mm por cada apoyo de la columna, así como una placa de acero A36 de espesor 6 mm, detallados en los planos anexos con este documento.

La madera que se ubica bajo la columna no es con el objetivo de soportar carga, si no de elevar la conexión por encima del nivel del suelo.

#### 6.4.1.3. Elementos para transmitir carga

Los elementos de transmisión de carga fueron seleccionados con la finalidad de aplicar una fuerza superior a la obtenida de la simulación realizada en ANSYS, para ello se procedió a seleccionar como alternativa gatos hidráulicos de botella con una carrera de desplazamiento del pistón de igual manera superior al esperado en el extremo de la viga.

Al utilizar un gato hidráulico de botella comercial, un problema que se suscitó es que la posición normal de trabajo es vertical con el pistón apuntando hacia arriba y se requería que este ubicado de manera horizontal, para lo cual se debía tener la precaución de que la bomba quede ubicada hacia abajo, caso contrario el nivel de aceite necesario para aplicar presión sería insuficiente y se perdería la capacidad de ejercer fuerza.



a) Posición Normal

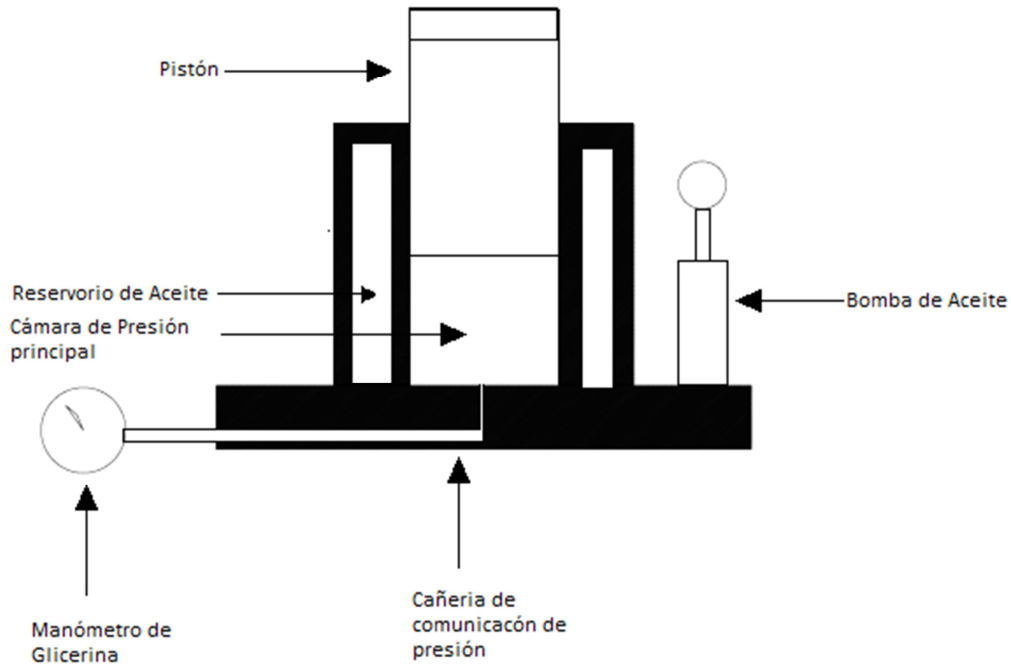
b) Posición horizontal permitida

c) Posición horizontal no permitida

**Figura 6.20 Posición efectiva de trabajo gato hidráulico de botella<sup>21</sup>**

<sup>21</sup>Fuente: [www.truper.com/CatVigente/99.php](http://www.truper.com/CatVigente/99.php) - México

Otra complicación que se presentó para esta aplicación es que no se logró conseguir en el mercado gatos hidráulicos con manómetro en la capacidad requerida, elemento importante para cuantificar la carga aplicada, por lo que se requirió de adaptar una línea que transmita la presión del aceite en el pistón principal a un manómetro instalado en la base del cuerpo del gato hidráulico.



**Figura 6.21 Esquema de adaptación de manómetro en gato hidráulico**

La calibración de los instrumentos de medida para los distintos gatos hidráulicos se lo realizo con la siguiente formula:

$$(6.9)$$

$$\text{---} (6.10)$$

De aplicar estas relaciones se obtiene la siguiente relación de presión a fuerza medida en cada gato hidráulico:

Gata01: 1 bar - 24,937 kg

Gara02: 1 bar - 14,808 kg

Dónde:

P= presión en Kg/cm

A= Área del pistón cm<sup>2</sup>

Dp = Diámetro del pistón cm

Y su comprobación se la realizo en el laboratorio de mecánica de materiales en una prensa hidráulica de 100 TN donde se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 6.13 Calibración Gata 01**

<b>Ord.</b>	<b>Medida Manómetro (bar)</b>	<b>Fuerza calculada según formula (kg)</b>	<b>Medida en el instrumento Patrón</b>	<b>Error %</b>
1	20	498,74	500	-0,00252
2	42	1047,354	1000	0,047354
3	60	1496,22	1500	-0,00252
4	78	1945,086	2000	-0,027457
5	100	2493,7	2500	-0,00252

**Tabla 6.14 Calibración Gato 02**

<b>Ord.</b>	<b>Medida Manómetro (bar)</b>	<b>Fuerza calculada según formula (kg)</b>	<b>Medida en el instrumento Patrón (kg)</b>	<b>Error %</b>
1	34	503,472	500	0,006944
2	70	1036,56	1000	0,03656
3	100	1480,8	1500	-0,0128
4	138	2043,504	2000	0,021752
5	170	2517,36	2500	0,006944



**Figura 6.22 Calibración Gato hidráulico**

De esta manera los elementos para transmitir carga que se utilizaron y cumplen con las condiciones para la prueba son:

**Tabla 6.15 Detalle de Gatos Hidráulico**

DETALLE	CAPACIDAD (TN)	DIÁMETRO DEL PISTÓN (mm)	CARRERA DEL PISTON (mm)	ALCANCE DEL MANÓMETRO (bar)	APRECIACIÓN DEL MANÓMETRO (bar)	EQUIVALENCIA DE FUERZA APLICADA
GATA 01	20	55,8	180	280	2	1 bar - 24,937 kg
GATA 02	12	43,0	210	280	2	1 bar - 14,808 kg

#### 6.4.1.4. Instrumentos de medida para el desplazamiento

Para el ensayo de carga cíclica se utilizó un comparador de reloj para medir el desplazamiento a 400 mm del nudo de la conexión con el afán de verificar los ángulos requeridos para hacer la prueba y en el extremo de la viga se utilizó un flexómetro para medir los desplazamientos en esta zona, ambos instrumentos certificados para el por el Laboratorio de Metrología de la Escuela Politécnica del Ejército y de las siguientes características:

**Tabla 6.16 Detalle de instrumentos de medida para el desplazamiento**

Instrumento: FLEXOMETRO	Clase de precisión: II	ONNCCE: JHC-001C/04
Marca: Stanley	Apreciación: 1 mm	Alcance: 0 - 3000 mm
Procedencia: TAILANDIA	Serie: 48 - 102 / 1044	Referencia: 30 - 608

Instrumento: NIVEL DE BURBUJA		
Marca: Stanley	Apreciación: s/r	Alcance: 24" / 600 mm
Procedencia: TAILANDIA	Identificación: 42 - 070 adhesivo pegado en el nivel	
Instrumento: COMPARADOR DE RELOJ		
Marca: TEQUIMENT	Apreciación: 0,1 mm	Alcance: 0 - 260 mm
Procedencia: S/R	Serie: S/R	Modelo: RM 1 1

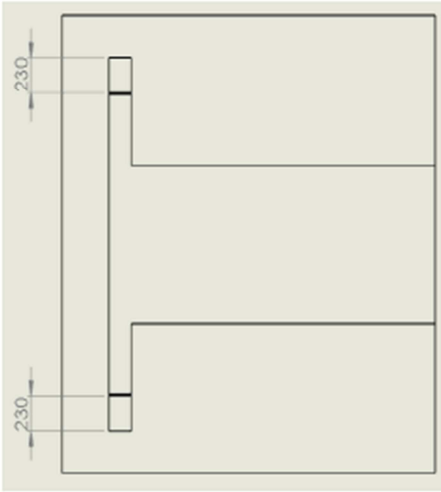
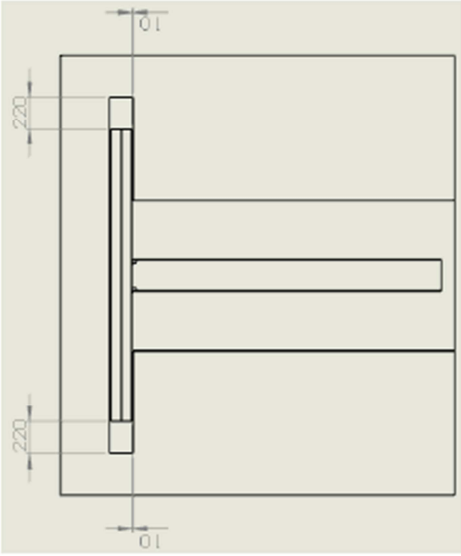
#### 6.4.2. APLICACIÓN DE LA CARGA CÍCLICA

Para la aplicación de la carga en el ensayo se requiere de seguir un procedimiento que va desde el montaje de apoyos hasta la aplicación de la última carga en la prueba, para ello se elaboró la tabla de procedimiento para el ensayo de carga cíclica mostrada más adelante.

