

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTUDIO DE LAS CONEXIONES SOLDADAS DE COLUMNAS
COMPUESTAS RCFT CON VIGAS METÁLICAS TIPO I
COMÚNMENTE USADAS EN ECUADOR**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAGISTER EN ESTRUCTURAS**

ING. CHRISTIAN GERMAN GALLEGOS CAMPOS

chrisgerhot@hotmail.com

Director: ING. MSC. JORGE RICARDO VINTIMILLA JARAMILLO

jvintimillaj@gmail.com

Quito, Junio 2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

Como director del trabajo de titulación, Estudio de las conexiones soldadas de columnas compuestas RCFT con vigas metálicas tipo I comúnmente usadas en Ecuador desarrollado por el Ing. Christian German Gallegos Campos estudiante de la Maestría de Estructuras, habiendo supervisado la realización de este trabajo y realizado las correcciones correspondientes, doy por aprobada la redacción final del documento escrito para que prosiga con los trámites correspondientes a la sustentación de la Defensa oral.

Ing. Msc Jorge Ricardo Vintimilla Jaramillo

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

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

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Christian German Gallegos Campos

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen Santísima de la cual soy un ferviente devoto.

A mis queridos padres Fausto German y Marcia Angelita por el apoyo y comprensión brindados

Christian German

AGRADECIMIENTO

A todas esas personas que aportaron en el desarrollo y finalización de este trabajo de investigación, a mi familia por entender mis ausencias y mis tiempos, a mis estimados colegas y amigos del Centro de Investigación de la Vivienda (CIV – EPN) a Christian, Diego A., Edwin, Gastón, Meli, Raúl, Roberto; al Ing. Jorge Vintimilla por su apoyo incondicional para cumplir con el objetivo final de este trabajo de investigación, a Hugo por su asesoramiento técnico, así como a mis compañeras tesistas del CIV Jady y Kary; por todos los momentos y vivencias compartidas en el desarrollo de este trabajo a todos ustedes mi eterno agradecimiento.

Christian German

RESUMEN

En nuestro medio en los últimos años se ha visto un auge en la construcción de edificios de acero muchos de los cuales no cuentan con conexiones debidamente calificadas ni probadas de ahí la necesidad imperiosa de investigar sobre este tema a fin de tener mayor certeza sobre el comportamiento real de estas conexiones, en este trabajo de investigación se ha comparado el comportamiento de cinco probetas de conexiones soldadas que son utilizadas con columnas compuestas RCFT (*Rectangular Concrete Filled Tube*) y Vigas Metálicas tipo I, todas ellas elaboradas con los mismos materiales, dimensiones y procesos constructivos solo variando la parte de la conexión siendo esta la única variable a investigar. Para esta investigación se elaboraron cuatro probetas mismas que fueron comparadas con la probeta realizada en el trabajo de investigación del (Ing. Hugo Pillajo). Con estos ensayos experimentales se pudo determinar el real comportamiento de estas conexiones esto mediante la realización de ensayo cíclicos siguiendo el protocolo de carga definido por (ANSI/AISC 341-10, 2012) que determina que para que una conexión sea calificada debe soportar un momento flector en la cara de la columna superior al 80% del momento de plastificación de la viga en su sección reducida, para una rotación total de 0.04 radianes para calificar como una Conexión a Momento Completamente Restringida (FR), y 0.02 radianes para calificar como Conexión a Momento Parcialmente Restringida (PR), de los resultados de los ensayos experimentales se obtuvo las curvas de histéresis necesarias para realizar nuestro estudio.

Palabras Claves: (Histéresis, Conexión, Columna Compuesta RCFT, Protocolo de carga, Calificación, Precalificación)

ABSTRACT

In our midst in recent years has seen a boom in the construction of steel buildings, several of these do not have properly qualified or proven connections, arising the imperative need to investigate this topic to be more certain about the actual behavior of these connections, this research topic has compared the behavior of five welded test specimens, which are used with composite columns RCFT (Rectangular Concrete Filled Tube) and Type I Metal Beams all made with the same materials, dimensions and constructive processes, varying only the part of the connection being the only variable to investigate. For this investigation, four same specimens were made and compared with the specimen made by (Ing. Hugo Pillajo). These experimental tests determined the actual behavior of these connections by conducting a cyclic test following the load protocol defined by (ANSI/AISC 341-10, 2012) which states that for a connection to be qualified it must withstand a bending moment on the face of the column greater than 80% of the plastification moment of the beam in its reduced section, for a total rotation of 0.04 radians to qualify as a Connection Fully Restrained (FR), and 0.02 radians to qualify as Partially Restrained (PR), from the results of the experimental tests we obtained the hysteresis curves necessary to carry out our study.

Key Words: (Hysteresis, Connection, RCFT Composite Column, Load Protocol, Pre-qualification, Cualification)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1.- Clasificación de la respuesta momento-rotación de Conexiones FR, Conexiones PR, y Conexiones simples (ANSI/AISC 360-16, 2016, pág. 277).	6
Figura 1-2.- Ubicación de Rotulas Plásticas en vigas (FEMA-350, 2000, págs. 3-6).....	7
Figura 1-3.- Ejemplo de cálculo de la cortante en la Articulación Plástica (FEMA-350, 2000, págs. 3-8).....	8
Figura 1-4.- Momento flector en la cara de la columna (FEMA-350, 2000, págs. 3-8)...	9
Figura 1-5.- Mecanismo de deformación plástica con rotulación en vigas (Crisafulli, 2014, pág. 70).	18
Figura 1-6.- Tipos de secciones para columnas armadas	22
Figura 1-7.- Rotación angular de la conexión de prueba	28
Figura 1-8.- Protocolo de Deformaciones en ensayo de Precalificación según (ANSI/AISC 341-10, 2012).....	29
Figura 1-9.- Comportamiento histerético de una conexión precalificada FR (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 200).....	29
Figura 1-10.- Detalle de conexión con viga de sección reducida (RBS)	30
Figura 2-1.- Sección de columna de probeta a ensayarse	41
Figura 2-2.- Detalle de dimensiones para cálculo de las proporciones de ancho espesor para elementos compuestos	44
Figura 2-3.- Sección de viga de probeta a ensayarse	45
Figura 2-4.- Vista en planta de conexión en probeta 1	51
Figura 2-5.- Vista en elevación de conexión en probeta 1.....	52
Figura 2-6.- Vista en planta de conexión en probeta 2.....	52
Figura 2-7.- Vista en elevación de conexión en probeta 2.....	53
Figura 2-8.- Vista en planta de conexión en probeta 3.....	53
Figura 2-9.- Vista en elevación de conexión en probeta 3.....	54
Figura 2-10.- Vista en planta de conexión en probeta 4.....	54
Figura 2-11.- Vista en elevación de conexión en probeta 4.....	55
Figura 2-12.- Vista en planta de conexión en probeta 5.....	55
Figura 2-13.- Vista en elevación de conexión en probeta 5.....	56
Figura 2-14.- Varillas $\varnothing 14$ mm para obtener anclaje mecánico entre la columna de acero y el relleno de hormigón.....	56
Figura 2-15.- Ángulo de canal en la longitud L de la conexión para realizar la soldadura de penetración completa CJP entre los canales U350x175x8mm.....	57

Figura 2-16.- Abertura de la raíz para la soldadura CJP en la longitud L de la conexión	57
Figura 2-17.- Refuerzo de la soldadura en el cordón en la longitud L	57
Figura 2-18.- Proceso de soldadura FCAW, posición 1G entre diagonal interna y el canal U350x175x8mm en columnas para probetas del modelo 1 y modelo 4	58
Figura 2-19.- Inspección visual del cordón entre la diagonal y el canal de la columnas para probetas del modelo 1 y modelo 4	58
Figura 2-20.- Columna terminada se aprecian agujeros para colocar empotramientos	58
Figura 2-21.- Interior de la columna tubular 2U350x175x8mm	59
Figura 2-22.- Relleno de hormigón $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en las columnas tubulares RCFT .	59
Figura 2-23.- Toma de muestras del hormigón en probetas.....	59
Figura 2-24.- Ángulo de canal del patín superior de la viga.....	60
Figura 2-25.- Angulo de canal entre el alma de la viga y el patín inferior de la misma, en la zona protegida.	60
Figura 2-26.- Medición del filete en zona protegida de la viga.....	60
Figura 2-27.- Medición del filete en la soldadura de la placa de respaldo y la columna. Posición 4G	61
Figura 2-28.- Ángulo de canal del alma de la viga y el patín inferior	61
Figura 2-29.- Ángulo de canal del patín superior de la viga.....	62
Figura 2-30.- Soldadura proceso SMAW. Posición 1G entre la columna y el patín superior de la viga	62
Figura 2-31.- Medición del refuerzo colocado en el patín superior de la viga	63
Figura 2-32.- Medición del filete colocado el patín inferior de la viga	63
Figura 2-33.- Vista inferior conexión viga de sección reducida-columna con placas externas paralelas a la cara de la columna perteneciente a la Probeta del Modelo 2 .	64
Figura 2-34.- Vista frontal conexión viga de sección reducida-columna con diagonales internas.....	64
Figura 2-35.- Vista frontal conexión viga de sección reducida-columna con anillo de placas colocadas alrededor de la columna compuesta RCFT de manera perpendicular a la cara de la columna con diagonales internas perteneciente a la Probeta 4, se puede apreciar como las placas de refuerzo están colocadas encima del patín superior y debajo del patín inferior	65
Figura 2-36.- Vista frontal conexión viga de sección reducida-columna terminada	65
Figura 2-37.- Montaje de probeta a ensayarse.....	66
Figura 2-38.- Dimensiones de punto de apoyos y aplicación de carga.....	67
Figura 2-39.- Medición de Desplazamiento Vs Fuerza Aplicada	68

Figura 2-40.- Medición de Desplazamiento Vs Fuerza Aplicada con su Ciclo Correspondiente	69
Figura 2-41.- Curva esfuerzo deformación para aceros de bajo contenido de carbono. (Gerdau-Corsa).....	72
Figura 3-1.- Probeta 1 lista para ser ensayada	73
Figura 3-2.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 1	77
Figura 3-3.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 1	77
Figura 3-4.- Falla en ciclo 6.2 Probeta 1	77
Figura 3-5.- Falla en ciclo 7.1 Probeta 1	78
Figura 3-6.- Falla en ciclo 7.2 Probeta 1	78
Figura 3-7.- Falla en ciclo 8.1 Probeta 1	78
Figura 3-8.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 1	79
Figura 3-9.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 1	79
Figura 3-10.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 1	79
Figura 3-11.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 1	80
Figura 3-12.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 1	80
Figura 3-13.- Desplazamiento de Probeta 1 en Ciclo 9.2.....	81
Figura 3-14.- Enumeración de Straing Gauges Probeta 1.....	84
Figura 3-15.- Enumeración de Straing Gauges Patín Superior Probeta 1	85
Figura 3-16.- Enumeración de Straing Gauges Patín Inferior Probeta 1	85
Figura 3-17.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista en planta Probeta 1 .	87
Figura 3-18.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista en alzado Probeta 1	88
Figura 3-19.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista posterior Probeta 1 ..	88
Figura 3-20.- Análisis No Lineal. Desplazamientos Probeta 1	89
Figura 3-21.- Análisis No Lineal. Deformaciones Unitarias Probeta 1	89
Figura 3-22.- Modelo Básico (Etabs, Sap2000) para obtener un desplazamiento Δ (mm) debido a una carga P(Tn)	91
Figura 3-23.- Probeta 2 lista para ser ensayada	93
Figura 3-24.- Falla en ciclo 4.4 Probeta 2	97
Figura 3-25.- Falla en ciclo 5.2 Probeta 2	97
Figura 3-26.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 2	97
Figura 3-27.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 2	98
Figura 3-28.- Falla en ciclo 6.2 Probeta 2	98
Figura 3-29.- Falla en ciclo 7.1 Probeta 2	98
Figura 3-30.- Falla en ciclo 7.1 Probeta 2	99
Figura 3-31.- Falla en ciclo 8.1 Probeta 2	99
Figura 3-32.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 2	99

Figura 3-33.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 2	100
Figura 3-34.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 2	100
Figura 3-35.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 2	100
Figura 3-36.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 2	101
Figura 3-37.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 2	101
Figura 3-38.- Desplazamiento de la viga de la Probeta 2 en ciclo 9.2	102
Figura 3-39.- Enumeración de Straing Gauges Probeta 2.....	105
Figura 3-40.- Enumeración de Straing Gauges Patín Superior Probeta 2	106
Figura 3-41.- Enumeración de Straing Gauges Patín Inferior Probeta 2	106
Figura 3-42.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista en alzado Probeta 2	108
Figura 3-43.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista superior robeta 2 ...	109
Figura 3-44.- Análisis No Lineal. Desplazamientos Probeta 2.....	109
Figura 3-45.- Análisis No Lineal. Deformaciones Unitarias Probeta 2	110
Figura 3-46.- Modelo de Probeta para obtener un desplazamiento Δ (mm) debido a una carga P(Tn).....	112
Figura 3-47.- Probeta 3 lista para ser ensayada	114
Figura 3-48.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 3	118
Figura 3-49.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 3	118
Figura 3-50.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 3	118
Figura 3-51.- Falla en ciclo 6.2 Probeta 3	119
Figura 3-52.- Falla en ciclo 6.2 Probeta 3	119
Figura 3-53.- Falla en ciclo 7.1 Probeta 3	119
Figura 3-54.- Falla en ciclo 7.1 Probeta 3	120
Figura 3-55.- Falla en ciclo 7.2 Probeta 3	120
Figura 3-56.- Falla en ciclo 7.2 Probeta 3	120
Figura 3-57.- Falla en ciclo 8.1 Probeta 3	121
Figura 3-58.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 3	121
Figura 3-59.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 3	121
Figura 3-60.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 3	122
Figura 3-61.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 3	122
Figura 3-62.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 3	122
Figura 3-63.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 3	123
Figura 3-64.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 3	123
Figura 3-65.- Desplazamiento de la viga de la Probeta 3 en ciclo 9.2	124
Figura 3-66.- Enumeración de Straing Gauges Probeta 3.....	127
Figura 3-67.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista posterior Probeta 3	130

Figura 3-68.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista superior Probeta 3.	131
Figura 3-69.- Análisis No Lineal. Desplazamientos Probeta 3.....	131
Figura 3-70.- Análisis No Lineal. Deformaciones Unitarias Probeta 3.....	131
Figura 3-71.- Modelo de Probeta para obtener un desplazamiento Δ (mm) debido a una carga P(Tn).....	133
Figura 3-72.- Detalle de Probeta 4.....	135
Figura 3-73.- Falla en ciclo 6.2 Probeta 4.....	139
Figura 3-74.- Falla en ciclo 7.1 Probeta 4.....	139
Figura 3-75.- Falla en ciclo 7.1 Probeta 4.....	140
Figura 3-76.- Falla en ciclo 7.2 Probeta 4.....	140
Figura 3-77.- Falla en ciclo 7.2 Probeta 4.....	141
Figura 3-78.- Falla en ciclo 8.1 Probeta 4.....	141
Figura 3-79.- Falla en ciclo 8.1 Probeta 4.....	142
Figura 3-80.- Falla en ciclo 8.1 Probeta 4.....	142
Figura 3-81.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 4.....	143
Figura 3-82.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 4.....	143
Figura 3-83.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 4.....	144
Figura 3-84.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 4.....	144
Figura 3-85.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 4.....	145
Figura 3-86.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 4.....	145
Figura 3-87.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 4.....	146
Figura 3-88.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 4.....	146
Figura 3-89.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 4.....	147
Figura 3-90.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 4.....	147
Figura 3-91.- Falla en ciclo 10.1 Probeta 4.....	148
Figura 3-92.- Falla en ciclo 10.1 Probeta 4.....	148
Figura 3-93.- Falla en ciclo 10.1 Probeta 4.....	149
Figura 3-94.- Falla en ciclo 10.1 Probeta 4.....	149
Figura 3-95.- Falla en ciclo 10.2 Probeta 4.....	150
Figura 3-96.- Falla en ciclo 10.2 Probeta 4.....	150
Figura 3-97.- Falla en ciclo 10.2 Probeta 4.....	151
Figura 3-98.- Enumeración de Straing Gauges Probeta 4.....	154
Figura 3-99.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista alzado Probeta 4 ...	157
Figura 3-100.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista lateral Probeta 4..	157
Figura 3-101.- Análisis No Lineal. Desplazamientos Probeta 4.....	158
Figura 3-102.- Análisis No Lineal. Deformaciones Unitarias Probeta 4.....	158

Figura 3-103.- Modelo de Probeta para obtener un desplazamiento Δ (mm) debido a una carga P(Tn).....	160
Figura 3-104.- Placas de Continuidad dentro de columna RCFT en Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)	162
Figura 3-105.- Falla de material base en zona de soldadura de patín superior de viga a una rotación de 0.04 rad. Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)	165
Figura 3-106.- Falla de material base en zona de soldadura de patín inferior de viga a una rotación de 0.05 (rad) Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo).....	165
Figura 3-107.- Falla de material base en esquinas de patín superior e inferior de la viga a una rotación de 0.05 (rad) Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo).....	166
Figura 3-108.- Deformación plástica en patín superior de la viga en la zona de la sección reducida Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo).....	166
Figura 3-109.- Deformación plástica en patín superior de la viga en la zona de la sección reducida vista en planta Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)	167
Figura 3-110.- Deformación plástica en patín inferior de la viga en la zona de la sección reducida Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo).....	167
Figura 3-111.- Deformación plástica en patín inferior de la viga en la zona de la sección reducida vista en planta Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)	168
Figura 3-112.- Enumeración de Straing Gauges Patín Inferior Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)	172
Figura 3-113.- Enumeración de Straing Gauges Patín Superior Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)	172
Figura 3-114.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista frontal Probeta 5..	175
Figura 3-115.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista en planta Probeta 5	175
Figura 3-116.- Análisis No Lineal. Desplazamientos Probeta 5.....	176
Figura 3-117.- Análisis No Lineal. Deformaciones Unitarias Probeta 5	176
Figura 3-118.- Modelo Básico (Etabs, Sap2000) para obtener un desplazamiento Δ (mm) debido a una carga P(Tn)	178
Figura 3-119.- Vista en planta y en elevación de Probeta 1	181
Figura 3-120.- Vista en planta y en elevación de Probeta 2	182
Figura 3-121 .- Vista en planta y en elevación de Probeta 3	182
Figura 3-122.- Vista en planta y en elevación de Probeta 4	183
Figura 3-123.- Vista en planta y en elevación de Probeta 5	183
Figura 3-124.- Comparación de los esfuerzos obtenidos en las probetas ensayadas mediante el uso de elementos finitos en el Programa SolidWorks	186
Figura 5-1.- Vista en Planta Recomendaciones de la conexión en Probeta 4	190

Figura 5-2.- Vista en Alzado Recomendaciones de la conexión en Probeta 4..... 190
Figura 5-3.- Vista en perspectiva de las recomendaciones de la conexión en Probeta 4
..... 191

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1.- Desplazamiento según protocolo de carga aplicado a Probeta 1	74
Gráfico 3-2.- Carga Aplicada según protocolo de carga a Probeta 1.....	74
Gráfico 3-3.- Histéresis P vs Δ de la Probeta 1	81
Gráfico 3-4.- Histéresis M vs ϕ de la Probeta 1	82
Gráfico 3-5.- Resumen del comportamiento de la Probeta 1 M vs ϕ	83
Gráfico 3-6.- Deformación unitaria en SG1 de Probeta 1	85
Gráfico 3-7.- Deformación unitaria en SG2 de Probeta 1	86
Gráfico 3-8.- Deformación unitaria en SG3 de Probeta 1	86
Gráfico 3-9.- Deformación unitaria en SG4 de Probeta 1	86
Gráfico 3-10.- Desplazamiento según protocolo de carga aplicado a Probeta 2	94
Gráfico 3-11.- Carga Aplicada según protocolo de carga a Probeta 2.....	94
Gráfico 3-12.- Histéresis P vs Δ de la Probeta 2	102
Gráfico 3-13.- Histéresis M vs ϕ de la Probeta 2	103
Gráfico 3-14.- Resumen del comportamiento de la Probeta 2 M vs ϕ	104
Gráfico 3-15.- Deformación unitaria en SG1 de Probeta 2	106
Gráfico 3-16.- Deformación unitaria en SG2 de Probeta 2	107
Gráfico 3-17.- Deformación unitaria en SG3 de Probeta 2	107
Gráfico 3-18.- Deformación unitaria en SG4 de Probeta 2	107
Gráfico 3-19.- Desplazamiento según protocolo de carga aplicado a Probeta 3	115
Gráfico 3-20.- Carga Aplicada según protocolo de carga a Probeta 3.....	115
Gráfico 3-21.- Histéresis P vs Δ de la Probeta 3	124
Gráfico 3-22.- Histéresis M vs ϕ de la Probeta 3.....	125
Gráfico 3-23.- Resumen del comportamiento de la Probeta 3 M vs ϕ	126
Gráfico 3-24.- Deformación unitaria en SG1 de Probeta 3	128
Gráfico 3-25.- Deformación unitaria en SG2 de Probeta 3	128
Gráfico 3-26.- Deformación unitaria en SG3 de Probeta 3	128
Gráfico 3-27.- Deformación unitaria en SG4 de Probeta 3	129
Gráfico 3-28.- Desplazamiento según protocolo de carga aplicado a Probeta 4	136
Gráfico 3-29.- Carga Aplicada según protocolo de carga a Probeta 4.....	136
Gráfico 3-30.- Histéresis P vs Δ de la Probeta 4	151
Gráfico 3-31.- Histéresis M vs ϕ de la Probeta 4	152
Gráfico 3-32.- Resumen del comportamiento de la Probeta 4 M vs ϕ	153
Gráfico 3-33.- Deformación unitaria en SG1 de Probeta 4	155
Gráfico 3-34.- Deformación unitaria en SG2 de Probeta 4	155

Gráfico 3-35.- Deformación unitaria en SG3 de Probeta 4	155
Gráfico 3-36.- Deformación unitaria en SG4 de Probeta 4	156
Gráfico 3-37.- Desplazamiento según protocolo de carga aplicado a Probeta 5	163
Gráfico 3-38.- Carga Aplicada según protocolo de carga a Probeta 5.....	163
Gráfico 3-39.- Histéresis P vs Δ de la Probeta 5	168
Gráfico 3-40.- Histéresis M vs ϕ de la Probeta 5.....	169
Gráfico 3-41.- Resumen del comportamiento de la Probeta 5 M vs ϕ	170
Gráfico 3-42.- Deformación unitaria en SG1 de Probeta 5	172
Gráfico 3-43.- Deformación unitaria en SG2 de Probeta 5	173
Gráfico 3-44.- Deformación unitaria en SG3 de Probeta 5	173
Gráfico 3-45.- Deformación unitaria en SG4 de Probeta 5	173
Gráfico 3-46 .- Resumen comparativo del comportamiento de las Probetas ensayadas una vez aplicado el protocolo de carga descrito en la norma (ANSI/AISC 341-10) ...	184

LISTA DE TABLAS

TABLA 1-1.- Limites de las proporciones de ancho espesor para elementos de compresión de moderada y alta ductilidad según (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 12)	14
TABLA 1-2.- Lista de conexiones precalificadas a momento según (ANSI/AISC 358-16, 2016).	20
TABLA 1-3.- Valores de R_y y R_t según (ANSI/AISC 341-10, 2012)	25
TABLA 1-4.- Protocolo de Carga para pruebas cíclicas para la precalificación y calificación de conexiones a momento según (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 126)	28
TABLA 2-1.- Requisitos de precalificación para conexiones RBS Tabla 3.6 (FEMA-350, 2000)	40
TABLA 2-2.- Limites de las proporciones de ancho espesor para elementos compuestos sujetos a compresión axial según (ANSI/AISC 360-16, 2016, pág. 89).	42
TABLA 2-3.- Limites de las proporciones de ancho espesor para elementos compuestos sujetos a compresión axial según (ANSI/AISC 360-16, 2016, pág. 89).	43
TABLA 2-4.- Protocolo de Carga para pruebas cíclicas para la precalificación y calificación de conexiones a momento según (ANSI/AISC 341-10)	68
TABLA 2-5.- Informe del ensayo de Tensión en placas A36 Cortesía: (Ing. Hugo Pillajo)	71
TABLA 3-1.- Resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 175	175
TABLA 3-2.- Descripción de daños obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 3	76
TABLA 3-3.- Resumen de resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 1	82
TABLA 3-4.- Comparación de los esfuerzos obtenidos a partir de MEF de la probeta 1 en relación a los esfuerzos últimos del material base A36 y el material de aporte E7018	90
TABLA 3-5.- Resultados de desplazamientos obtenidos en la Probeta 1	91
TABLA 3-6.- Resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 295	295
TABLA 3-7.- Descripción de daños obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 2	96
TABLA 3-8.- Resumen de resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 2	103
TABLA 3-9.- Comparación de los esfuerzos obtenidos a partir de MEF de la probeta 2 en relación a los esfuerzos últimos del material base A36 y el material de aporte E7018	111

TABLA 3-10.- Resultados de desplazamientos obtenidos en la Probeta 2.....	112
TABLA 3-11.- Resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 3	116
TABLA 3-12.- Descripción de daños obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 3.....	117
TABLA 3-13.- Resumen de resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 3.....	125
TABLA 3-14.- Comparación de los esfuerzos obtenidos a partir de MEF de la probeta 3 en relación a los esfuerzos últimos del material base A36 y el material de aporte E7018	132
TABLA 3-15.- Resultados de desplazamientos obtenidos en la Probeta 3.....	133
TABLA 3-16.- Resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 4	137
TABLA 3-17.- Descripción de daños obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 4.....	138
TABLA 3-18.- Resumen de resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 4.....	152
TABLA 3-19.- Comparación de los esfuerzos obtenidos a partir de MEF de la probeta 4 en relación a los esfuerzos últimos del material base A36 y el material de aporte E7018	159
TABLA 3-20.- Resultados de desplazamientos obtenidos en la Probeta 4.....	160
TABLA 3-21.- Resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 5	164
TABLA 3-22.- Resumen de resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 5.....	169
TABLA 3-23.- Comparación de los esfuerzos obtenidos a partir de MEF de la probeta 1 en relación a los esfuerzos últimos del material base A36 y el material de aporte E7018	177
TABLA 3-24.- Resultados de desplazamientos obtenidos en la Probeta 5.....	178
TABLA 3-25.- Resumen comparativo del comportamiento de las Probetas ensayadas una vez aplicado el protocolo de carga descrito en la norma (ANSI/AISC 341-10) ...	181
TABLA 3-26.- Valores del esfuerzo último promedio del material base de acero A36 y del material de aporte dado por el cordón de soldadura con electrodo E7018	185
TABLA 3-27.- Comparación de los esfuerzos obtenidos en las probetas ensayadas mediante el uso de elementos finitos en el Programa SolidWorks en relación al Fu (A36) y Fu (E7018).....	187

ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL DIRECTOR.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT.....	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE GRÁFICOS	XIV
LISTA DE TABLAS	XVI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	XVIII
CAPITULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Pregunta de investigación.....	1
1.2. Objetivo General	2
1.3. Objetivos Específicos	2
1.4. Alcance	2
1.5. Marco Teórico.....	3
1.5.1. Generalidades	3
1.5.2. Tipos de Conexiones.....	4
1.5.2.1 Clasificación de conexiones (ANSI/AISC 360-16).	4
1.5.3. Recomendaciones para Conexiones Viga Columna.....	6
1.5.3.1 Determinación del momento plástico probable en la rótula plástica según la Sección 3.2.4 (FEMA-350)	7
1.5.4. Requerimientos de diseño para pórticos resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía SMF según Sección E3 (ANSI/AISC 341-10, 2012)	11