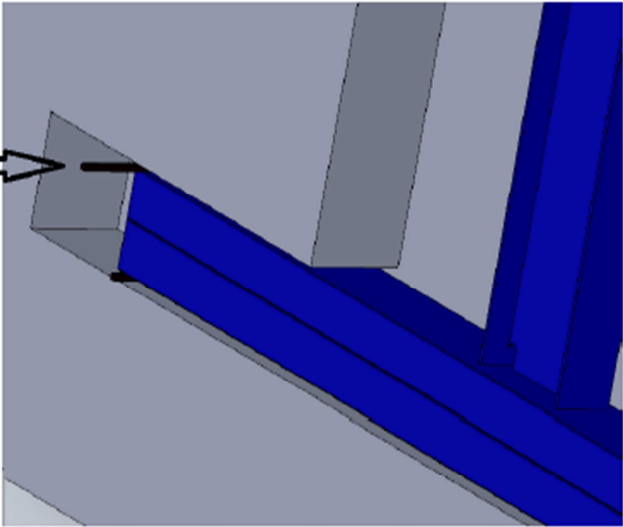
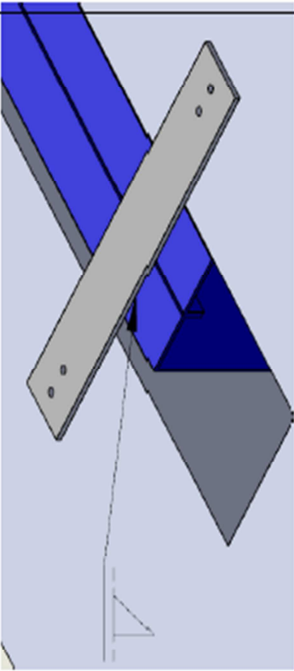


Figura 6.23 Configuración de prueba para el ensayo de carga cíclica

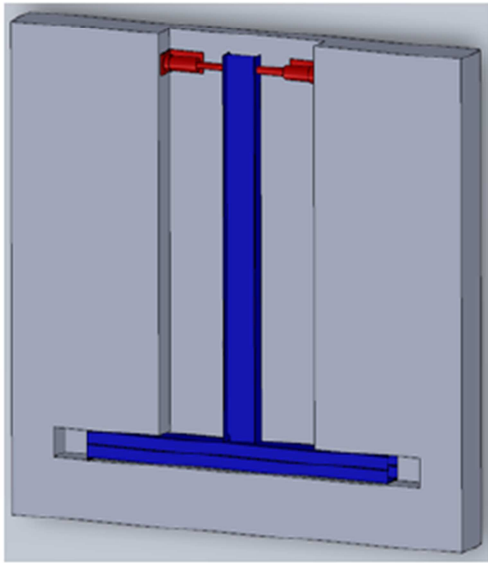
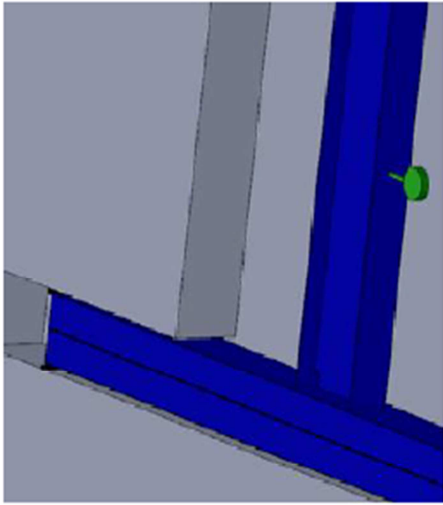
**Tabla 6.17 Procedimiento para el ensayo de carga cíclica**

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	ELEMENTOS ADICIONALES	INTRUMENTOS	ESQUEMA
<p>Montar el espécimen de prueba en la configuración de hormigón</p>	<p>Se ubican los apoyos de madera en la base sobre la cual va a ir apoyada la columna.</p>	<p>Apoyo de madera de 170x100x30</p>	<p>Flexómetro</p>	
	<p>Introducir el espécimen apoyándolo en los apoyos de madera antes colocados.</p>			
	<p>Se hacen medidas de referencia desde los bordes del marco de hormigón, de manera que se verifique que la columna esté en la posición mostrada en el esquema.</p>			

**Tabla Procedimiento para el ensayo de carga cíclica (continuación)**


<p>Fijar el espécimen</p>	<p>Introducir los apoyos (chavetas metálicas), de manera que queden fijos. Los apoyos deben estar en contacto con el apoyo de madera colocado anteriormente en la base de hormigón como se muestra en la figura. Estos apoyos metálicos proporcionan restricción de movimiento en el eje x.</p> <p>Fijar las placas metálicas con la ayuda de los elementos roscados que sobresalen en el marco de hormigón. Para que estos apoyos trabajen la columna debe estar sobre el nivel del marco de hormigón en al menos 10 mm, lo que se logra al poner la columna en los apoyos de madera descritos anteriormente</p> <p>Estas placas limitan el movimiento en el eje z</p>	<p>Chavetas metálicas de 170x10x10, martillo, Llave de tuerca N 13, Soldadora portátil a 110 V, placas metálicas A36 de 450x75x6</p>	<p>Flexómetro</p>	
	<p>Realizar un cordón de soldadura que una la cara de la columna con la placa metálica emperrada al hormigón en el apoyo número 1. Esto se hace con el objetivo de restringir el movimiento en el eje y</p>			

**Tabla Procedimiento para el ensayo de carga cíclica (continuación)**

<p>Ubicación de los mecanismos de carga.</p>	<p>Ubicar el centro del pistón de la gata hidráulica de manera que esté en contacto con la marca realizada en la viga a la mitad ancho del patín, esto con una tolerancia de 5 mm. Esta marca de la viga se encuentra a 2100 mm del nudo.</p> <p>Asegurar que la base de la gata esté completamente apoyada en el hormigón. Repetir este proceso para la segunda gata hidráulica ubicándola en contacto con el otro patín de la viga, mediante la ayuda de alzas disponibles se debe ubicar la gata de manera que el pistón tenga la libertad de moverse 66mm en ambas direcciones del eje.</p> <p>La gata hidráulica de la zona 1 se deja en contacto con el patín de la viga y se abre la válvula de descarga. La gata hidráulica de la zona 2 se deja en contacto con el patín de la viga y se deja cerrada la válvula de descarga</p>	<p>Alzas</p> <p>Flexómetro</p>	
<p>Ubicación de los instrumentos de medida</p>	<p>A 40 cm del eje de la columna se ubica el comparador de reloj de manera que esté firme y en contacto con el patín a la mitad del ancho.</p>	<p>Pedestal para comparador de reloj</p> <p>Flexómetro, comparador de reloj de 0,1 mm de apreciación y de 26 mm de alcance</p>	



**Tabla Procedimiento para el ensayo de carga cíclica (continuación)**

<p>Registro de imagen previa a la prueba</p>	<p>Fijar la cámara fotográfica al pedestal y ubicar todo este conjunto de manera que la cámara capte todos los puntos marcados en el plano x, y del panel nodal.</p> <p>Capturar la foto del espécimen antes de realizar la prueba, después de hacer esto, la cámara no debe moverse.</p>	<p>Cámara fotográfica, Pedestal</p>																										
<p>Aplicación de carga.</p>	<p>Cumplir con el protocolo de carga especificado. Registrar los valores de presión para cada desplazamiento según el protocolo de carga mostrado en la figura.</p> <p>La válvula de descarga de la gata opuesta al movimiento debe estar siempre abierta.</p> <p>Registrar los ángulos <math>\theta_{sd}</math> y <math>\theta_{u}</math> descritos en la sección de criterio de aceptación en el capítulo 1</p>		<p>Tabla 6 Protocolo de pruebas para el ensayo de carga cíclica<sup>17</sup></p> <table border="1" data-bbox="858 356 1121 777"> <thead> <tr> <th>Carga N°</th> <th>Valor Pico de deformación (rad)</th> <th>Número de ciclos (n)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.00375</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.005</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.0075</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.01</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.015</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0.02</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.03</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Carga N°	Valor Pico de deformación (rad)	Número de ciclos (n)	1	0.00375	6	2	0.005	6	3	0.0075	6	4	0.01	4	5	0.015	2	6	0.02	2	7	0.03	2	
Carga N°	Valor Pico de deformación (rad)	Número de ciclos (n)																										
1	0.00375	6																										
2	0.005	6																										
3	0.0075	6																										
4	0.01	4																										
5	0.015	2																										
6	0.02	2																										
7	0.03	2																										
<p>Registro fotográfico de finalización de la prueba</p> <p>Inspección</p>	<p>Se captura una foto de la misma posición de la que se registró la foto anterior.</p> <p>Se desmonta el espécimen y se busca deformaciones plásticas, fisuras o grietas. Se debe reportar cada uno de esos fenómenos en el caso de que se produzcan.</p>	<p>Cámara fotográfica, Pedestal</p> <p>Lupa 2x</p>																										

## 6.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de protocolo de pruebas se encuentran tabulados y anexados al presente documento, de estos se generan las siguientes gráficas:

### VCN-01

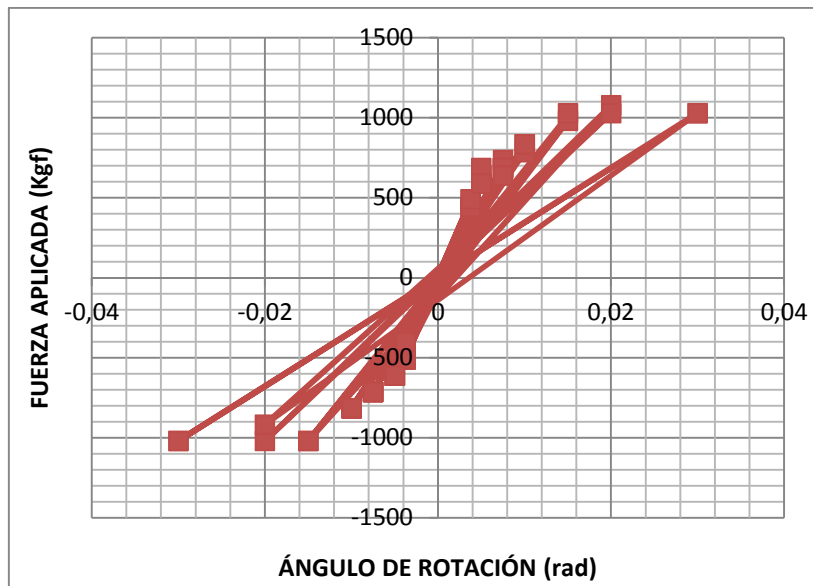


Figura6.24 Historial de Cargas VCN-01

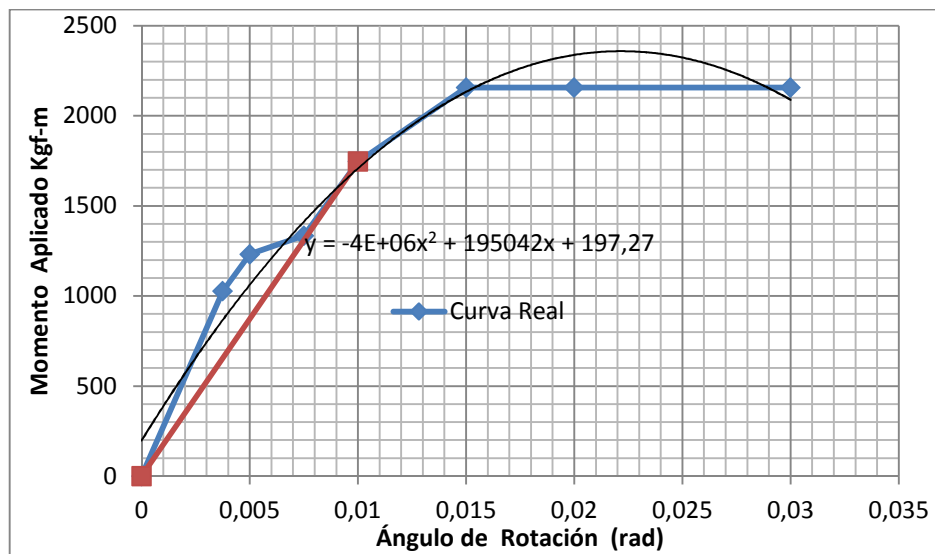


Figura 6.25 Momento Aplicado vs Ángulo de Rotación VCN-01

**Tabla 6.18 Observaciones adicionales conexión VCN-02**

CONEXIÓN VCN-01	
CICLO	OBSERVACIÓN
21	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,01 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,004 rad y en el extremo la deflexión es de 18 mm
23	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,015 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,007 rad y en el extremo la deflexión es de 28 mm
26	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,02 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,01 rad y en el extremo la deflexión es de 38 mm, además se genera abombamiento en la cara de la columna a 16 mm del patín inferior fuera de la conexión
28	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,03 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,02 rad y en el extremo la deflexión es de 52 mm.

## VCN-02

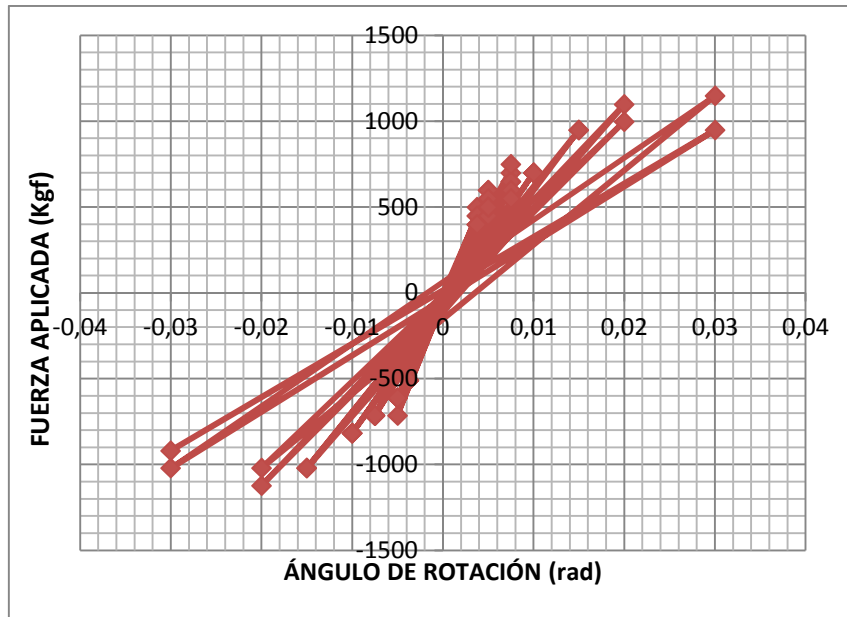


Figura 6.26 Historial de Cargas VCN-02

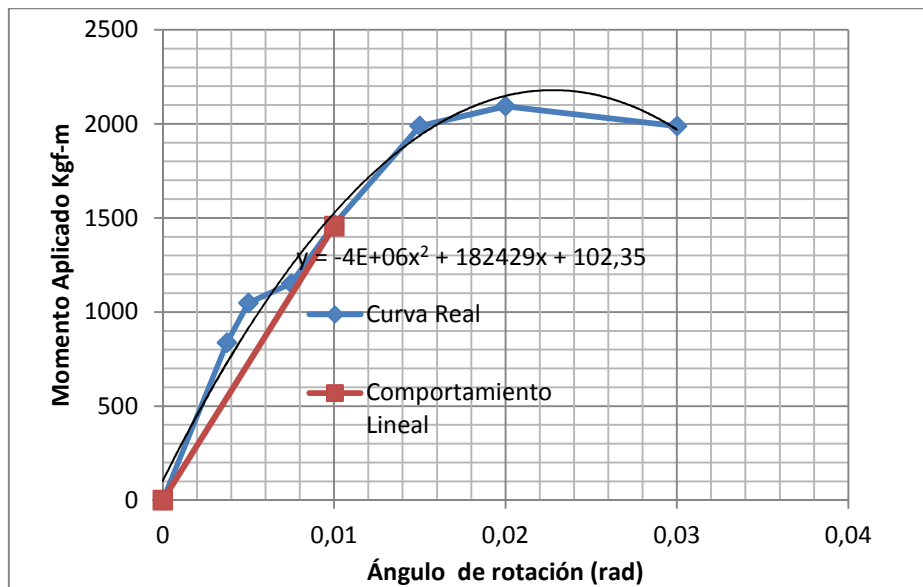


Figura 6.27 Momento Aplicado vs Ángulo de Rotación VCN-02

**Tabla 6.19 Observaciones adicionales conexión VCN-02**

CONEXIÓN VCN-02	
CICLO	OBSERVACIÓN
20	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,01 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,004 rad y en el extremo la deflexión es de 16 mm
24	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,015 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,007 rad y en el extremo la deflexión es de 30 mm
25	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,02 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,01 rad y en el extremo la deflexión es de 38 mm y se presenta abombamiento en la zona de soldadura de las alas
28	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,03 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,02 rad y en el extremo la deflexión es de 54 mm, se genera una fisura en el cordón de las alas apreciable con lupa y un abombamiento en la cara de la columna a 20 mm del patín inferior fuera de la conexión