1.5.5.	Tipo de conexiones en Pórticos Especiales a Momentos (SMF).....	19
1.5.6.	Disposiciones de ensayo cíclico para precalificación y calificación de conexiones viga columna.-	27
1.5.7.	Conexiones viga columna con viga de sección reducida (RBS).....	30
1.5.7.1	Procedimiento de Diseño de conexiones RBS según (ANSI/AISC 358-16, 2016) 30	
1.5.8.	Análisis teórico del comportamiento de las conexiones Columna RCFT viga metálica tipo I por Método de Elementos Finitos (MEF).....	38
CAPITULO 2		39
2. METODOLOGÍA.....		39
2.1. Diseño de la Conexión		39
2.1.1.	Dimensiones de los elementos	40
2.1.1.1	Dimensiones Columna.-	40
2.1.1.2	Dimensiones Viga.-	45
2.1.1.3	Diseño de la conexión RBS según sección 5.8 de (ANSI/AISC 358-16).....	46
2.2. Elaboración de las Probetas		51
2.2.1.	Probeta 1:	51
2.2.2.	Probeta 2:	52
2.2.3.	Probeta 3:	53
2.2.4.	Probeta 4:	54
2.2.5.	Probeta 5:	55
2.2.6.	Proceso constructivo de columnas.....	56
2.2.7.	Proceso constructivo de vigas.....	60
2.2.8.	Proceso constructivo de la conexión viga columna	61
2.3. Ensayo de las Probetas		66
2.3.1.	Protocolo de Carga aplicado a las probetas	67
2.3.2.	Definición del momento probable plástico en la rótula plástica para una conexión RBS según (ANSI/AISC 358-16, 2016).....	70
2.3.3.	Definición del momento probable plástico en la rótula plástica para una conexión RBS utilizando valores reales de resistencia	70
2.3.4.	Deformaciones Unitarias	71
CAPITULO 3		73
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		73

3.1. Probeta 1:	73
3.1.1. Histéresis de Probeta 1.-	81
3.1.1.1 Discusión de los Resultados obtenidos de las Histéresis de la Probeta 1	83
3.1.2. Deformaciones Unitarias Ocurridas en Probeta 1	84
3.1.2.1 Discusión de los valores de deformaciones unitarias obtenidas en Probeta 1	87
3.1.3. Resultados de Esfuerzos obtenidos en la Probeta 1 a partir del uso de métodos finitos (MEF) mediante la aplicación del Programa SolidWorks.	87
3.1.3.1 Análisis de los esfuerzos obtenidos en la Probeta 1 a partir del Uso de métodos finitos (MEF) mediante la aplicación del Programa SolidWorks	90
3.1.4. Comparación de desplazamientos de la probeta 1.	91
3.1.4.1 Análisis de los resultados de desplazamiento obtenidos de la probeta 1	92
3.2. Probeta 2:	93
3.2.1. Histéresis de Probeta 2.-	102
3.2.1.1 Discusión de los Resultados obtenidos de las Histéresis de la Probeta 2	104
3.2.2. Deformaciones Unitarias Ocurridas en Probeta 2	105
3.2.2.1 Discusión de los valores de deformaciones unitarias obtenidas en Probeta 2	108
3.2.3. Resultados de Esfuerzos obtenidos en la Probeta 2 a partir del Uso de métodos finitos (MEF) mediante la aplicación del Programa SolidWorks	108
3.2.3.1 Análisis de los esfuerzos obtenidos en la Probeta 2 a partir del Uso de métodos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks	110
3.2.4. Comparación de desplazamientos de la probeta 2.	111
3.2.4.1 Análisis de los resultados de desplazamiento obtenidos de la probeta 2	112
3.3. Probeta 3:	114
3.3.1. Histéresis de Probeta 3.-	124
3.3.1.1 Discusión de los Resultados obtenidos de las Histéresis de la Probeta 3	126
3.3.2. Deformaciones Unitarias Ocurridas en Probeta 3	127
3.3.2.1 Discusión de los valores de deformaciones unitarias obtenidas en Probeta 3	129
3.3.3. Resultados de Esfuerzos obtenidos en la Probeta 3 a partir del Uso de métodos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks	130
3.3.3.1 Análisis de los esfuerzos obtenidos en la Probeta 3 a partir del Uso de métodos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks	132
3.3.4. Comparación de desplazamientos de la probeta 3.	133
3.3.4.1 Análisis de los resultados de desplazamiento obtenidos de la probeta 3	134
3.4. Probeta 4:	135
3.4.1. Histéresis de Probeta 4.-	151
3.4.1.1 Discusión de los Resultados obtenidos de las Histéresis de la Probeta 4	153
3.4.2. Deformaciones Unitarias Ocurridas en Probeta 4	154
3.4.2.1 Discusión de los valores de deformaciones unitarias obtenidas en Probeta 4	156

3.4.3.	Resultados de Esfuerzos obtenidos en la Probeta 4 a partir del Uso de métodos finitos mediante el uso del Programa SolidWorks.....	157
3.4.3.1	Análisis de los esfuerzos obtenidos en la Probeta 4 a partir del Uso de métodos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks	159
3.4.4.	Comparación de desplazamientos de la probeta 4.....	160
3.4.4.1	Análisis de los resultados de desplazamiento obtenidos de la probeta 4.....	161
3.5.	Probeta 5:	162
3.5.1.	Histéresis de Probeta 5.-	168
3.5.1.1	Discusión de los Resultados obtenidos de las Histéresis de la Probeta 5	170
3.5.2.	Deformaciones Unitarias Ocurridas en Probeta 1.....	171
3.5.2.1	Discusión de los valores de deformaciones unitarias obtenidas en Probeta 5.	174
3.5.3.	Resultados de Esfuerzos obtenidos en la Probeta 5 a partir del Uso de métodos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks	174
3.5.3.1	Análisis de los esfuerzos obtenidos en la Probeta 1 a partir del Uso de métodos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks	177
3.5.4.	Comparación de desplazamientos de la probeta 5.....	178
3.5.4.1	Análisis de los resultados de desplazamiento obtenidos de la probeta 5.....	179
3.6.	Comparación del comportamiento de las Probetas ensayadas	180
3.6.1.	Comparación de las Curvas Momento vs Giro de las probetas ensayadas	180
3.6.2.	Comparación de los esfuerzos obtenidos en las probetas ensayadas a partir del uso de elementos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks.....	185
CAPITULO 4	.....	188
4. CONCLUSIONES	.....	188
CAPITULO 5	.....	189
5. RECOMENDACIONES	.....	189
5.1. Recomendaciones de diseño para la conexión columna RCFT – viga metálica tipo I (FR) utilizada en la Probeta 4.....	.....	189
5.1.1.	Recomendaciones para el diseño de las placas del anillo de refuerzo:	189
5.1.2.	Recomendaciones para el diseño de las diagonales:	189
5.2. Recomendaciones Generales .....	.....	191
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	.....	192

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro medio en los últimos años se ha visto un auge en la construcción de edificios de acero, muchos de los cuales no cuentan con conexiones debidamente calificadas ni probadas para nuestro medio de ahí la necesidad imperiosa de investigar sobre este tema a fin de tener mayor certeza sobre el comportamiento de estas conexiones, ya que se ha comprobado repetidamente que esta conexión sufre la mayor parte de daño ante movimientos sísmicos severos, como el sismo ocurrido en Northridge (EEUU) en el año 1994, o el sismo de Hyogo-Ken Nanbu (Kobe Japón) sismo ocurrido en 1995, donde hubo el colapso de varias estructuras debido a la falla de este tipo de conexiones, Este trabajo de investigación propone evaluar el verdadero comportamiento de las conexiones soldadas que son utilizadas con columnas compuestas RCFT (*Rectangular Concrete Filled Tube*) y vigas metálicas tipo I, a fin de poder garantizar cual tipo de las conexiones usadas es la que presenta el mejor comportamiento a falta de una normativa local que detalle el mejor tipo de conexión a usarse.

1.1. Pregunta de investigación

En el presente trabajo se ha determinado como pregunta de investigación la siguiente: ¿Determinar cuál conexión soldada de columnas compuestas RCFT con vigas metálicas tipo I comúnmente usadas en Ecuador, de las cuatro propuestas en este trabajo de investigación es la que presenta un mejor comportamiento?, por lo que para cumplir con esta interrogante se pretende obtener resultados experimentales sobre giros y desplazamientos de cuatro tipos de conexiones soldadas de columnas compuestas RCFT y vigas metálicas tipo I que son comúnmente usadas en nuestro medio, para lo cual se ensayarán cuatro probetas en laboratorio a fin de obtener datos reales, con los que se podrá realizar las comparaciones necesarias, a fin de determinar cuál conexión es la que presenta un mejor comportamiento, con la finalidad de que dicha conexión sea usada en nuestro medio tomando todas las previsiones del caso.

1.2. Objetivo General

Probar cuatro alternativas de construcción de la conexión soldada de columnas compuestas RCFT y vigas metálicas tipo I, de las usadas comúnmente en nuestro medio, con la finalidad de definir su verdadero comportamiento y compararlas entre si.

1.3. Objetivos Específicos

En esta investigación se han planteado los siguientes objetivos específicos:

1.- Ensayar cuatro modelos de conexión soldada de columnas compuestas RCFT y vigas metálicas tipo I fabricadas a base de planchas de acero A-36 soldadas, el primer modelo utilizando platinas diagonales dentro de la columna compuesta RCFT, el segundo modelo con un anillo de placas colocadas alrededor de la columna compuesta RCFT de manera paralela a la cara de la columna en la zona de conexión con la viga metálica tipo I, el tercer modelo con un anillo de placas colocadas alrededor de la columna compuesta RCFT de manera perpendicular a la cara de la columna en la zona de conexión con la viga metálica tipo I, estas placas se colocarán a continuación de los patines superior e inferior y un cuarto modelo que será la combinación del primer modelo y el tercer modelo, pero colocando la placas de refuerzo sobre el patín superior y debajo del patín inferior de la viga, con la finalidad de contar con resultados experimentales.

2.- Obtener las curvas de histéresis fuerza-desplazamiento y momento rotación de los modelos experimentados ensayados.

3.- Definir si el comportamiento de las conexiones soldadas de columnas compuestas RCFT y vigas metálicas tipo I a ensayarse son conexiones a Momento Completamente Restringida (FR) o Parcialmente Restringida (PR) a fin de tomar en cuenta esta particularidad en la modelación de edificios que utilizan este tipo de conexiones para que los resultados se asemejen a su real comportamiento.

1.4. Alcance

El alcance de esta investigación es correlacional cuantitativa, mediante la cual se podrá comparar y definir cuál de las cuatro conexiones soldadas de columnas compuestas RCFT y vigas metálicas tipo I comúnmente usadas en nuestro medio propuestas en esta investigación, es la que presenta un mejor comportamiento.

1.5. Marco Teórico

1.5.1. Generalidades

En Ecuador cada vez y en mayor cantidad se ha venido utilizando columnas compuestas RCFT, por lo que se ha hecho necesario estudiar el comportamiento de las diferentes conexiones soldadas de estos elementos con vigas metálicas tipo I que son utilizados en nuestro medio, y de las cuales no se tiene una certeza real de su comportamiento ni se dispone de la normativa para su uso, haciéndose necesario revisar este comportamiento a fin de saber cuál de estas conexiones es la que mejor funciona, para tomar todas las previsiones necesarias y garantizar un buen funcionamiento de las mismas, ya que esta conexión sufre la mayor parte de daño ante movimientos sísmicos severos, prueba de ello fue lo ocurrido en Northridge (EEUU), en el año 1994 o el sismo de Hyogo-Ken Nanbu (Kobe Japón) sismo ocurrido en 1995, estos eventos sísmicos ocasionaron daños que afectaron a diferentes tipos de edificios elaborados en acero, encontrándose que los inconvenientes más graves ocurrieron en edificios cuya configuración estructural consistía en pórticos sin arriostramientos resistentes a momento, en este tipo de edificios se pudo observar un comportamiento incorrecto de las conexiones, especialmente en las conexiones viga-columna, apreciándose en estas conexiones diferentes tipos de daños por fractura de placas y fallas de soldaduras. En respuesta a los daños que se observaron en el sismo de Northridge (EEUU), sismo ocurrido en el año 1994, se implementó el programa SAC (**SEAOC**: Structural Engineers Association of California, **ATC**: Applied Technology Council y **CUREE**: Consortium of Universities for Reserach in Earthquake Engineering), programa que abarco tres objetivos: (1) El estudio de las prácticas constructivas y de diseño que eran realizadas antes del sismo de Northridge (EEUU), (2) El estudio de las fallas presentadas y sus diferentes causas, (3) El desarrollo de nuevos criterios de diseño y el desarrollo de nuevos detalles para las conexiones. En la actualidad se cuenta con información muy valiosa al respecto misma que ha sido publicada por la (Federal Emergency Managment Agency) (FEMA-350, 2000), información que ha sido incluida en las especificaciones del código AISC, así como en sus respectivas recomendaciones o guías de diseño, sin embargo poco o nada se ha investigado sobre las conexiones soldadas de columnas compuestas RCFT con vigas metálicas, sin embargo este método constructivo está en auge en nuestro medio por lo que esta investigación toma relevancia al poder determinar el comportamiento real de estas conexiones y poder comparar cuál de las conexiones

comúnmente usadas en nuestro medio, mismas que han sido propuestas en esta investigación es la que mejor comportamiento presenta.

1.5.2. Tipos de Conexiones

Las edificaciones de acero están compuestas por pórticos conformados con elementos estructurales columnas, vigas los mismos que se encuentran unidos mediante el uso de conexiones, que pueden darse entre una columna y una viga, entre dos columnas, entre dos vigas (empalme de vigas), o de una cimentación a una columna.

1.5.2.1 Clasificación de conexiones (ANSI/AISC 360-16).

La sección B3 del Capítulo B de la Norma para Construcciones de Acero (ANSI/AISC 360-16, 2016, pág. 13), clasifica las conexiones como:

1) Conexiones Simples

Este tipo de conexión transmite momentos de magnitud despreciable, en el análisis de la estructura se puede suponer que las conexiones simples permiten la rotación relativa de los miembros que conectan, la conexión simple tendrá una capacidad de rotación suficiente para acomodar las rotaciones determinadas por el análisis de la estructura (ANSI/AISC 360-16, 2016, pág. 13).

2) Conexiones de Momento

Se permite dos tipos de conexiones a momento denominadas como conexiones completamente restringidas y conexiones parcialmente restringidas esto según (ANSI/AISC 360-16, 2016, pág. 13).

a) Conexiones Completamente Restringidas FR

Una conexión a momento completamente restringida FR es la que transmite momentos con una rotación despreciable entre los miembros conectados, en el análisis de estructuras con este tipo de conexión se puede suponer que la conexión no permite la rotación relativa, una conexión del tipo FR deberá tener suficiente resistencia y rigidez para mantener el ángulo entre los miembros conectados en los estados límites resistentes (ANSI/AISC 360-16, 2016, pág. 13).

b) Conexiones Parcialmente Restringidas PR

Una conexión a momento parcialmente restringida PR transmite momento, pero la rotación entre los miembros conectados no es despreciable, en el análisis de estructuras con este tipo de conexiones la relación fuerza-deformación de la conexión debe ser incluida, las curvas características de las conexiones PR que se usen deberán encontrarse documentadas debidamente en la literatura técnica o en su defecto ser determinadas mediante métodos experimentales o analíticos, los miembros componentes de una conexión de tipo PR deberán tener suficiente capacidad de deformación, resistencia y rigidez en los estados límites resistentes (ANSI/AISC 360-16, 2016, pág. 13).

Las conexiones de los pórticos especiales a momento influyen significativamente en el comportamiento estructural de los mismos, este tipo de conexiones a momento, como se dijo anteriormente se dividen según su rigidez flexional en tres grupos, el primer grupo está constituido por las conexiones totalmente restringidas FR (*Fully Restrained*), que son aquellas capaces de transferir momento flector con una rotación relativa despreciable, usualmente se considera que esta situación requiere que la rigidez flexional de la conexión sea igual o mayor que 20 veces la rigidez de la viga EI/L ; el segundo grupo lo constituyen las conexiones parcialmente restringidas PR (*Partially Restrained*) que son capaces de transferir momento, pero en este caso la rotación no es despreciable, teniendo que esta condición se presenta con conexiones cuya rigidez flexional está comprendida entre 20 y 2 veces la rigidez EI/L de la viga; en el tercer grupo se tiene a las articulaciones que se presenta en conexiones cuya rigidez flexional es menor que 2 veces la rigidez EI/L de la viga, de modo que su capacidad de transferir momentos es despreciable, estos conceptos se ilustran en la Figura 1-1, mediante diagramas momento-rotación, hay que señalar que los pórticos no arriostrados sismoresistentes (pórticos a momento) deben construirse con conexiones parcialmente restringidas del tipo (PR) o con conexiones totalmente restringidas (FR) (Crisafulli, 2014, pág. 69).

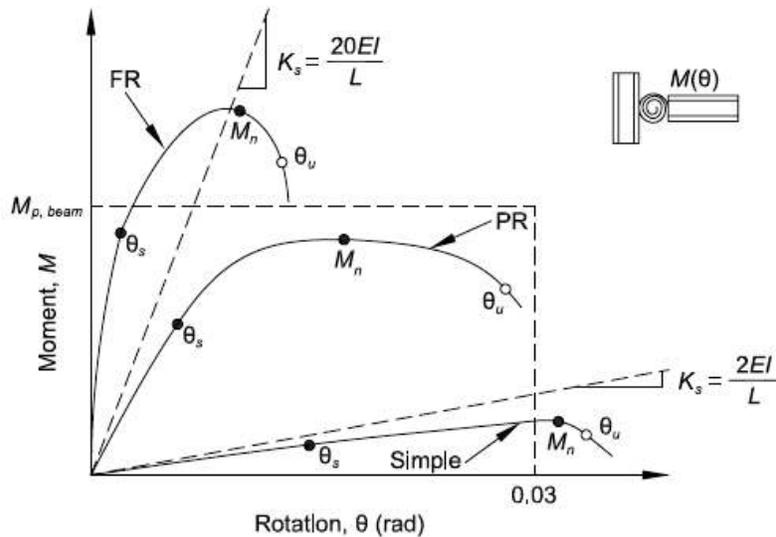


Figura 1-1.- Clasificación de la respuesta momento-rotación de Conexiones FR, Conexiones PR, y Conexiones simples (ANSI/AISC 360-16, 2016, pág. 277).

1.5.3. Recomendaciones para Conexiones Viga Columna

Después del sismo ocurrido en Northridge (EEUU) en el año 1994, se determinó que las conexiones vigas-columnas sufren la mayor parte de daño ante movimientos sísmicos severos, por lo que esto dio como resultado el incrementar significativamente varios de los requisitos que deben cumplir las conexiones vigas-columnas en estructuras dúctiles de acero (pórticos especiales a momento) con el objeto de evitar la ocurrencia de las fallas observadas en este tipo de eventos sísmicos severos (Crisafulli, 2014, pág. 78).

Para el diseño de las nuevas conexiones para estructuras dúctiles se consideran dos criterios principales según (Crisafulli, 2014, pág. 78).

- 1) Re-ubicar la posición de la rótula plástica en las vigas alejándolas de la cara de las columnas como se muestra en la Figura 1-2 (Crisafulli, 2014, pág. 78).
- 2) Incrementar la relación entre la capacidad flexional de la conexión y el momento de plastificación de la viga (Crisafulli, 2014, pág. 78).

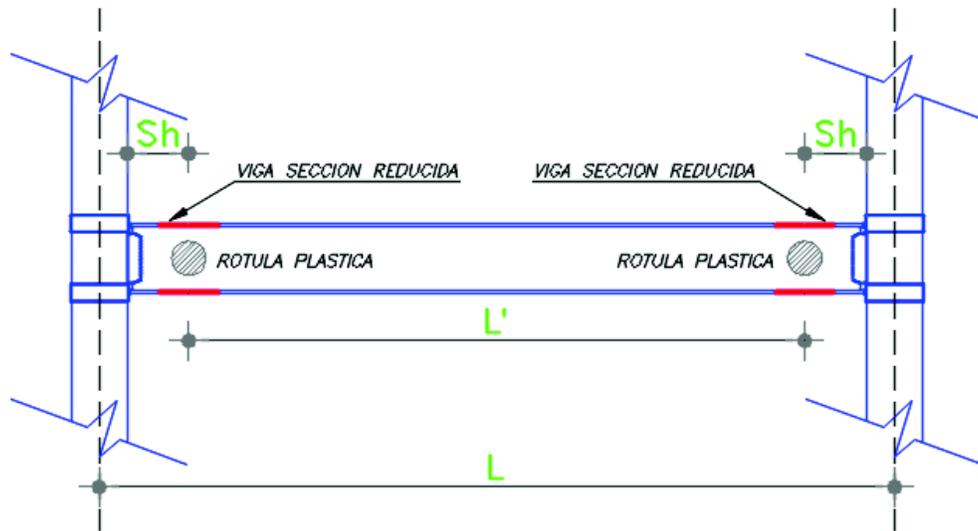


Figura 1-2.- Ubicación de Rótulas Plásticas en vigas (FEMA-350, 2000, págs. 3-6).

Hay que explicar que la disposición de rótulas plásticas que se muestran en la Figura 1-2, Figura 1-3, Figura 1-4, son válidas para pórticos donde el efecto de la carga vertical sobre las vigas es limitada y puede considerarse que esta situación se cumple cuando la demanda flexional en la viga debida a la carga vertical es menor que el 30% del momento plástico aproximadamente, de no cumplirse lo antes señalado la presencia de elevadas cargas verticales pueden modificar la ubicación de las rótulas plásticas y en casos extremos el mecanismo de deformación plástica o mecanismo de colapso podría cambiar, es por ello que resulta necesario realizar un análisis detallado para determinar la posición de las rótulas y el tipo de mecanismo esperado (FEMA-350, 2000, págs. 3-6).

1.5.3.1 Determinación del momento plástico probable en la rótula plástica según la Sección 3.2.4 (FEMA-350)

Para las conexiones a momento completamente restringidas diseñadas para desarrollar rotulas plásticas en la viga, el momento de plástico probable en la ubicación de la rótula plástica debe determinarse mediante las ecuaciones (3-1) (3-2) (FEMA-350, 2000, págs. 3-6).

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_e \quad (3-1) \text{ (FEMA-350, 2000)}$$

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2 F_y} \leq 1.2 \quad (3-2) \text{ (FEMA-350, 2000)}$$

Dónde:

M_{pr} = Momento plástico probable en la rótula plástica.

R_y = Relación entre el límite de elasticidad esperado y el límite de elasticidad mínimo especificado F_y , según se especifica en ANSI/AISC

Z_e = Módulo de la sección plástico efectiva (o conexión) en el lugar de la rótula plástica, (in³, mm³)

C_{pr} = Factor que tiene en cuenta el esfuerzo máximo en la conexión, incluyendo endurecimiento por deformación, restricción local, refuerzo adicional y otras condiciones de la conexión.

F_y = El esfuerzo de fluencia del elemento que debe fluir. ksi (MPa)

F_u = El esfuerzo ultimo de tensión del elemento que debe fluir. ksi (MPa)

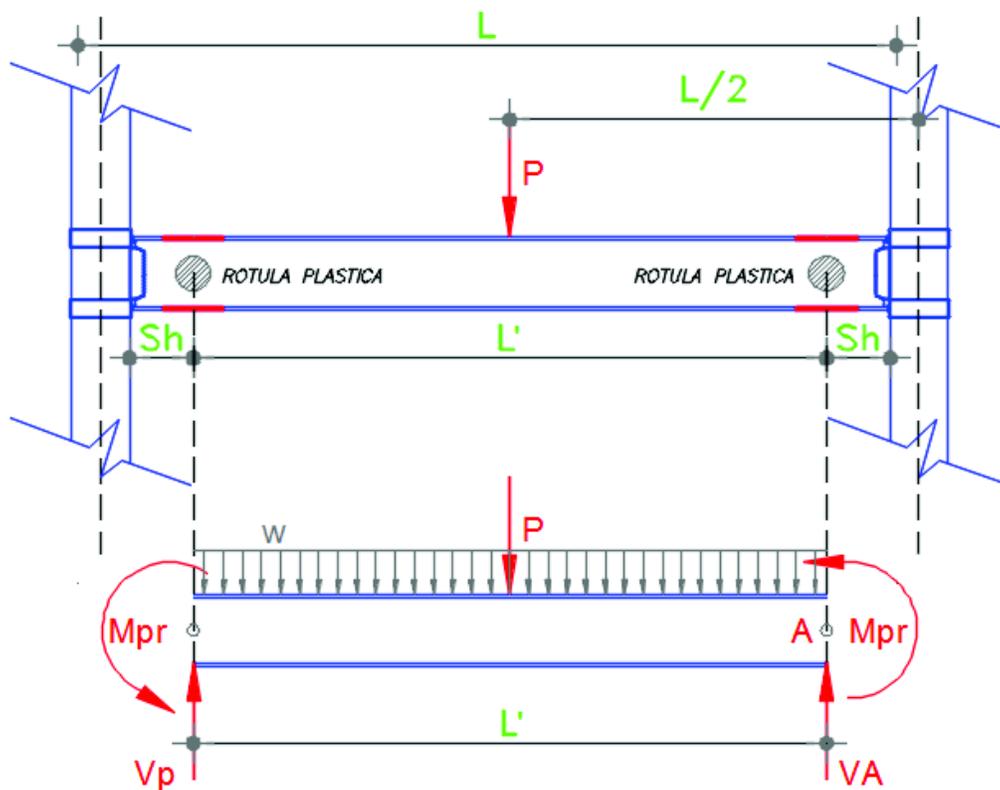


Figura 1-3.- Ejemplo de cálculo de la cortante en la Articulación Plástica (FEMA-350, 2000, págs. 3-8).

Determinación del cortante en la articulación plástica según la sección 3.2.5 del (FEMA-350, 2000).

Para calcular el cortante de la viga en la articulación plástica V_p se utiliza el diagrama de cuerpo libre que se muestra en la Figura 1-4 (FEMA-350, 2000, págs. 3-8).

$$V_p = \frac{2 M_{pr} + \frac{P L'}{2} + \frac{w L'^2}{2}}{L'}$$

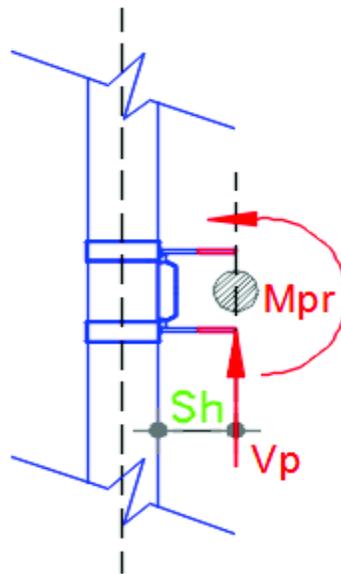


Figura 1-4.- Momento flector en la cara de la columna (FEMA-350, 2000, págs. 3-8).

En el caso de conexiones con sección de viga reducida, la rótula plástica se ubica en correspondencia con el centro de la zona reducida, en distintas verificaciones como por ejemplo al determinar la relación entre la resistencia flexional de columnas y vigas se requiere calcular el momento flector en la cara de la columna, de acuerdo con el diagrama de cuerpo libre indicado en la Figura 1-4 esto según se señala en la sección 3-2-6 (FEMA-350, 2000, págs. 3-7) se tiene:

$$M_f = M_{pr} + Sh V_p$$

Donde:

M_f = Momento en la cara de la columna

M_{pr} = Momento plástico probable en la rótula plástica.

Sh = Distancia de la cara de la columna hasta la rótula plástica

V_p = Cortante de la viga en la articulación plástica

Momento de fluencia.-

Según se indica en la sección 3.2.7 del (FEMA-350, 2000), el procedimiento de diseño para algunas conexiones precalificadas requiere que el momento en la cara de la columna al comienzo de la formación de la articulación plástica M_{yf} sea determinado mediante la ecuaciones (3-3) (3-4) (FEMA-350, 2000, págs. 3-9).

$$M_{yf} = C_y M_f \quad (3-3) \text{ (FEMA-350, 2000)}$$

Dónde:

$$C_y = \frac{1}{C_{pr} \frac{Z_{be}}{S_b}} \quad (3-4) \text{ (FEMA-350, 2000)}$$

M_{yf} = Momento de fluencia en la cara de la columna al comienzo de la formación de la articulación plástica.