# VCP-01

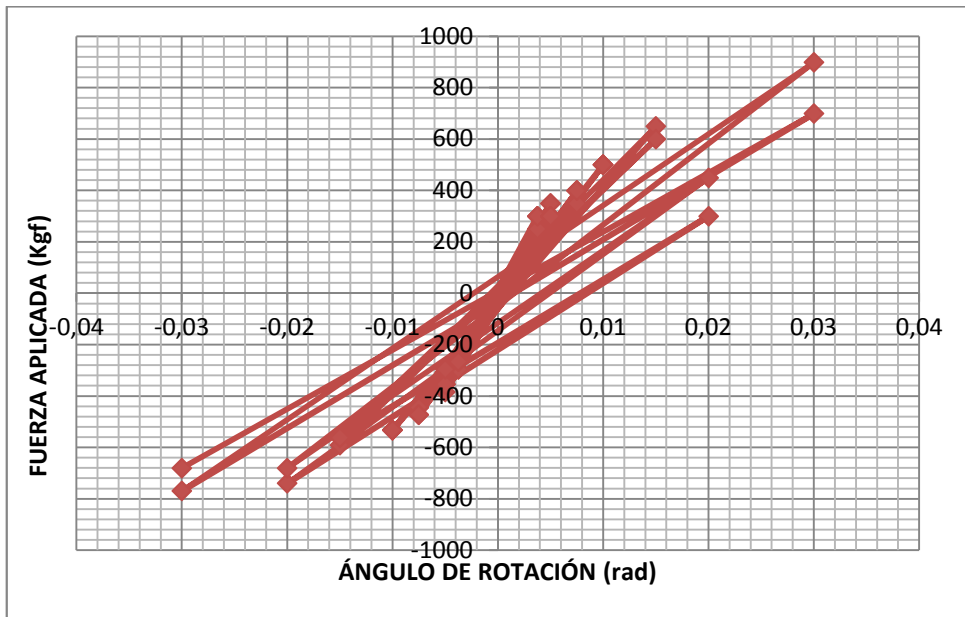


Figura 6.28 Historial de Cargas VCP-01

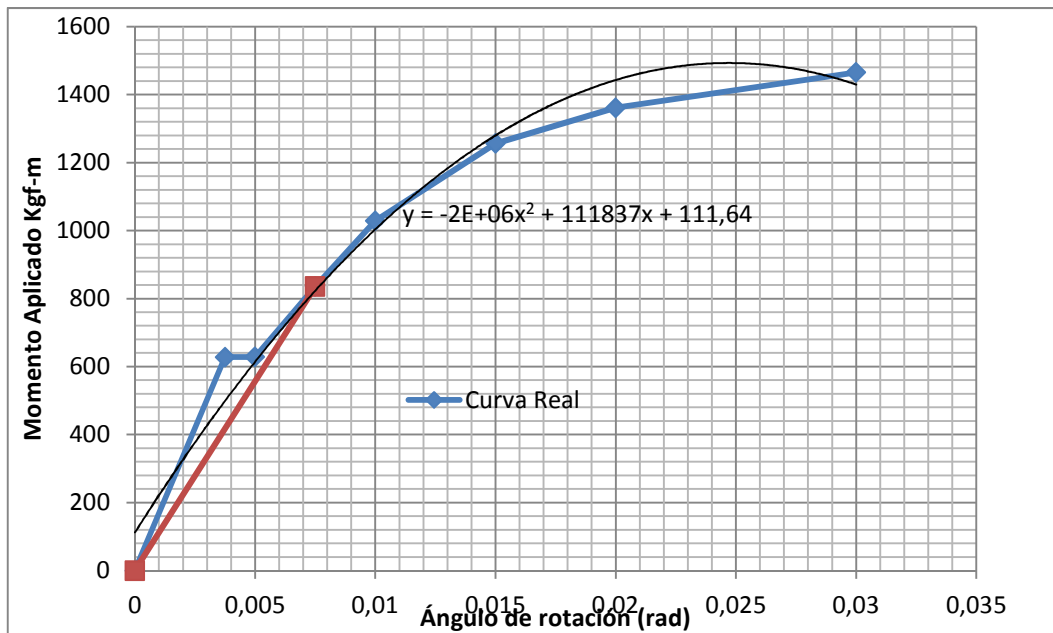


Figura 6.29 Momento Aplicado vs Ángulo de Rotación VCP-01

**Tabla 6.20 Observaciones adicionales conexión VCP-01**

CONEXIÓN VCP-01	
CICLO	OBSERVACIÓN
13	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,0075 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,002 rad y en el extremo la deflexión es de 14 mm
19	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,01 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,004 rad y en el extremo la deflexión es de 18 mm
23	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,015 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,009 rad y en el extremo la deflexión es de 38 mm y se presenta una fisura en las alas de la viga
25	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,02 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,016 rad y en el extremo la deflexión es de 54 mm y se presenta abombamiento en la zona de soldadura de las alas
27	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,03 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,02 rad y en el extremo la deflexión es de 5,8 mm, la fisura en las alas se propaga



**Figura 6.30 Fisuras producidas por aplicación de la carga VCP-02 (iz) patín superior, (der) patín inferior**

VCP-02

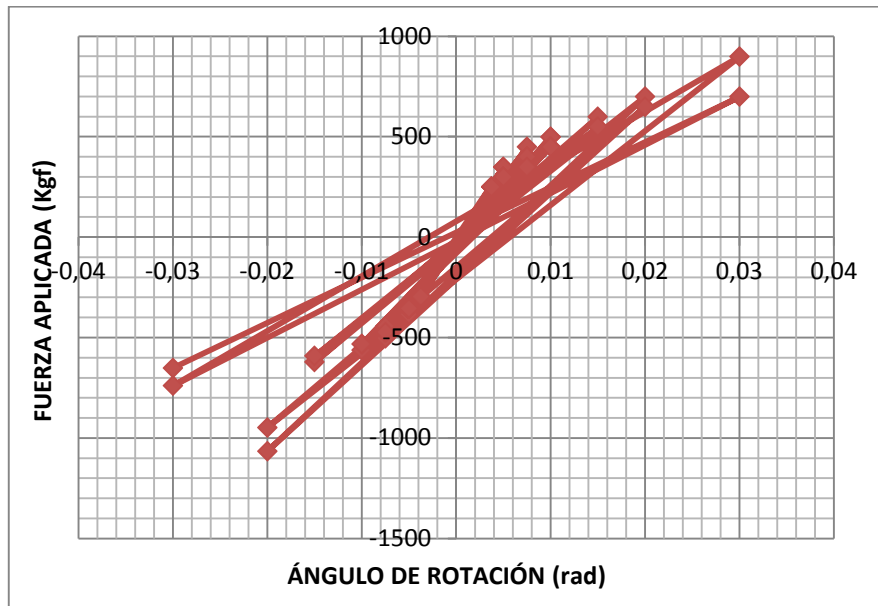


Figura 6.31 Historial de Cargas VCP-02

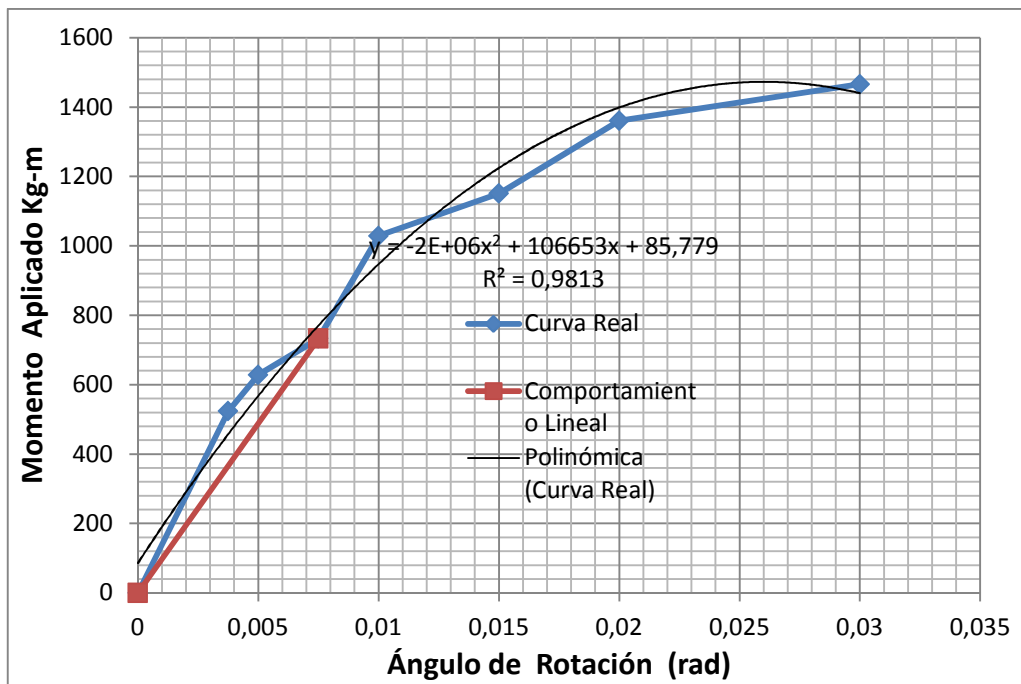


Figura 6.32 Momento Aplicado vs Ángulo de Rotación VCP-02



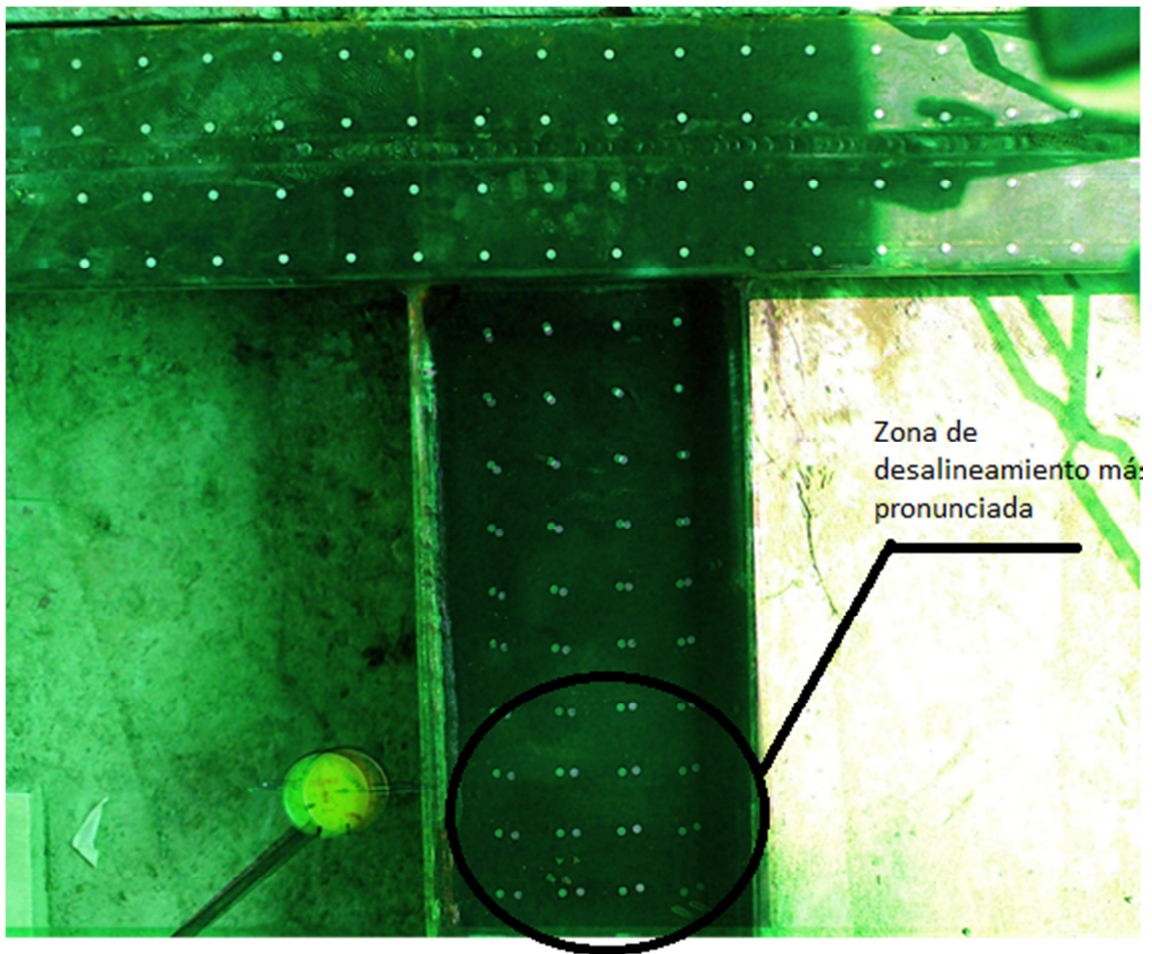
**Tabla 6.21 Observaciones adicionales conexión VCP-02**