C_{pr} = El coeficiente de máximo esfuerzo en la conexión.

S_b = El modulo elástico de la sección de la viga en la zona de la articulación plástica.

Z_{be} = El modulo plástico efectivo de la viga en la zona de la articulación plástica.

M_f = Momento en la cara de la columna.

1.5.4. Requerimientos de diseño para pórticos resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía SMF según Sección E3 (ANSI/AISC 341-10, 2012)

Los pórticos con capacidad especial de disipación de energía resistentes a momento SMF, son lo que presentan mayor capacidad de disipación de energía, por lo que se diseñan con un factor de modificación de respuesta elevado ($R = 8$ en los reglamentos norteamericanos), ($R=6$ para edificios Tipo 1 según (NEC-SE-AC)), en estos pórticos se espera que las deformaciones inelásticas se desarrollen principalmente por flexión en las vigas y en menor medida en los paneles nodales de las columnas (NEC-SE-AC, 2014).

Bases de diseño.-

Los pórticos con capacidad especial de disipación de energía resistentes a momento SMF, diseñados acorde a estas provisiones, proveen una significativa capacidad de deformación inelástica a través de la fluencia a flexión de las vigas y limitada fluencia en la zona panel de las columnas, las columnas deben ser diseñadas para ser más fuertes que las vigas en fluencia total incluyendo el endurecimiento por deformación, la fluencia a flexión de las columnas es permitida en las bases, el diseño de las conexiones viga-columna, incluyendo las zonas del panel y las placas de continuidad deben ser basados sobre ensayos de precalificación de conexiones para demostrar su desempeño y en conformidad según los requerimientos mínimos dados en las provisiones sísmicas (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 34).

Análisis.-

No hay requisitos de análisis adicionales.

Requerimientos del sistema estructural según (ANSI/AISC 341-10, 2012).

Los requerimientos son los siguientes:

a) Relación de momentos.-

En las conexiones viga-columna la siguiente relación debe ser cumplida (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 34):

$$\frac{\sum M^*_{pc}}{\sum M^*_{pb}} > 1.0 \quad (\text{E3-1}) \text{ (ANSI/AISC 341-10)}$$

Dónde:

$\sum M^*_{pc}$ = Es la suma de las proyecciones al eje de la viga, de las resistencias nominales a flexión de las columnas (incluyendo acartelamientos si son usados) por encima y por debajo del nudo con una reducción por fuerza axial en la columna. Se puede calcular así:

$$\sum M^*_{pc} = \sum Z_c (F_{yc} - P_{uc}/A_g) \quad (\text{E3-2a}) \text{ (ANSI/AISC 341-10)}$$

$\sum M^*_{pb}$ = Es la suma de las proyecciones al eje de la columna de las resistencias a flexión esperadas de las vigas en las articulaciones plásticas. Se puede calcular así:

$$\sum M^*_{pb} = \sum (1.1R_y F_{yb} Z_b + M_{uv}) \quad (\text{E3-3a}) \text{ (ANSI/AISC 341-10)}$$

Alternativamente $\sum M^*_{pb}$ se puede calcular de acuerdo con un diseño de una conexión precalificada acorde a ANSI/AISC 358-16, o de otra manera determinado en una precalificación de conexión acorde a la Sección K1 o en un programa de ensayos de precalificación acorde a la Sección K2.

En las relaciones anteriores se tiene:

A_g = Área bruta de la columna.

F_{yb} = Esfuerzo mínimo de fluencia especificado para la viga

F_{yc} = Esfuerzo mínimo de fluencia especificado para la columna.

M_{uv} = Momento adicional debido a la amplificación por cortante desde la localización de la articulación plástica al centro de gravedad de la columna, basado sobre las combinaciones del LRFD.

P_{uc} = Resistencia a compresión requerida usando las combinaciones de carga del LRFD, incluyendo la carga sísmica amplificada.

Z_b = Modulo plástico de sección de la viga.

Z_c = Modulo plástico de sección de la columna.

En los casos en que se usan conexiones con secciones de viga reducida, se debe considerar en el cálculo del momento el módulo plástico correspondiente a la sección reducida. (ANSI/AISC 341-10, 2012)

Z_{RBS} = Modulo plástico de sección de la viga en la sección reducida.

b) Elementos Estructurales.-

Requisitos mínimos:

Tanto vigas como columnas deben cumplir con los requerimientos mínimos para ser considerados como miembros de alta ductilidad, es decir que las relaciones ancho-espesor de estos elementos deben ser menores que λ_{hd} para (Secciones Sísmicamente Compactas), según se muestra en la TABLA 1-1.- Límites de las proporciones de ancho espesor para elementos de compresión de moderada y alta ductilidad según (ANSI/AISC 341-10, 2012), es permitido que las vigas de acero estructural que pertenezcan a un sistema de pórticos a momento sean compuestas con una losa de concreto para soportar las cargas de gravedad (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 38) a menos que esta consideración sea demostrada de otra forma mediante la realización de ensayos.

Patines o Alas de las vigas.-

Se prohíbe cambios abruptos en el área del patín o ala de la viga en regiones donde se espera la formación de la rótula plástica, recortes del ancho del ala o patín de la viga, así como perforaciones en el ala o patín de la viga no son permitidos a menos que ensayos hayan demostrado que la configuración resultante puede desarrollar rotulas plásticas estables, garantizando de esta forma el ángulo de deriva de piso requerido (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 38).

TABLA 1-1.- Limites de las proporciones de ancho espesor para elementos de compresión de moderada y alta ductilidad según (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 12)

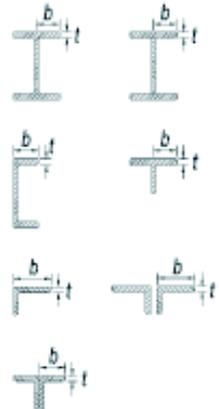
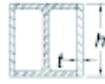
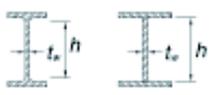
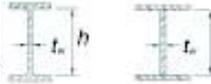
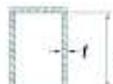
TABLE D1.1 Limiting Width-to-Thickness Ratios for Compression Elements For Moderately Ductile and Highly Ductile Members					
	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Example
			λ_{hd} Highly Ductile Members	λ_{md} Moderately Ductile Members	
Unstiffened Elements	Flanges of rolled or built-up I-shaped sections, channels and tees; legs of single angles or double angle members with separators; outstanding legs of pairs of angles in continuous contact	b/t	$0.30\sqrt{E/F_y}$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	
	Flanges of H-plate sections per Section D4	b/t	$0.45\sqrt{E/F_y}$	not applicable	
	Stems of tees	d/t	$0.30\sqrt{E/F_y}^{[a]}$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	
Stiffened Elements	Walls of rectangular HSS	b/t	$0.55\sqrt{E/F_y}^{[b]}$	$0.64\sqrt{E/F_y}^{[c]}$	
	Flanges of boxed I-shaped sections and built-up box sections	b/t			
	Side plates of boxed I-shaped sections and walls of built-up box shapes used as diagonal braces	h/t			
	Webs of rolled or built-up I-shaped sections used as diagonal braces	h/t_w	$1.49\sqrt{E/F_y}$	$1.49\sqrt{E/F_y}$	

TABLE D1.1 (CONTINUED)
Limiting Width-to-Thickness Ratios for
Compression Elements For Moderately Ductile
and Highly Ductile Members

	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Example
			λ_{hd} Highly Ductile Members	λ_{md} Moderately Ductile Members	
Stiffened Elements	Webs of rolled or built-up I-shaped sections used as beams or columns ⁽¹⁾	h/t_w	For $C_a \leq 0.125$ $2.45\sqrt{E/F_y}(1 - 0.93C_a)$	For $C_a \leq 0.125$ $3.76\sqrt{E/F_y}(1 - 2.75C_a)$	
	Side plates of boxed I-shaped sections used as beams or columns	h/t	For $C_a > 0.125$ $0.77\sqrt{E/F_y}(2.93 - C_a)$ $\geq 1.49\sqrt{E/F_y}$	For $C_a > 0.125$ $1.12\sqrt{E/F_y}(2.93 - C_a)$ $\geq 1.49\sqrt{E/F_y}$	
	Webs of built-up box sections used as beams or columns	h/t	where $C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y}$ (LRFD) $C_a = \frac{\Omega_c P_a}{P_y}$ (ASD)	where $C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y}$ (LRFD) $C_a = \frac{\Omega_c P_a}{P_y}$ (ASD)	
	Webs of H-Pile sections	h/t_w	$0.94\sqrt{E/F_y}$	not applicable	
	Walls of round HSS	D/t	$0.038E/F_y$	$0.044E/F_y$ ⁽²⁾	
Composite Elements	Walls of rectangular filled composite members	b/t	$1.4\sqrt{E/F_y}$	$2.26\sqrt{E/F_y}$	
	Walls of round filled composite members	D/t	$0.076E/F_y$	$0.15E/F_y$	

⁽¹⁾ For tee shaped compression members, the limiting width-to-thickness ratio for highly ductile members for the stem of the tee can be increased to $0.38\sqrt{E/F_y}$ if either of the following conditions are satisfied:
(1) Buckling of the compression member occurs about the plane of the stem.
(2) The axial compression load is transferred at end connections to only the outside face of the flange of the tee resulting in an eccentric connection that reduces the compression stresses at the tip of the stem.

⁽²⁾ The limiting width-to-thickness ratio of flanges of boxed I-shaped sections and built-up box sections of columns in SMF systems shall not exceed $0.6\sqrt{E/F_y}$.

⁽³⁾ The limiting width-to-thickness ratio of walls of rectangular HSS members, flanges of boxed I-shaped sections and flanges of built-up box sections used as beams or columns shall not exceed $1.12\sqrt{E/F_y}$.

⁽⁴⁾ For I-shaped beams in SMF systems, where C_a is less than or equal to 0.125, the limiting ratio h/t_w shall not exceed $2.45\sqrt{E/F_y}$. For I-shaped beams in IMF systems, where C_a is less than or equal to 0.125, the limiting width-to-thickness ratio shall not exceed $3.76\sqrt{E/F_y}$.

⁽⁵⁾ The limiting diameter-to-thickness ratio of round HSS members used as beams or columns shall not exceed $0.07E/F_y$.

Zonas Protegidas.-

La zona en cada extremo de la viga sometida a esfuerzos inelásticos se designará como zona protegida y deberán cumplir los requisitos de la Sección D1.3 de la norma (ANSI/AISC 341-10), la extensión del área protegida será la designada según (ANSI/AISC 358-16), o como se determine de otro modo en una conexión precalificada de acuerdo con la Sección K1, o como sea determinado en un programa de pruebas de calificación de acuerdo con la Sección K2 del (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 38).

Conexiones.-

Demanda de Soldaduras críticas.-

En las conexiones de pórticos resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía se deben considerar como soldaduras de demanda crítica las siguientes:

- Soldaduras acanaladas en empalmes de columna (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 39).
- Soldaduras de la conexión placa de base -columna, excepto cuando se pueda demostrar que puede impedirse la formación de la rótula plástica en la columna o cerca de la placa de base, mediante restricciones y en ausencia de tensiones netas bajo las combinaciones de carga que incluyen la carga sísmica amplificada (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 39).
- Las soldaduras acanaladas de penetración completa de los patines de vigas y almas de vigas a las columnas, a menos que se especifique otra cosa en la norma (ANSI/AISC 358-16), o como sea estipulado en una precalificación de conexión acorde con la sección K1, o como se determine en un programa de test de calificación de acuerdo a la sección K2 (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 39).

Conexión Viga Columna.-

Las conexiones de viga a columna utilizadas en sistemas sismoresistentes SFERS deben cumplir los siguientes requisitos: (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 39).

La conexión debe ser capaz de soportar las rotaciones plásticas correspondientes a un nivel de distorsión de piso total de 0.04 radianes (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 39).

La capacidad a flexión de la conexión medida en la cara de la columna, debe ser como mínimo el 80% del momento de plastificación de la viga conectada M_p para un nivel de distorsión de piso de 0.04 radianes (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 39).

Demostración de Conformidad.-

Las conexiones de viga a columna utilizadas en sistemas sismoresistentes SFRS, deberán cumplir con lo señalado en el párrafo anterior para una de las siguientes opciones:

Uso de conexiones precalificadas para SMF de acuerdo con la norma (ANSI/AISC 358-16) (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 39).

Uso de una conexión calificada para SMF de acuerdo con el Capítulo K 1 (ANSI/AISC 341-10) (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 39).

Provisión de los resultados cíclicos calificados de acuerdo con la Sección K2 (ANSI/AISC 341-10, 2012), Resultados de al menos dos ensayos de conexión cíclica y se basará en una de las siguientes consideraciones:

- Ensayos reportados en artículos de investigación o ensayos documentados realizados para otros proyectos que representen las condiciones del proyecto, con los límites especificados en la Sección K2 (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 39).
- Ensayos enfocados específicamente para el proyecto a estudiar, con tamaño representativos de los miembros, resistencia del material, configuración de conexiones, procesos constructivos de la conexión, con los límites especificados en el Capítulo K2 de la norma (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 39).

Resistencia a corte.-

La resistencia a cortante requerida de la conexión debe calcularse a partir de las combinaciones de cargas mayoradas, para lo que debe considerarse que el efecto de

la acción sísmica mayorada E_{mh} es la señalada en la ecuación (E3-6) (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 40).

$$E_{mh} = 2 (1.1 R_y M_p) / L_h \quad (\text{E3-6}) \text{ (ANSI/AISC 341-10, 2012)}$$

Donde:

R_y = es la relación entre la tensión de fluencia esperada y la tensión mínima de fluencia

$$M_p = F_y Z$$

L_h = es la distancia entre rótulas plásticas en la viga.

La Ecuación (E3-6) (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 40) se deduce a partir de consideraciones de equilibrio, tomando en cuenta la sobrerresistencia flexional ver Figura 1-5 (Crisafulli, 2014, pág. 70).