CONEXIÓN VCP-02	
CICLO	OBSERVACIÓN
15	Tras aplicar la carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,0075 rad, aparece una fisura en el cordón del ala superior
20	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,01 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,00374 rad y en el extremo la deflexión es de 15 mm
23	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,015 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,0087 rad y en el extremo la deflexión es de 35 mm
25	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,02 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,012 rad y en el extremo la deflexión es de 49 mm
26	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,02 rad se presentó un abombamiento del material en la zona los cordones de las alas de la viga y se propago la fisura
27	Tras aplicar una carga necesaria para lograr un ángulo de rotación de 0,03 rad la viga se queda deformada permanentemente 0,02 rad y en el extremo la deflexión es de 61 mm, la fisura se propaga y se abre desgarrando el material base en los cordones de las alas de la viga



**Figura 6.33 Desgarres producidos en la conexión VCP-02, (iz) patín superior (der) patín inferior**

Superior VCP-



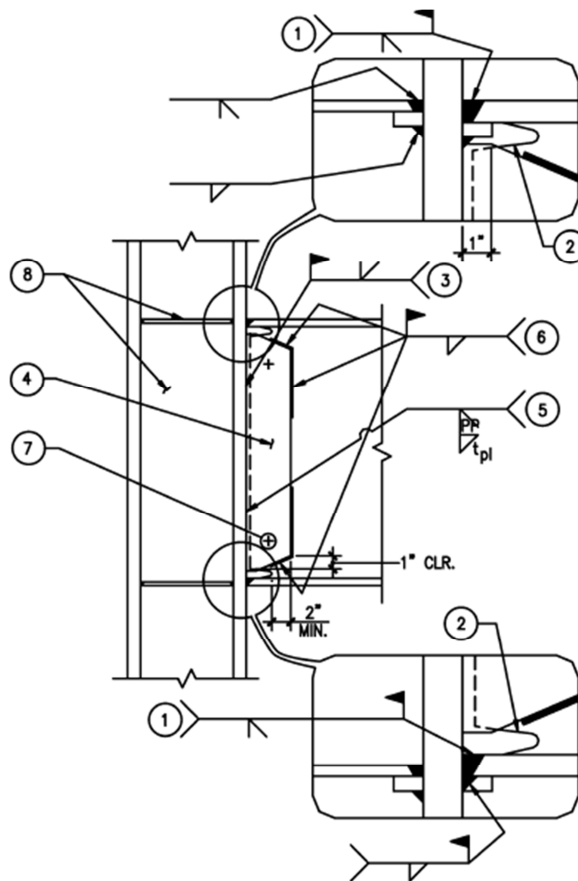
**Figura 6.34 Superposición de imagen registrada antes y después de la prueba para el espécimen VCP-02**

Dado que al realizar el ensayo de carga cíclica para la calificación de la conexión ninguno de los especímenes de prueba fue capaz de cumplir con las exigencias del código.

Por lo tanto estas conexiones con sus medidas y procesos de fabricación en particular no deberían ser utilizadas en zona de riesgo sísmico, debido a esto se proceden a dar las siguientes recomendaciones en base a la información presentada en los códigos FEMA 350 y FEMA 355 D:

Utilizar una de las conexiones planteadas como precalificadas en el código fema 350, en particular observamos que una de las conexiones que más se ajusta a lo que se está haciendo en el medio en este momento es la llamada

WUF-W, por sus siglas en inglés: Welded Unreinforced Flange-Welded Web. Se eligió este tipo de conexión porque dentro de su rango se adapta a las medidas de diseño utilizadas en la residencia y las facilidades constructivas que esta ofrece.



**Figura 6.35 Tipo de conexión precalificada sugerida (WUF-W)**

**Notas:**

1.- Los cordones de soldadura son de ranura de penetración completa, en el ala superior se puede dejar o retirar la placa de respaldo con la condición de que se haga un filete sobre este espacio de al menos 5/16" de pierna. Los cordones del ala inferior necesariamente deben quedar sin placa de respaldo y posterior a la remoción se debe hacer un filete de al menos 5/16" de pierna

2.- Los agujeros de acceso deben cumplir con la geometría dispuesta en la FEMA 350

3.-La soldadura de penetración completa debe realizarse en toda la longitud entre los agujeros de acceso.

4.- La placa de corte tiene un espesor igual al utilizado en el alma, el ancho de la placa de al menos 2" a partir de los agujeros de acceso y su longitud debe extenderse 1/8" sobrepuesto en los agujeros de accesos.

5.-Soldadura de penetración parcial en toda el alma.

6.- Soldadura de filete para la placa corte. El tamaño de la soldadura debe ser igual al espesor de la placa de corte menos 1/16 pulg. La soldadura debe extenderse verticalmente un tercio de la altura de la placa de corte arriba y abajo. Además debe atravesar la parte superior e inferior.

7.- Pernos de montaje

8.- Pacas de continuidad utilizadas en la columna

**Tabla 6.22 Parámetros de la conexión**

<b>General</b>	
Aplica para pórticos	OMF, SMF
localización de la rótulaplástica Sh	$dc/2 + db/2$
<b>Parámetros Críticos en la Viga</b>	
Peralte Máximo	W36 y superiores
Mínimarelación luz-peralte	OMF: 5
	SMF:7
Espesor de las alas	OMF: 1-1/2" o menos
	SMF: 1" o menos
Materiales permitidos	A572 grado 50, A992, A913 grado 50/S75
<b>Parámetros Críticos en la Columna</b>	
Ancho de la columna	OMF: No hay limitaciones
	SMF: W12, W14
Materiales permitidos	A572 grado 50, A913 grado 50 y 65, A992

La conexión sugerida tiene por columna un perfil tipo I, como todas las otras conexiones precalificadas mostradas en el capítulo 3 del código FEMA 350. Esto se adapta bien al sistema constructivo en Estados Unidos ya que se acostumbra a usar pórticos especiales en una sola dirección.

En nuestro medio se acostumbra construir pórticos especiales en dos direcciones, para lo cual se necesita columnas tipo cajón. El código FEMA 355 D presenta estudios realizados con columnas tipo cajón utilizando conexiones similares a las precalificadas en el código FEMA 350, y concluye que en general estas conexiones tienen un buen comportamiento antisísmico pasando los 0.03 radianes de ángulo de rotación en el ensayo de carga cíclica. Indica además que no se han realizado varios estudios en este tipo de conexiones ya que se evidencia éxito en su desempeño. Por lo tanto el código FEMA 355 D señala:

“Debido a la gran cantidad de datos, y el generalmente buen desempeño de las conexiones con columnas tipo cajón en las pruebas realizadas, las conexiones con columnas cajón dan un buen comportamiento sismorresistente si:

- Las placas de continuidad que son del espesor de las alas de la viga son usadas dentro de la columna y soldadas a todos los lados del cajón
- Los detalles de la conexión empleados en el diseño usan buenos detalles definidos en el tipo de conexión.
- El tipo de conexión no depende en gran manera de la conexión del alma para la ductilidad de la conexión.
- El tipo de conexión no depende en gran manera en la deformación en la zona del panel para la capacidad de rotación de la conexión”

Por todo esto es viable la utilización de un perfil tipo cajón en la columna en lugar del perfil I.

## CAPÍTULO VII

### ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

#### 7.1. DETERMINACIÓN DE COSTOS

Para la determinación de costos se establecen elementos importantes que intervienen en la fabricación de los prototipos así como los ensayos realizados sobre los mismos que permiten el desarrollo del estudio. Estos elementos se agrupan en materia prima, mano de obra y carga fabril, dichos costos se muestran a continuación.

##### 7.1.1. DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS Y MÁQUINAS

Influyen en los costos de fabricación de los prototipos y la transformación de la materia prima maquinaria y equipos que por su vida útil sufren de un proceso de depreciación a lo largo del tiempo. Para apreciar la variación en el valor de estos activos se ilustra en la siguiente tabla para varios periodos de tiempo con el fin de incluir su valor en los costos.

**Tabla 7.1 Depreciación de equipos utilizados en la fabricación**

Descripción	Costo del Equipo	Periodo de Depreciación	USD/Año	USD/Mes	USD/Día	USD/hora
Oxicorte	500	3	166,67	13,89	0,69	0,09
Amoladora	350	1	350,00	29,17	1,46	0,18
Soldadora	1178	3	392,67	32,72	1,64	0,20
Cortadora Plasma	1200	3	400,00	33,33	1,67	0,21

## 7.1.2. COSTOS POR FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO

Los costos de producción del prototipo van desde la fabricación de los elementos viga y columna, hasta el proceso de unión de estos vía soldadura, dentro de estos procesos se pueden detallar los costos descritos a continuación.

### 7.1.2.1. Costos por fabricación de la viga del prototipo

A continuación en las tablas se cuantificara en función de los elementos que permiten la fabricación del elemento viga los costos de fabricación tomando en cuenta los recursos que se necesita para construir dicho elemento.

**Tabla 7.2 tiempo de corte de los flejes para la viga**

DESCRIPCIÓN	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	LONGITUD DE CORTE (mm)	VELOCIDAD DE CORTE (mm/min)	TIEMPO DE CORTE (Min)	TIEMPO TOTAL (horas)
Patín Superior	2200	100	4	4600	609,6	7,55	0,13
Patín Inferior	2200	100	4	4600	609,6	7,55	0,13
Alma	2200	200	6	4800	609,6	7,87	0,13
TIEMPOTOTAL DE CORTE PARA ELEMENTOS DE LA VIGA							0,38

El material utilizado se factura por kilogramos de ahí la importancia de determinar los pesos del material utilizado con el objetivo de poder cuantificar los costos por materia prima, ítem que se describe a continuación.

**Tabla 7.3 Peso de acero requerido para la viga**

DESCRIPCIÓN	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	PESO APROX
Patín Superior	2200	100	4	6,9168
Patín Inferior	2200	100	4	6,9168
Alma	2200	200	6	20,7504
PESO DE LOS ELEMENTOS DE LA VIGA				34,584

Para la fabricación y los tiempos correspondientes invertidos dependerán del equipo utilizado y los espesores a unir, para el particular de nuestra viga se utilizó un equipo de soldadura para proceso GMAW, lo que implica un proceso semiautomático que disminuye los tiempos, con esta consideración los tiempos empleados son los descritos en la tabla a continuación:

**Tabla 7.4 Tiempo utilizado en la soldadura y armado de la viga**

DESCRIPCIÓN	PIERNADEL CORDON DE SOLDADURA (mm)	LONGITUD A SOLDAR (mm)	LONGITUD A SOLDAR (Ft)	HORAS/Ft	TIEMPO DE SOLDADURA (horas)	TIEMPO DE ARMADO (horas)
Patín Superior	5	2200	7,22	0,076	0,55	1
Patín Inferior	5	2200	7,22	0,076	0,55	1
Alma	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
TIEMPO PARCIAL					1,10	2
TIEMPO TOTAL					2,1	

Para calcular la cantidad de consumible que se necesita para la fabricación de la viga se calculara la masa empleada en función de la sección aproximada del cordón, además se considera que la eficiencia con la que se deposita el material es del 90%, es decir que un 10% de material no llega a estar en contacto con el material base y se emana al ambiente, este valor tomado del “Manual de sistemas y materiales de soldadura” del proveedor INDURA.



**Tabla 7.5 Masa de consumible requerido para la fabricación de la viga**

DESCRIPCIÓN	PIERNA DEL CORDON DE SOLDADURA (m)	LONGITUD DEL A SOLDAR (mm)	AREA TRANSVERSAL (m2)	VOLUMEN (m3)	MASA (Kg)
Patín Superior	0,005	2200	0,0000125	0,0000275	0,2145
Patín Inferior	0,005	2200	0,0000125	0,0000275	0,2145
				Subtotal	0,429
				Eficiencia 10 %	0,0429
				Total	0,4719

Todos los tiempos requeridos en la fabricación se suman para obtener los tiempos acumulados necesarios en la fabricación de vigas en la siguiente tabla-

**Tabla 7.6 Tiempos acumulados en la fabricación de vigas**

DESCRIPCIÓN	TIEMPO CORTE TOTAL (horas)	TIEMPO DE SOLDADURA (horas)	TIEMPO DE ARMADO (horas)	TIEMPO ACUMULADO (horas)
Patín Superior	0,13	0,55	1	1,68
Patín Inferior	0,13	0,55	1	1,68
Alma	0,13	n/a	n/a	0,13
TOTAL				3,49

A continuación se suman todos los elementos que intervienen en los costos para determinar lo invertido en la fabricación del elemento viga.

**Tabla 7.7 Costo total de fabricación elemento Viga**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)	
MATERIA PRIMA					42,68
Acero Estructural	Kg	34,58	1,2	41,50	
Alambre MIG	Kg	0,47	2,5	1,18	
MANO DE OBRA DIRECTA					29,45
Soldador	Horas	3,49	5,625	19,63	
Ayudante	Horas	3,49	2,8125	9,82	
COSTO INDIRECTO DE FABRICACIÓN					4,10
Mano de obra indirecta (6% MP)	U	1	2,05	2,05	
Materiales indirectos	U	1	2,05	2,05	
UTILIZACIÓN DE EQUIPOS					1,47
Oxicorte	Horas	0,38	0,09	0,03	
Amoladora	Horas	0,38	0,18	0,07	
Soldadora	Horas	1,1	0,20	0,22	
Cortadora Plasma	Horas	0,25	0,21	0,05	
Consumo eléctrico	KW	Horas			
Amoladora	1,65	0,38	0,15	0,09	
Soldadora	6,6	0,76	0,15	0,75	
Plasma	6,6	0,25	0,15	0,25	
COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN / VIGA (USD)					77,70
COSTO DE FABRICACIÓN / Kg (USD)					1,82

### 7.1.2.2. Costos por fabricación de la columna del prototipo

Para el análisis de costos en el elemento columna se consideraran los mismos parámetros vistos para el elemento viga, la variación de geometría genera variación en los tiempos así como en consumibles utilizados, además de introducirse un poseso adicional de doblado de flejes para construir perfiles “G”.

**Tabla 7.8 Tiempo de corte de los flejes para la columna**

DESCRIPCION	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	LONGITUD DE CORTE (mm)	VELOCIDAD DE CORTE (mm/min)	TIEMPO DE CORTE (Min)	TIEMPO TOTAL (horas)
PERFIL G1	2000	400	4	4800	609,6	7,87	0,13
PERFIL G2	2000	400	4	4800	609,6	7,87	0,13
TIEMPOTOTAL DE CORTE PARA ELEMENTOS DE LA COLUMNA							0,26

Fuente: Autor

**Tabla 7.9 Peso de acero requerido para la viga**

DESCRIPCIÓN	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	PESO APROX
PERFIL G1	2000	400	4	25,152
PERFIL G2	2000	400	4	25,152
PESO DE LOS ELEMENTOS DE LA COLUMNA				50,304

**Tabla 7.10 Tiempo utilizado en la soldadura y armado de la columna**

DESCRIPCIÓN	PIERNA DEL CORDON DE SOLDADURA (mm)	LONGITUD A SOLDAR (mm)	LONGITUD A SOLDAR (Ft)	HORAS/Ft	TIEMPO DE SOLDADURA (horas)	TIEMPO DE ARMADO
Cordón 1	5	2000	6,56	0,076	0,50	1
Cordón 2	5	2000	6,56	0,076	0,50	1
TIEMPO PARCIAL					1,00	2
TIEMPO TOTAL					2,1	

**Tabla 7.11 Masa de consumible requerido para la fabricación de la columna**

DESCRIPCIÓN	PIERNA DEL CORDON DE SOLDADURA (m)	LONGITUD DEL A SOLDAR (mm)	AREA TRANSVERSAL (m2)	VOLUMEN (m3)	MASA (Kg)
Cordón 1	0,005	2000	0,0000125	0,000025	0,195
Cordón 2	0,005	2000	0,0000125	0,000025	0,195
				Subtotal	0,39
				Eficiencia 10 %	0,039
				Total	0,429

**Tabla 7.12 Tiempos acumulados en la fabricación de columnas**

DESCRIPCIÓN	TIEMPO CORTE TOTAL (horas)	TIEMPO DE SOLDADURA (horas)	TIEMPO DE ARMADO (horas)	TIEMPO ACUMULADO (horas)
PERFIL G1	0,13	0,50	1	1,63
PERFIL G2	0,13	0,50	1	1,63
TOTAL				3,26

**Tabla 7.13 Costo total de fabricación elemento columna**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)	
MATERIA PRIMA					61,44
Acero Estructural	Kg	50,3	1,2	60,36	
Alambre Mig	Kg	0,43	2,5	1,08	
MANO DE OBRA DIRECTA					29,45
Soldador	Horas	3,49	5,625	19,63	
Ayudante	Horas	3,49	2,8125	9,82	
COSTO INDIRECTO DE FABRICACIÓN					7,38
Mano de obra indirecta (6% MP)	U	1	3,69	3,69	
Materiales indirectos	U	1	3,69	3,69	
UTILIZACION DE EQUIPOS					10,47
Oxicorte	Horas	0,38	0,09	0,03	
Amoladora	Horas	0,38	0,18	0,07	
Soldadora	Horas	1,1	0,20	0,22	
Cortadora Plasma	Horas	0,25	0,21	0,05	
Dobladora	Horas	0,25	36,00	36,00	
Consumo eléctrico	KW	Horas			
Amoladora	1,65	0,38	0,15	0,09	
Soldadora	6,6	0,76	0,15	0,75	
Plasma	6,6	0,25	0,15	0,25	
COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN (USD)					108,74
COSTO DE FABRICACIÓN / Kg (USD)					2,14

El costo de fabricación del elemento cajón es más elevado en consideración que requiere de más cantidad de consumible de soldadura y consecuentemente de tiempo, además del proceso de doblado de flejes.

### 7.1.2.3. Costo de ensamblaje la conexión viga-columna

Para la unión de la viga a la columna y formar el nudo de conexión en forma de “T” se realizó vía soldadura, los tiempos muertos así como de preparación de superficies a soldar se ha incluido a los tiempos de soldadura. Los tiempos utilizados para realizar la soldadura de la conexión se describen en la tabla siguiente:

**Tabla 7.14 Tiempo utilizado en la soldadura y armado de la conexión**

DESCRIPCIÓN	ANCHO DEL CORDÓN (mm)	LONG. SOLDADURA (mm)	LONG. SOLDADURA (Ft)	horas/Ft POR PASE	TIEMPO (horas)
Ala superior	4	400	1,31	0,15	0,20
Ala inferior	4	400	1,31	0,15	0,20
Alma cara A	4	200	0,66	0,15	0,10
Alma cara B	4	200	0,66	0,15	0,10
TOTAL					0,60

Para realizar la conexión se utilizó proceso SMAW, un proceso completamente manual, donde para considerar la masa de consumible necesario se consideró además de la sección del cordón la eficiencia del proceso del 60%, por lo que se sumó un 40% adicional al subtotal como parte de un desperdicio que se emana al ambiente y desperdicio por electrodo no consumido del 15% adicional a la masa calculada.