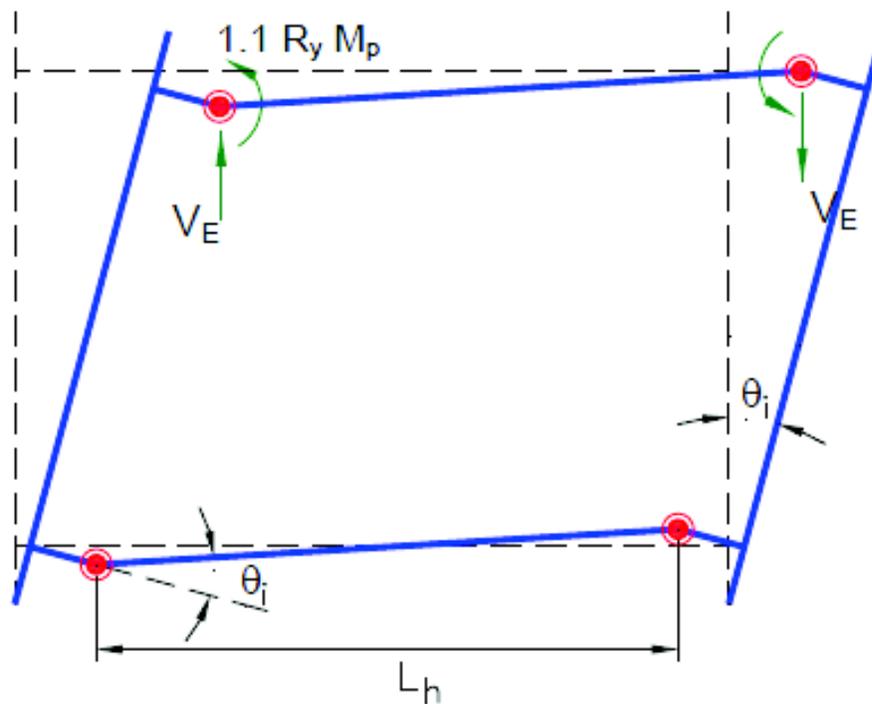


Figura 1-5.- Mecanismo de deformación plástica con rotulación en vigas (Crisafulli, 2014, pág. 70).

1.5.5. Tipo de conexiones en Pórticos Especiales a Momentos (SMF)

Los pórticos especiales a momento (SMF) son lo que presentan mayor capacidad de disipación de energía y, acorde a ello, se diseñan con un factor de modificación de respuesta elevado R , se espera que las deformaciones inelásticas se desarrollen principalmente por flexión en las vigas y en menor medida, en los paneles nodales de las columnas, las norma americana (ANSI/AISC 341-10, 2012) , (ANSI/AISC 358-16, 2016) que se basan en las recomendaciones (FEMA-350, 2000), señalan detalladamente las condiciones que deben cumplir los pórticos especiales a momento. Indicando que la estructura debe diseñarse para limitar la distorsión del panel nodal, evitar la rotulación en columnas y controlar los efectos de pandeo local, según estas normativas los extremos de las vigas se consideran como zonas protegidas. Cumpliendo con estos requisitos se logra que la estructura desarrolle una respuesta dúctil y estable. Las rótulas plásticas deben exhibir una capacidad de rotación inelástica de 0.03 radianes, como mínimo, para lo cual se requiere el uso de conexiones precalificadas como las que se señalan en la norma (ANSI/AISC 358-16, 2016).

Según lo señalado en la Norma Americana (ANSI/AISC 358-16), existen diez conexiones precalificadas para su uso en pórticos a momento especiales (SMF) e intermedios (IMF), como se puede ver en la TABLA 1-2 (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 5).

Todas las conexiones precalificadas contenidas en la norma (ANSI/AISC 358-16, 2016) se considerarán completamente restringidas FR (*Fully Restrained*) para el análisis sísmico, a excepción para la conexión Simpson Strong-Tie Strong Frame que se considera parcialmente restringida PR (*Partially Restrained*), el análisis sísmico debe incluir esta información.

Los elementos que serán parte de la conexión deben cumplir con algunos requerimientos para asegurar que se pueden desarrollar las deformaciones inelásticas necesarias, los criterios de diseño, detallado y fabricación de estas conexiones precalificadas se señalan en la norma (ANSI/AISC 358-16, 2016).

TABLA 1-2.- Lista de conexiones precalificadas a momento según (ANSI/AISC 358-16, 2016).

CONEXIONES PRECALIFICADAS A MOMENTO (ANSI/AISC 358-16)		
Tipo de Conexión (Denominación En Ingles)	Tipo de Conexión (Denominación En Español)	Sistema
<i>Reduced beam section</i> (RBS)	Viga de sección reducida (RBS)	SMF , IMF
<i>Bolted unstiffened extended end plate</i> (BUEEP)	Placa extrema no rígida extendida y atornillada (BUEEP)	SMF , IMF
<i>Bolted stiffened extended end plate</i> (BSEEP)	Placa extrema rígida extendida y atornillada (BSEEP)	SMF , IMF
<i>Bolted flange plate</i> (BFP)	Con placa apernada al patín	SMF , IMF
<i>Welded unreinforced flange-welded web</i> (WUF-W)	Patín soldado no reforzado-alma soldada (WUF-W)	SMF , IMF
<i>Kaiser bolted bracket</i> (KBB)	Kaiser apernada (KBB)	SMF , IMF
<i>ConXtech ConXL moment connection</i> (ConXL)	ConXtech ConXL (ConXL)	SMF , IMF
<i>SidePlate moment connection</i> (SidePlate)	Conexión a momento con Placa Lateral	SMF , IMF
<i>Simpson Strong-Tie Strong Frame moment connection</i>	Simpson lazo fuerte elemento fuerte (Con Fusible)	SMF , IMF
<i>Double-tee moment connection</i>	Doble tee	SMF , IMF

Elementos según Sección 2-3 (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 4).-

Las conexiones contenidas en la norma (ANSI/AISC 358-16, 2016) son precalificadas de acuerdo con los requisitos de la norma (ANSI/AISC 341-10, 2012) “*Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*” y deben ser usadas para conexiones en elementos que cumplen con los siguientes requerimientos:

Elementos laminados de patín ancho: estos elementos deberán ajustarse a las limitaciones de la sección transversal aplicables a la conexión específica (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 4).

Elementos armados: Los elementos armados deben ser de doble simetría, los de sección transversal en “I” deben cumplir los siguientes requerimientos según (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 4).

- Las alas o patines y alma deben tener altura, ancho y espesor similares a las secciones laminadas de patín ancho cumpliendo las limitaciones aplicables para estas según la conexión específica del (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 4).
- El alma debe estar continuamente conectada a los patines según si es viga o columna (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 4).

Vigas armadas.- El alma y patines deberán ser conectados usando soldaduras de penetración completa (CJP) con un par de soldaduras de filete de refuerzo dentro de la zona comprendida entre el extremo de la viga y la localización de la articulación plástica, S_h , más una distancia no menor que la altura de la viga, el tamaño mínimo de estas soldaduras de filete debe ser el menor entre 8 mm y el espesor del alma de la viga (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 5).

Columnas armadas.- Las columnas armadas deberán satisfacer todos los requerimientos de la norma (ANSI/AISC 341-10, 2012), la transferencia de todas las fuerzas y esfuerzos internos entre los elementos de la sección transversal armada debe ser a través de soldaduras (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 5).

Para las columnas armadas en sección I.- Los elementos de las columnas armadas en I deberán cumplir los requerimientos de (ANSI/AISC 341-10, 2012), el alma y patines deben ser conectados usando soldaduras de penetración completa (CJP), con un par de soldaduras de filete de refuerzo dentro de la zona comprendida entre el extremo de la columna y los primeros 300 mm, el tamaño mínimo de estas soldaduras de filete debe ser el menor entre 8 mm y el espesor del alma de la columna (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 5).

Para columnas armadas de perfiles laminados encajonados.- La sección laminada de patín ancho de una columna de perfil laminado encajonada, debe cumplir con los requerimientos de (ANSI/AISC 341-10, 2012), la relación ancho-espesor b/t de las placas usadas como patines no debe exceder $0.6\sqrt{E/F_y}$, donde b no debe ser tomado menor que la distancia libre entre placas, la relación ancho-espesor h/t_w de las placas usadas únicamente como almas debe estar conforme a los requerimientos de (ANSI/AISC 341-10, 2012), dentro de la zona que se extiende 300 mm por encima del patín superior de la viga y 300 mm por debajo del patín inferior de la viga, las placas de patín y alma de la columna de perfil laminado encajonada deben unirse por medio de

soldaduras de penetración completa (CJP). Por fuera de esta zona los elementos placa deben ser continuamente conectados por soldaduras de filete o de penetración (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 6).

Para columnas armadas en cajón.- La relación ancho-espesor b/t , de las placas usadas como patines no debe exceder $06\sqrt{E/F_y}$, donde b no debe ser tomado menor que la distancia libre entre placas, la relación ancho espesor h/t_w de las placas usadas únicamente como almas debe estar conforme a los requerimientos de (ANSI/AISC 341-10), dentro de la zona que se extiende 300 mm por encima del patín superior de la viga y 300 mm por debajo del patín inferior de la viga, las placas de patín y alma de la columna armada en cajón deben unirse por medio de soldaduras de penetración completa (CJP), por fuera de esta zona los elementos placa deben ser continuamente conectados por soldaduras de filete o de penetración (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 6).

Para columnas cruciformes con patines.- los elementos de las columnas cruciformes con patines, cuando son fabricados con perfiles laminados o laminas, deben cumplir los requerimientos de (ANSI/AISC 341-10, 2012), dentro de la zona que se extiende 300 mm por encima del patín superior de la viga y 300 mm por debajo del patín inferior de la viga, el alma de la sección en T debe unirse al alma de la sección laminada continua por medio de soldaduras de penetración completa (CJP) con un par de soldaduras de filete de refuerzo, el tamaño mínimo de estas soldaduras de filete debe ser el menor entre 8mm y el espesor del alma de la columna, las placas de continuidad deben ajustarse a los requerimientos de secciones laminadas de patín ancho (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 7).

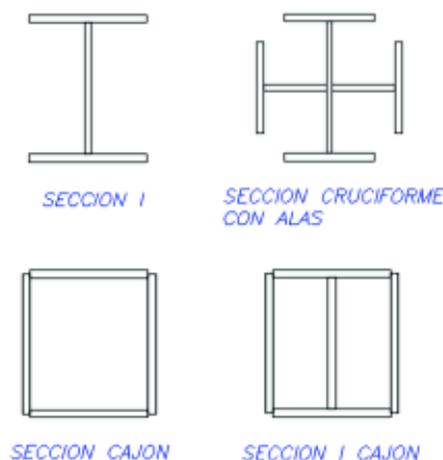


Figura 1-6.- Tipos de secciones para columnas armadas

Parámetros de diseño de la conexión según Sección 2-4 (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 7).

Los parámetros de diseño de la conexión son los siguientes:

Factores de resistencia.-

Cuando las resistencias disponibles son calculadas de acuerdo a lo señalado en la norma (ANSI/AISC 360-16), se aplicaran los factores de resistencia especificados en el mismo, cuando las resistencias disponibles son calculadas de acuerdo a la norma (ANSI/AISC 358-16) se utilizaran los factores de resistencia ϕ_d y ϕ_n (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 7).

Según lo que dice la norma (ANSI/AISC 358-16) sección 2.4, Los valores ϕ_d y ϕ_n deben ser tomados como se señala a continuación:

a) Para estados limites dúctiles: $\phi_d = 1.0$

b) Para estados limites no dúctiles: $\phi_n = 0.9$

Localización de la rótula plástica.-

La distancia de la rótula plástica desde la cara de la columna S_h , se tomara de acuerdo a los requerimientos para la conexión en estudio (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 7).

Momento máximo probable en la rótula plástica.-

El momento máximo probable en la rótula plástica M_{pr} está dado por: (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 7).

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_e \quad (2.4-1) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

Dónde:

M_{pr} = Momento plástico probable en la rótula plástica.

R_y = Relación entre el límite de elasticidad esperado y el límite de elasticidad mínimo especificado F_y , según se especifica en (ANSI/AISC 341-10, 2012)Tabla A3.1 detallada en la Tabla 1-3

Z_e = Módulo de la sección plástico efectiva (o conexión) en el lugar de la rótula plástica, (in³, mm³)

C_{pr} = Factor que tiene en cuenta el esfuerzo máximo en la conexión, incluyendo endurecimiento por deformación, restricción local, refuerzo adicional y otras condiciones de la conexión. A menos que se especifique lo contrario en la norma (ANSI/AISC 358-16, 2016), el valor de C_{pr} será:

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2 F_y} \leq 1.2 \quad (2.4-2) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

Donde:

F_y : El esfuerzo de fluencia del elemento que debe fluir. ksi (MPa)

F_u : El esfuerzo ultimo de tensión del elemento que debe fluir. ksi (MPa)

Placas de continuidad.-

Las placas de continuidad de los patines de la viga deben ser diseñadas de acuerdo a lo señalado en la norma (ANSI/AISC 341-10) (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 8).

Zona de panel.-

Las zonas de panel deben ajustarse a lo señalado en la norma (ANSI/AISC 341-10) (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 8).