**Tabla 7.15 Masa de consumible requerido para la fabricación de la conexión**

DESCRIPCION	ANCHO DEL CORDON (m)	LONG. SOLDADURA (m)	VOLUMEN DE SOLDADURA (m3)	MASA (Kg)
Ala superior	0,004	0,4	0,00000799	0,06
Ala inferior	0,004	0,4	0,00000799	0,06
Alma cara A	0,004	0,2	0,00000799	0,06
Alma cara B	0,004	0,2	0,00000799	0,06
SUBTOTAL				0,25
Eficiencia 60%				0,15
Desperdicio 15%				0,04
TOTAL				0,44

De sumar todos estos valores se puede obtener el costo que implica realizar cada conexión de viga columna, estos valores se indican a continuación, con los mismos que se podrá determinar posteriormente el costo total de los prototipos de conexión que se utilizaron en el ensayo de carga cíclica.

**Tabla 7.16 Costo total de conectar la viga a la columna**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)	
MATERIA PRIMA					1,36
ELECTRODO SMAW	Kg	0,44	3,1	1,36	
MANO DE OBRA DIRECTA					5,06
Soldador	Horas	0,6	5,625	3,38	
Ayudante	Horas	0,6	2,8125	1,69	
COSTO INDIRECTO DE FABRICACIÓN					0,16
Mano de obra indirecta (6% MP)	U	1	0,08	0,08	
Materiales indirectos	U	1	0,08	0,08	
UTILIZACION DE EQUIPOS					1,69
Amoladora	Horas	0,6	0,18	0,11	
Soldadora	Horas	0,6	0,20	0,12	
Cortadora Plasma	Horas	0,6	0,21	0,13	
Consumo eléctrico	KW	Horas			
Amoladora	1,65	0,6	0,15	0,15	
Soldadora	6,6	0,6	0,15	0,59	
Plasma	6,6	0,6	0,15	0,59	
COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN (USD)					
COSTO DE FABRICACIÓN / Kg (USD)					0,30

#### 7.1.2.4. Costo total construcción prototipo

Para el ensayo de carga cíclica se dispusieron de cuatro especímenes de prueba o conexiones viga columna, considerando los costos descritos anteriormente la cantidad de dinero que se requiere para tener este número de especímenes es la descrita a continuación:



**Tabla 7.17 Costo total de los especímenes de prueba**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Vigas I	4	77,7	310,8
Vigas tipo cajón	4	119,74	478,96
Soldadura Viga-columna	4	8,27	33,08
TOTAL			789,76
USD/ESPECIMEN DE PRUEBA			197,44

### **7.1.3. COSTO DE INPECCIÓN Y ENSAYOS COMPLEMENTARIOS**

Para verificar el estado de las conexiones el código señala hacer uso de la herramienta de inspección visual y tintas penetrantes para el caso de los espesores usados en las placas, además señala que se deben verificar las propiedades mecánicas del material base y de soldadura lo que implico realizar ensayos de tracción y de impacto.

En la siguiente tabla se indican los tiempos que incurrieron en la inspección visual de los especímenes y que fueron facturados por el inspector de la empresa que realiza la fiscalización.

**Tabla 7.18 Tiempo total empleado en la inspección visual de la soldadura**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A INSPECCIONAR (mm)	TIEMPO DE INSPECCIÓN ANTES DE LA SOLDADURA (horas)	TIEMPO DE INSPECCIÓN DURANTE DE LA SOLDADURA (horas)	TIEMPO UTILIZADO EN INSPECCIÓN DESPUES DE LA SOLDADURA (horas)	TIEMPO UTILIZADO EN INSPECCIÓN POR ELEMENTO (horas)
Vigas I	2200	0,08	2,00	0,29	2,38
Vigas tipo cajón	4000	0,08	2,00	0,29	2,38
Soldadura Viga-columna	600	0,08	1,00	0,17	1,25
<b>TOTAL DE TIEMPO EMPLEADO EN LA INSPECCION</b>					<b>6,00</b>

De los tiempos empleados para cumplir con los procedimientos de inspección surgen los siguientes costos:

**Tabla 7.19 Tiempo total empleado en la inspección mediante tintas penetrantes de la soldadura**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD DE INSPECCIÓN (mm)	TIEMPO DE LIMPIEZA (horas)	TIEMPO APLICACIÓN PENETRANTE (horas)	TIEMPO APLICACIÓN REVELADOR (horas)	TIEMPO DE INSPECCIÓN (horas)	TIEMPO TOTAL (horas)
Cordón CJP patín superior	200	0,17	0,08	0,08	0,10	0,43
Cordón CJP patín inferior	200	0,17	0,08	0,08	0,10	0,43
Soldadura de filete 1	200	0,10	0,08	0,08	0,10	0,37
Soldadura de filete 2	200	0,10	0,08	0,08	0,10	0,37
<b>SUBTOTAL</b>						<b>1,60</b>
<b>TIEMPOS MUERTOS</b>						<b>0,50</b>
<b>TIEMPO TOTAL</b>						<b>2,10</b>

El total del costo por inspección considerando la inspección visual y la realizada con tintas penetrantes aparece a continuación considerando también el valor de los elementos utilizados en el proceso de inspección.

**Tabla 7.20 Costo total de inspección de los especímenes de prueba**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)	
MATERIA PRIMA					22,27
LIQUIDO DE LIMPIEZA SPOTCHECK SKC-S	U	0,5	22,27	11,13	
PENETRANTE SPOTCHECK SKL-SP2	U	0,25	22,27	5,57	
REVELADOR SPOTCHECK SK2-S2	U	0,25	22,27	5,57	
MANO DE OBRA DIRECTA					36,08
INSPECTOR	Horas	5,1	6,25	31,88	
AYUDANTE	Horas	2,1	2	4,20	
TOTAL POR COSTO DE INSPECCIÓN					58,34

Para verificar las propiedades mecánicas del material base se realizaron ensayos de tracción en probetas del material utilizado, al haberse utilizado dos proveedores distintos de acero se debieron realizar diez ensayos de tal suerte que la realización de los mismos incurrió en los costos que se detallan a continuación.

**Tabla 7.21 Costo total ensayos de tracción en material base**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)	
MATERIA PRIMA					9,78
ACERO A36	Kg	3,76	2,6	9,78	
MANO DE OBRA DIRECTA					16,86
Mecánico	Horas	3	5,625	16,86	
COSTO INDIRECTO DE FABRICACIÓN					1,17
Mano de obra indirecta (6% MP)	U	1	0,58	0,58	
Materiales indirectos	U	1	0,58	0,58	
UTILIZACION DE EQUIPOS					1,94
Amoladora	Horas	1,2	0,18	0,22	
Cortadora Plasma	Horas	1,2	0,21	0,25	
Consumo eléctrico	KW	Horas			
Amoladora	1,65	1,2	0,15	0,29	
Plasma	6,6	1,2	0,15	1,18	
COSTO DE LOS ENSAYOS					150,00
Ensayo de tracción	U	10	15	150,00	
COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN (USD)					179,80
COSTO DE ENSAYO / PROBETA (USD)					17,98

Al ser soldadas todas las conexiones con electrodo revestido E 7018 se necesitaron únicamente cinco probetas ara la verificación de las propiedades mecánicas del material de aporte, los costos del ensayo de tracción en este caso es señalado a continuación:

**Tabla 7.22 Costo total ensayos de tracción en material de aporte**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)	
MATERIA PRIMA					12,46
ACERO A36	Kg	4,72	2,6	12,27	
ELECTRODO E7018	Kg	0,06	3,1	0,19	
MANO DE OBRA DIRECTA					13,50
Mecánico	Horas	1,5	5,625	8,44	
Soldador	Horas	0,6	5,625	3,38	
Ayudante	Horas	0,6	2,8125	1,69	
COSTO INDIRECTO DE FABRICACIÓN					0,83
Mano de obra indirecta (6% MP)	U	1	0,75	0,75	
Materiales indirectos	U	1	0,08	0,08	
UTILIZACION DE EQUIPOS					1,69
Amoladora	Horas	0,6	0,18	0,11	
Cortadora Plasma	Horas	0,6	0,21	0,13	
Soldadora	Horas	0,6	0,20	0,12	
Consumo eléctrico	KW	Horas			
Amoladora	1,65	0,6	0,15	0,15	
Plasma	6,6	0,6	0,15	0,59	
Soldadora	6,6	0,6	0,15	0,59	
COSTO DE LOS ENSAYOS					75,00
Ensayo de tracción	U	5	15	75,00	
COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN (USD)					103,48
COSTO DE ENSAYO / probeta					20,69

Para la realización de los ensayos de impacto requeridos se incurrió en los siguientes costos

**Tabla 7.23 Costo total ensayos de impacto en material de aporte**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)	
MATERIA PRIMA					3,19
ACERO A36	Kg	0,94	2,6	2,44	
ELECTROD O E7018	Kg	0,24	3,1	0,74	
MANO DE OBRA DIRECTA					26,72
Mecánico	Horas	2,5	5,625	14,06	
Soldador	Horas	1,5	5,625	8,44	
Ayudante	Horas	1,5	2,8125	4,22	
COSTO INDIRECTO DE FABRICACIÓN					0,38
M,O indirecta(6% MP)	U	1	0,19	0,19	
Materiales indirectos	U	1	0,19	0,19	
UTILIZACION DE EQUIPOS					1,69
Amoladora	Horas	0,6	0,18	0,11	
Cortadora Plasma	Horas	0,6	0,21	0,13	
Soldadora	Horas	0,6	0,20	0,12	
Consumo eléctrico	KW	Horas			
Amoladora	1,65	0,6	0,15	0,15	
Plasma	6,6	0,6	0,15	0,59	
Soldadora	6,6	0,6	0,15	0,59	
COSTO POR MAQUINADO DE PROBETAS					60,00
Maquinado de probetas	U	5	12	60,00	
COSTO DE LOS ENSAYOS					50,00
Ensayo de tracción	U	5	5	50,00	
COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN (USD)					140,29
COSTO DE ENSAYO / probeta					28,06