TABLA 1-3.- Valores de R_y y R_t según (ANSI/AISC 341-10, 2012)

TABLE A3.1 R_y and R_t Values for Steel and Steel Reinforcement Materials		
Application	R_y	R_t
Hot-rolled structural shapes and bars: <ul style="list-style-type: none"> • ASTM A36/A36M • ASTM A1043/1043M Gr. 36 (250) • ASTM A572/572M Gr. 50 (345) or 55 (380), ASTM A913/A913M Gr. 50 (345), 60 (415), or 65 (450), ASTM A588/A588M, ASTM A992/A992M • ASTM A1043/A1043M Gr. 50 (345) • ASTM A529 Gr. 50 (345) • ASTM A529 Gr. 55 (380) 	1.5 1.3 1.1 1.2 1.2 1.1	1.2 1.1 1.1 1.1 1.2 1.2
Hollow structural sections (HSS): <ul style="list-style-type: none"> • ASTM A500/A500M (Gr. B or C), ASTM A501 	1.4	1.3
Pipe: <ul style="list-style-type: none"> • ASTM A53/A53M 	1.6	1.2
Plates, Strips and Sheets: <ul style="list-style-type: none"> • ASTM A36/A36M • ASTM A1043/1043M Gr. 36 (250) • A1011/A1011M HSLAS Gr. 55 (380) • ASTM A572/A572M Gr. 42 (290) • ASTM A572/A572M Gr. 50 (345), Gr. 55 (380), ASTM A588/A588M • ASTM 1043/1043M Gr. 50 (345) 	1.3 1.3 1.1 1.3 1.1 1.2	1.2 1.1 1.1 1.0 1.2 1.1
Steel Reinforcement: <ul style="list-style-type: none"> • ASTM A615, ASTM A706 	1.25	1.25

Zona protegida.-

La zona protegida debe ser definida según cada conexión precalificada, a menos que sea indicado de otra forma en la norma (ANSI/AISC 358-16), la zona protegida de la viga debe ser definida como el área desde la cara del patín de la columna hasta la articulación plástica más una distancia igual a la mitad de la altura de la viga, la zona protegida debe cumplir los requerimientos de (ANSI/AISC 341-10), son permitidas las perforaciones para los pernos en el alma de la viga, cuando son detallados acorde a las provisiones individuales de cada conexión (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 9).

Requisitos de soldadura Según Sección 3 (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 10).-

Metales de relleno.-

Los metales de relleno deberán cumplir con los requisitos de la norma (ANSI/AISC 341-10) (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 10).

Procedimientos de soldadura.-

Los procedimientos de soldadura deberán estar de acuerdo con las disposiciones de la norma (ANSI/AISC 341-10) (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 10).

Placa de respaldo en conexión columna - placas de continuidad

La placa de respaldo usada en la soldadura de la placa de continuidad al patín de la columna no requiere ser removida, en los patines de la columna la placa de respaldo dejada en su lugar debe ser unida al patín de la columna usando una soldadura de filete continua de 8 mm en el borde por debajo de la soldadura de penetración completa CJP, Cuando se retira el respaldo, el pase de raíz debe ser pulido y reforzado con una soldadura de filete, la soldadura de filete debe ser continua y con un tamaño mínimo de 8 mm (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 10).

Placa de respaldo en el patín Inferior de la viga.-

Cuando la placa de respaldo es utilizada en una soldadura de penetración completa entre el patín inferior de la viga y el patín de la columna, esta placa de respaldo debe ser retirada. Después de retirar la placa de respaldo, el pase de raíz debe ser pulido y reforzado con una soldadura de filete, el tamaño de la soldadura de filete de refuerzo adyacente al patín de la columna debe ser 8 mm, la soldadura de filete de refuerzo adyacente al patín de la viga debe ser tal que el pie del filete este localizado en el patín de la viga (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 10).

Placa de respaldo en el patín superior de la viga.-

Cuando la placa de respaldo es utilizada en una soldadura de penetración completa entre el patín superior de la viga y el patín de la columna, y esta placa de respaldo no es retirada, esta debe ser unida a la columna por una soldadura de filete continua de

8 mm en el borde por debajo de la soldadura de penetración completa (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 10).

Requerimientos de empernado según Sección 4 (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 13).

Tipos de pernos.-

Los pernos deberán ser pretensados con pernos de alta resistencia, que cumplan con los estándares ASTM F3125 grado A325, A325M, A490, A490M, F1852 o F2280, a menos que se permitan otros pernos para una conexión específica (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 13).

Requisitos de instalación.-

Los requisitos de instalación deberán estar acorde a (ANSI/AISC 341-10) y la Especificación de la RCSC (Research Council on Structural Connections), excepto que se indique específicamente lo contrario en (ANSI/AISC 358-16) (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 13).

Control de calidad y garantía de calidad.-

El control de calidad y el aseguramiento de la calidad deben estar de acuerdo con las provisiones del (ANSI/AISC 341-10) (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 13).

1.5.6. Disposiciones de ensayo cíclico para precalificación y calificación de conexiones viga columna.-

Se define como una conexión precalificada o calificada, a una conexión rígida que al someterla a un ensayo experimental cíclico de daño acumulativo de carga y descarga al cual se le denomina protocolo de carga, mismo que se encuentra descrito en la norma (ANSI/AISC 341-10) sección K2-4b (ANSI/AISC 341-10, pág. 126), y que se detalla en la TABLA 1-4 y la Figura 1-8, ensayo realizado a una probeta fabricada a escala real, en un marco de ensayos definido por (FEMA-350, 2000), en la cual dicha probeta debe soportar un momento flector en la cara de la columna superior a 0.8 Mp (Momento de plastificación de la viga), para una rotación total de 0.02 radianes para calificar como Conexión a Momento Parcialmente Restringida PR y 0.04 radianes para calificar como una Conexión a Momento Completamente Restringida FR, en la Figura 1-9 se puede observar el comportamiento histerético de una conexión precalificada FR (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 200).

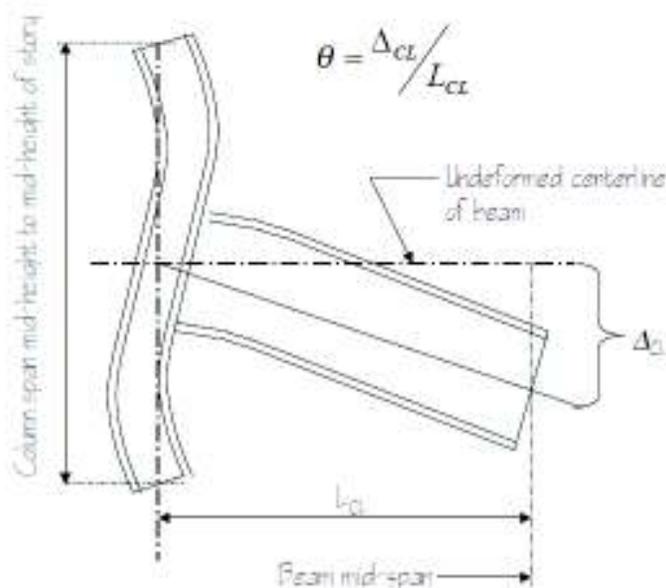


Figura 1-7.- Rotación angular de la conexión de prueba

TABLA 1-4.- Protocolo de Carga para pruebas cíclicas para la precalificación y calificación de conexiones a momento según (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 126)

FASE DEL ENSAYO	ROTACIÓN DE LA VIGA [rad]	NUMERO DE CICLOS [n]
1	0.00375	6
2	0.00500	6
3	0.00750	6
4	0.01000	4
5	0.01500	2
6	0.02000	2
7	0.03000	2
8	0.04000	2

Una vez concluido el protocolo de carga según (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 126), se debe continuar aplicando carga a la probeta con incrementos de $\theta = 0,01$ rad a la rotación de la viga, con 2 ciclos de carga por cada fase del ensayo.

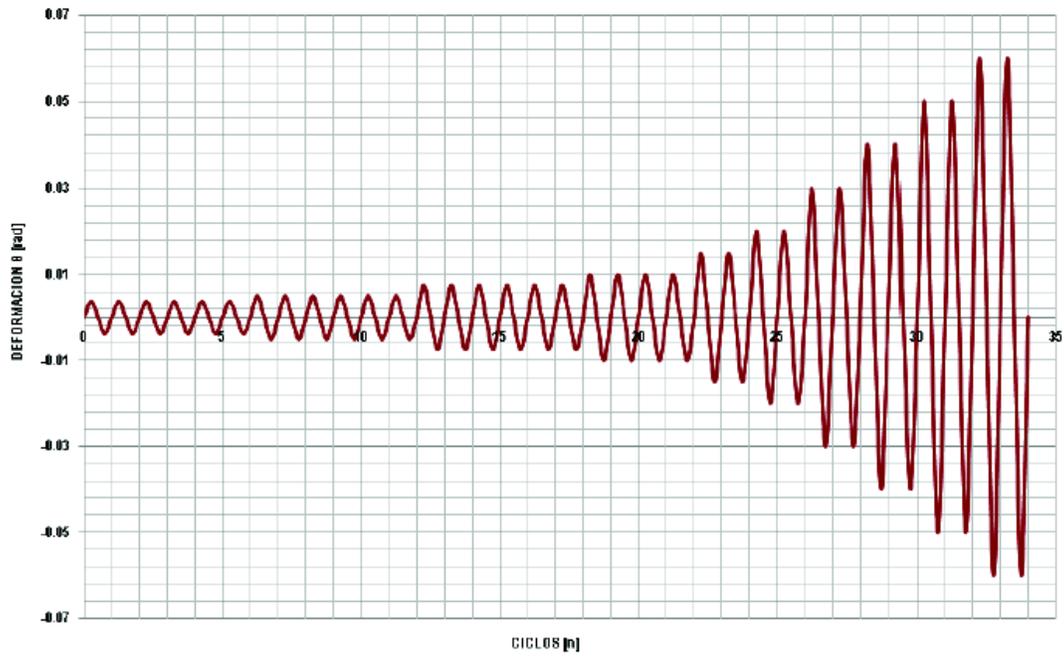


Figura 1-8.- Protocolo de Deformaciones en ensayo de Precalificación según (ANSI/AISC 341-10, 2012)

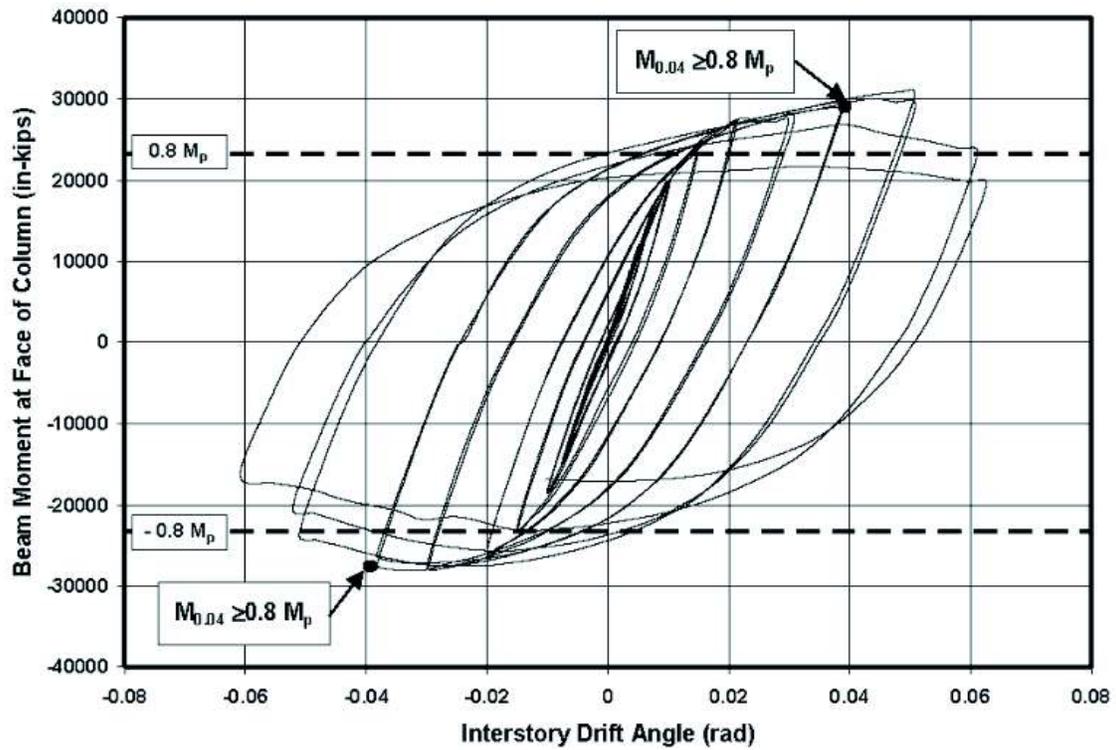


Figura 1-9.- Comportamiento histerético de una conexión precalificada FR (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 200).

1.5.7. Conexiones viga columna con viga de sección reducida (RBS)

En este tipo de conexiones con viga de sección reducida (*Reduced Beam Section RBS Moment Connection*), se procede a realizar un corte en los patines del perfil en la zona cercana a la conexión tal como se señala en la Figura 1-10, de esta forma se obliga a concentrar los puntos de plastificación en dichas secciones debido a su menor módulo plástico, estas conexiones se han precalificado para su uso en pórticos SMF y pórticos IMF (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 14).

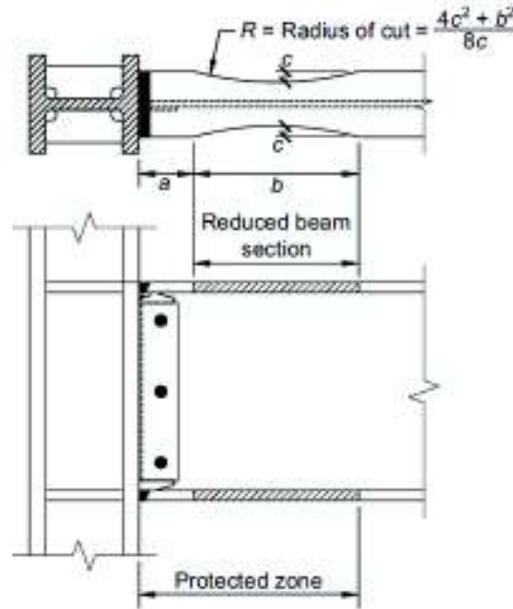


Figura 1-10.- Detalle de conexión con viga de sección reducida (RBS)

1.5.7.1 Procedimiento de Diseño de conexiones RBS según (ANSI/AISC 358-16, 2016)

En la sección 5.8 de la norma (ANSI/AISC 358-16, 2016) se señala todos los pasos necesarios para el diseño de este tipo de conexiones, para lo cual se debe seguir los pasos señalados (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 18).