#### 7.1.4. COSTO DE LOS ELEMENTOS PARA EL ENSAYO DE CARGA CICLICA

Para la realización de la prueba se necesitó de acondicionar un espacio físico que proporcione los apoyos necesarios para todos los elementos que constituyen a la prueba. La construcción de dicho espacio físico incurrió en los siguientes costos:

**Tabla 7.24 Costo de fabricación del marco de pruebas**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)	
MATERIA PRIMA					405,40
Varilla corrugada dia. 18 mm	Kg	60	1,1	66,00	
Varilla corrugada dia. 10 mm	kg	32	1,1	35,20	
Cemento	Quintales	17	7,5	127,50	
Arena	m3	4	18,75	75,00	
Ripio	m3	4	18,75	75,00	
Madera triplex 2,5x30x150 cm	U	5	2	10,00	
Placa de restricción A36	Kg	3,5	2,6	9,10	
Pernos de anclaje dia 3/8"	U	8	0,95	7,60	
MANO DE OBRA DIRECTA					80,00
Albañil	Horas	16	2,5	40,00	
Ayudante	Horas	16	2,5	40,00	

### Costo de fabricación del marco de pruebas (Continuación)

COSTO INDIRECTO DE FABRICACIÓN					48,65
Mano de obra indirecta (6% MP)	U	1	24,32	24,32	
Materiales indirectos	U	1	24,32	24,32	
UTILIZACION DE EQUIPOS					0,16
Taladro	Horas	0,38	0,18	0,07	
Consumo eléctrico	KW	Horas			
taladro	1,65	0,38	0,15	0,09	
COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN (USD)					534,21

Además del espacio físico que proporciona la rigidez del sistema descrito en la tabla anterior se necesitó de equipos que permitan aplicar carga y de instrumentos de medición que cuantifiquen las variables que intervienen en la prueba, estos últimos debieron ser certificados en el Laboratorio de Metrología de la Escuela Politécnica del Ejercito.

De todo esto surgieron los siguientes costos:



**Tabla 7.25 Costo de instrumentos y equipos utilizados en la prueba**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
<b>Equipos e Instrumentos</b>				
Comparador de reloj marca Tequiment alcance 30 mm apreciación 0.1mm	U	1	160	160
Flexómetro marca Stanley alcance 3 m apreciación 1 mm	U	1	5	5
Nivel de burbuja marca Stanley	U	1	12,25	12,25
Gata hidráulica de botella marca Truper capacidad 12 Tn	U	1	60,8	60,8
Gata hidráulica de botella marca Truper capacidad 20 Tn	U	1	82,2	82,2
Manómetro de Glicerina alcance 280 bar apreciación 2 bar	U	2	25,2	50,4
<b>Servicios Adicionales</b>				
Certificación del comprador de reloj marca Tequiment	U	1	56	56
Certificación del flexómetro marca Stanley alcance	U	1	56	56
Certificación del nivel de burbuja marca Stanley	U	1	56	56
Verificación manómetro de Glicerina alcance 280 bar apreciación 2 bar	U	2	20	40
Adaptación de manómetro en gata hidráulica de botella	U	2	20	40
<b>Costo total</b>				618,65

### 7.1.5. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

De todos los elementos antes descritos que aportaron a los costos totales de proyecto se genera la siguiente tabla de resumen.

**Tabla 7.26 Costo total del proyecto**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
Costo por fabricación de espécimen	U	4	197,44	789,76
Costo total de inspección de los especímenes de prueba	U	1	58,34	58,34
Costo total de los ensayos de tracción del material base	U	10	17,98	179,8
Costo total de ensayos de tracción en el material de aporte	U	5	20,69	103,45
Costo total ensayos de impacto en material de aporte	U	5	28,06	140,3
Costo de fabricación del marco de pruebas	U	1	534,21	534,21
Costo de instrumentos y equipos utilizados en la prueba	U	1	618,65	618,65
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>				<b>2424,51</b>

## CAPÍTULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 CONCLUSIONES

- Tras realizar el ensayo de carga cíclica y comparar los resultados obtenidos con los del criterio de aceptación dispuesto en el código FEMA 350 en el apartado 3.9.2, se puede concluir que ninguna de las conexiones puede ser utilizada en pórticos IMF (Pórticos no arriostrados Intermedios) y SMF (pórticos no arriostrados especiales)

TIPO DE CONEXIÓN	$\theta_{sd}$ Alcanzado (rad)	$\theta_{sd}$ de Aceptación mínimo (rad)		OBSERVACIÓN
		IMF	SMF	
VCN-01	0,02	0,03	0,04	NO CUMPLE
VCN-02	0,02	0,03	0,04	NO CUMPLE
VCP-01	0,02	0,03	0,04	NO CUMPLE
VCP-02	0,02	0,03	0,04	NO CUMPLE

- De acuerdo con lo mencionado en la FEMA 350, apartado 3.2.1, donde indica: "... inelastic drift is accommodated through the development of plastic flexural deformation (plastic hinge) within the beam span, remote from the face of the column." Ninguna de las conexiones podría ser utilizada como IMF o SMF dado que las deformaciones plásticas se presentaron en la cara de la columna y no en la viga como deberían.
- Conforme con lo solicitado en el apéndice Q de la AISC 341, que señala los lineamientos de fabricación de las conexiones se puede concluir que las conexiones VCN pueden ser utilizadas como pórticos OMF (Pórticos no arriostrados ordinarios) en zonas que no tengan riesgo sísmico. Siguiendo este criterio las conexiones VCP a pesar de superar los 0,02 rad en la prueba que es el requerimiento para pórticos OMF, no puede ser utilizada en este tipo de pórticos por las deficiencias en su proceso de fabricación.

## 8.2 RECOMENDACIONES

- Luego de realizar el proceso de calificación de las conexiones y obtener resultados que las descalifiquen para su uso en IMF y SMF se recomienda evitar la utilización de conexiones que no estén calificadas y en su lugar utilizar las conexiones precalificadas propuestas por la FEMA 350 en su apartado 3.4. las conexiones mencionadas en este apartado utilizan columnas con perfiles tipo I; sin embargo se puede extender estas conexiones que utilicen en su lugar columnas tipo cajón si cumplen con el dimensionamiento de espesor, peralte y ancho que se mencionan para cada conexión. Estas afirmaciones debido a los estudios presentados en el código FEMA 355D apartado 4.8.
- Para evitar la aparición de deformaciones plásticas en la cara de la columna que se evidenciaron en las conexiones probadas en el ensayo de carga cíclica, se recomienda en conexiones precalificadas que utilicen perfiles del tipo cajón en la columna mantener el criterio de diseño mostrados en la FEMA 350, apartado 3.3.3.1 que ubica placas de continuidad en sentido transversal en la zona del panel nodal de la columna.
- Se recomienda seguir con todos los lineamientos de fabricación mostrados en el apéndice Q del código AISC 341, además del uso de acero A992 grado 50 ( $f_y = 50$  ksi) en lugar del A36 ( $f_y = 36$  ksi), esto en consideración a que todas las conexiones precalificadas mostradas en la FEMA 350, apartado 3.4 descartan el uso de acero A36

## BIBLIOGRAFÍA

- Kubiec-Conduit*. (Octubre de 2012). Obtenido de [http://www.kubiec.com/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=item&id=81&Itemid=326#tolerancias](http://www.kubiec.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=81&Itemid=326#tolerancias)
- Kubiec-Conduit*. (Octubre de 2012). Obtenido de [http://www.kubiec.com/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=item&id=28&Itemid=279](http://www.kubiec.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=28&Itemid=279)
- American Institute of Steel Construction Inc. (2005). ANSI/AISC 341-05 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. Chicago, 62-98.
- American Institute of Steel Contructions. (2005). AISC LRDF Steel Construction Manual. Chicago, 34-40.
- American Society for Testing Materials. (1995). ASTM A36/A36M Standard Specification for Carbon Structural Steel. Estados Unidos de America, 5.
- American Society for Testing Materials. (1995). ASTM A992/A992M Standard Specification for Carbon Structural Steel. Estados Unidos de America, 5.
- American Society for Testing Materials. (1995). ASTM E165 Standard Test Method For Liquid Penetrant Examination. Estados Unidos de America, 25.
- American Society for Testing Materials. (2007). ASTM A370 Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. Estados Unidos de America, 47.
- American Society of Civil Engineers. (2005). ASCE 7-05 Minimum Desing Loads for Buildings and Other Structures . Virginia, 1-10.
- American Welding Society. (1998). AWS B4.0 Standard Methods for Mechanical Testing of Weld. Miami, 5-14.
- American Welding Society. (2006). AWS D1.1/D1.1M:2006 Structural Welding Code. Miami, 75-205.
- CPE INEN 5. (2000). Código Ecuatoriano de la Construcción . Quito, 1-38.
- Federal Emergency Management Agency . (2000). *FEMA-350 Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings*. Washington DC, 3.1-3.80.
- Federal Emergency Management Agency. (s.f.). FEMA-355D State of the Art Report on Connection Performance . Washington DC, 4.1-4.26.
- Indura. (s.f.). Manual de Sistema y Materiales de Soldadura. Chile, 3-44.
- Instituto Latinoamericano del Fierro y Acero. (2008). En F. Crisafulli, *Diseño sismorresistente para edificaciones en acero* (pág. 63). Mendoza, 63.
- SIICE. (2007). Cartografía de Riesgos y Capacidades en el Ecuador. Quito, 9-19.
- Uribe , M., & Valencia, G. (2009). Calificación de una conexión rígida de una viga I y una columna tubular rellena de concreto bajo la acción de cargas dinámicas. *Revista de Ingeniería e investigación*, 24-34.