Paso 1.- Se deben tener en cuenta los siguientes límites dimensionales para la selección de los valores de a , b y c , mismos que se muestran en la Figura 1-10, de acuerdo con las siguientes expresiones: (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 18).

$$0.5b_{bf} \leq a \leq 0.75 b_{bf} \quad (5.8-1) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

$$0.65 d \leq b \leq 0.85 d \quad (5.8-2) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

$$0.1b_{bf} \leq c \leq 0.25b_{bf} \quad (5.8-3) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

Donde:

a = Distancia Horizontal desde la cara del patín de la columna y el Inicio del corte RBS.

b = Longitud de corte RBS.

t_{bf} = Ancho del Patín de la viga

c = Altura desde el borde del patín al centro del Corte.

d = Altura de la Viga

Se recomienda empezar las interacciones con los valores promedio para cada límite, se debe garantizar que el perfil en la zona reducida cumpla con los requisitos de resistencia bajo las combinaciones sísmicas suministradas por el código, para tener en cuenta el efecto por el cambio de sección en las vigas de pórticos SMF, en el chequeo de derivas los desplazamientos se deben multiplicar por 1.10 siempre y cuando la reducción en los patines sea menor del 50% del ancho de los mismos, sí la reducción es menor se permite interpolación lineal para encontrar el factor multiplicador (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 18).

Paso 2.- Se debe calcular el módulo plástico de la sección en el centro de la sección reducida RBS mismo que está dada por la siguiente expresión (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 18).

$$Z_{RBS} = Z_x - 2c t_{bf}(d - t_{bf}) \quad (5.8-4) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

Donde:

Z_{RBS} = Módulo de sección plástica en el centro de la sección reducida de la viga, (mm³)

Z_x = Módulo de sección plástica alrededor del eje x, para la sección de corte completa de la viga, (mm³)

t_{bf} = Espesor del patín de la viga, (mm)

Paso 3.- Calcular el momento probable máximo M_{pr} , en el centro de la sección reducida RBS (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 19).

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_{RBS} \quad (5.8-5) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

Paso 4.- Calcular la fuerza cortante en el centro de las secciones reducidas (RBS) en cada extremo de la viga (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 19).

La fuerza de corte en el centro de las secciones reducidas de las vigas se determinará a partir de un diagrama de cuerpo libre de la porción de la viga entre los centros de la zona de las secciones reducidas de la viga, este cálculo asumirá el momento en el centro de cada sección reducida M_{pr} y deberá incluir cargas por gravedad que actúen sobre la viga en función de la combinación de carga $1.2D + f_1 L + 0.2S$, donde f_1 es el factor de carga determinado por el respectivo código de construcción aplicable para cargas vivas, pero este valor no será inferior a 0,5. Un factor de 0.7 debe ser utilizado en lugar del factor de 0,2 para S (nieve) cuando la configuración del techo es tal que no arroja nieve fuera de la estructura. (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 19).

Paso 5. Calcular el momento máximo probable en la cara de la columna.

El momento en la cara de la columna se calculará a partir de un diagrama de cuerpo libre del segmento de la viga entre el centro de la sección reducida de la viga y la cara de la columna, como se ilustra en la Figura 1-11, basándose en este diagrama de cuerpo libre, se calcula el momento en la cara de la columna como se indica en (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 20).

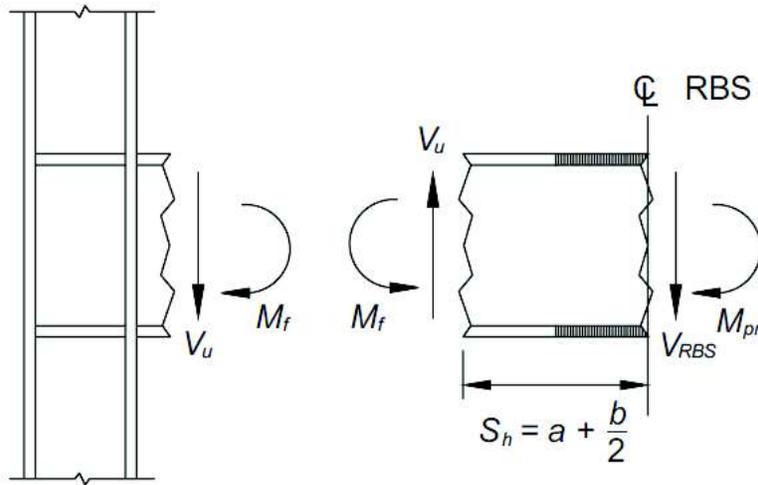


Figura 1-11.- Diagrama de cuerpo libre entre el centro de la RBS y la cara de la columna (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 19).

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} S_h \quad (5.8-6) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

Donde:

M_f = Momento en la cara de la columna (N-mm)

M_{pr} = Momento plástico probable en la rótula plástica. (N-mm)

S_h = Distancia de la cara de la columna hasta la rótula plástica (mm)

V_{RBS} = El mayor de los dos valores del cortante en el centro de la sección reducida de la viga de cada extremo (N)

Paso 6.- Calcular M_{pe} , el momento plástico de la viga basado en el esfuerzo de fluencia esperado (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 20).

$$M_{pe} = R_y F_y Z_x \quad (5.8-7) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

Paso 7.- Chequear la resistencia a la flexión de la viga en la cara de la columna (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 20).

$$M_f \leq \phi_d M_{pe} \quad (5.8-8) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

Si esta condición no se cumple hay que ajustar los valores de c, a y b de la sección reducida y repetir los pasos nuevamente desde el paso 2 al 7.

Paso 8.- Determinar la fuerza cortante requerida entre la viga y la conexión soldada de la viga con la columna V_u (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 20).

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{gravedad} \quad (5.8-9) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

Donde:

L_h = Distancia entre las ubicaciones de las rotulas plásticas (mm)

$V_{gravedad}$ = Fuerza cortante de la viga resultante $1.2D + f1L + 0.2S$ (N)

V_u = Fuerza cortante requerida entre la viga y la conexión soldada de la viga con la columna (N)

Paso 9.- Diseñar la conexión soldada entre la viga y la columna según la Sección 5.6. (ANSI/AISC 358-16).

Paso 10.- Verificar los requisitos de la placa de continuidad acuerdo con lo señalado en la norma (ANSI/AISC 341-10), en conexiones totalmente restringidas, en las que los patines de las vigas se sueldan directamente o mediante placas de conexión a los patines de las columnas, se deben disponer placas de continuidad si se cumple que: (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 42).

$$t_{cf} \geq 0.4 \sqrt{1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{yc} F_{yc}}} \quad (E3-8) \text{ (ANSI/AISC 341-10)}$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \quad (E3-9) \text{ (ANSI/AISC 341-10)}$$

El espesor de las placas de continuidad debe determinarse según el siguiente criterio:

- En nudos exteriores el espesor debe ser como mínimo la mitad del espesor del patín de la viga (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 42).

- En nudos interiores el espesor de las placas deber ser como mínimo igual al espesor mayor de los patines de las vigas que llegan al nudo (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 42).

Paso 11. Verificar las limitaciones de la relación columna-viga de acuerdo con la Sección 5-4 (ANSI/AISC 358-16, 2016).

Soldadura.-

La conexión con la columna y la viga con sección reducida se debe realizar mediante soldaduras de penetración completa en los patines, en el alma de la viga se puede vincular mediante soldadura o pernos, para este caso no es necesario reforzar la conexión debido a que se ha reducido la capacidad resistente (momento de plastificación) de la viga, las conexiones con viga de sección reducida representan una buena solución estructural (basada en principios de diseño por capacidad), que permite realizar conexiones de rápida ejecución, con bajos requerimiento de mano de obra. Esta solución es conveniente desde el punto de vista económico en países, donde el costo de la mano de obra es importante en relación al costo del acero (Crisafulli, 2014, pág. 82).

Detalles de Fabricación E Inspección.-

La sección reducida en la viga debe hacerse con un corte térmico a fin de producir una curva suave, la máxima rugosidad superficial producida por el corte térmico debe ser 13 micras, medidas utilizando la muestra 4 de la (AWS C4.1-77 (R2010)) ó un comparador similar, la transición entre la sección reducida en la viga y la sección original deben estar redondeadas en la dirección de longitudinal para minimizar el incremento de tensiones debido a cambios bruscos de sección, las esquinas entre la superficie de sección reducida y los patines superior e Inferior deben ser limadas para eliminar bordes afilados, pero no se requiere un radio o chaflán mínimo (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 17).

Las tolerancias de corte térmico deben ser más o menos 6 mm desde la línea de corte teórica, el ancho efectivo del patín de la viga en cualquier sección debe tener una tolerancia de más o menos 10 mm (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 17).

Las muescas que ocurran en la superficie cortada térmicamente de la RBS pueden repararse sí no tienen más de 6 mm de profundidad, dicha área irregular debe ser suavizada para que haya una transición continua donde la longitud total del área removida para la transición no debe ser menos que 5 veces la profundidad de la muesca a cada lado de la misma, sí queda alguna superficie filosa, se debe inspeccionar por pruebas de partículas magnéticas (MT) después de haber limado para asegurarse que la muesca se removió con éxito. Los cortes adicionales que incrementan la sección reducida establecida RBS en más de 6 mm no están permitidas, en el caso que ocurra, pueden ser reparadas mediante soldadura con la condición de que no sean mayores a 13 mm, la muesca debe ser removida y limada para proporcionar un radio suave de no menos de 6mm en la preparación para la soldadura, el área de reparación debe ser precalentada a una temperatura mínima del mayor valor entre 66 grados centígrados o el establecido en la norma (AWS D1.1/D1.1M:2006), las muescas que excedan 12 mm en profundidad se deben reparar solamente con un método que apruebe el Ingeniero encargado del Proyecto (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 18).

Requisitos para orificios de Inspección de soldadura.-

Las recomendaciones de la (FEMA-350, 2000) en su sección 3.3.2.7 Indican la importancia de que las conexiones viga columna Incluyan orificios de acceso a soldadura, mismos que se detallan de acuerdo con la Nomenclatura descrita en la Figura 1-12 donde se tiene las siguientes especificaciones:

1. Bisel de acuerdo con requerimientos AWS D.1.1
2. Mayor valor entre el Espesor del Patín ó 1/2in.
3. 3/4 tbf a tbf. Mínimo 3/4".
4. Radio mínimo 3/8".
5. 3 veces del Espesor del Patín.

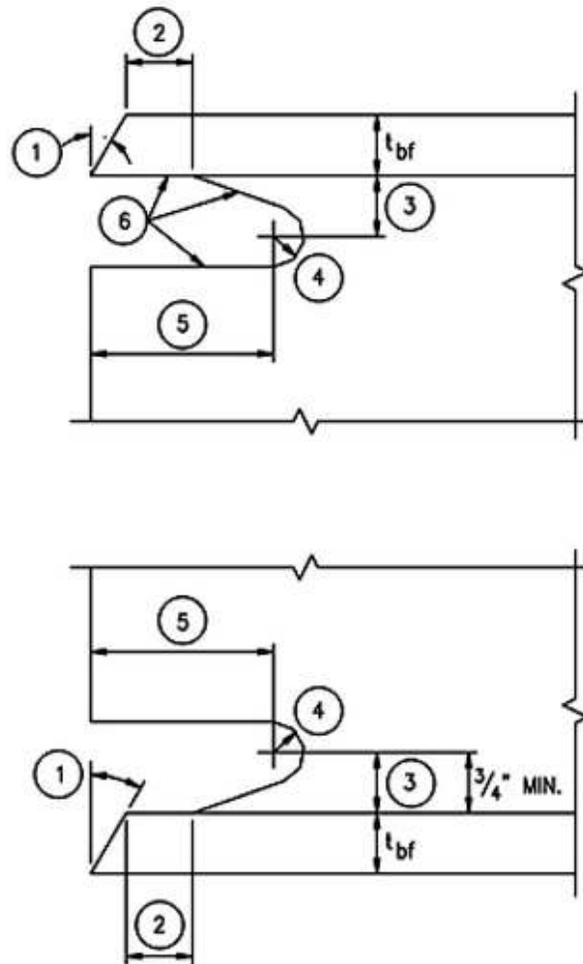


Figura 1-12.- Detalle de orificio de acceso de soldadura según (FEMA-350)

Pruebas Experimentales.-

Resultados Experimentales han demostrado que este tipo de conexiones bajo ensayos cíclicos de carga establecido por la (FEMA-350), Califica para ser implementado en Conexiones de Pórticos SMF dado que su capacidad de Momento Esperado se encuentra en el Orden de 0.8 veces su momento de plastificación de la viga para una rotación de 0.04 Radianes, tal como se define en las provisiones sísmicas del (ANSI/AISC 341-10, 2012).

1.5.8. Análisis teórico del comportamiento de las conexiones Columna RCFT viga metálica tipo I por Método de Elementos Finitos (MEF)

Para estudiar el comportamiento teórico de las conexiones propuestas en este trabajo de investigación, se elaboraron modelos analíticos por cada probeta. Estos modelos fueron analizados mediante el uso de elementos finitos (MEF), siguiendo las consideraciones que derivaron del diseño de las conexiones, esto utilizando el Programa denominado SolidWorks. Para validar estos modelos se crearon modelos básicos de las probetas ensayadas tanto en ETABS, como SAP2000 con los que se realizará comparaciones de desplazamientos obtenidos en estos tres modelos para la carga máxima soportada por cada probeta ensayada a fin de tener una idea de si los modelos realizados en SolidWorks están bien elaborados.

CAPITULO 2

2. METODOLOGÍA

Una vez revisada toda la bibliografía asociada al tema de investigación respecto de la normativa de diseño aplicable, se procede a definir las características de las probetas a escala real que serán utilizadas para el desarrollo de esta investigación, para esto se tomará las dimensiones para una conexión exterior, dimensiones utilizadas por el (Ing. Hugo Pillajo) en su trabajo de investigación denominado “Evaluación de la Conexión Precalificada: Viga de Sección Reducida - Columna Cajón, para Pórticos de Momento a Base de Planchas de Acero A-36 Soldadas.”, de la cual se utilizará las mismas características a fin de poder comparar la probeta realizada por el con las demás probetas a ensayarse en el presente trabajo de investigación, hay que indicar que estas probetas serán construidas exactamente con las mismas características tanto de materiales, dimensiones, procesos constructivos y procesos de soldaduras, con lo que se tendrá como única variable a analizar la parte de la conexión viga - columna.

2.1. Diseño de la Conexión

En nuestro medio es común el uso de conexiones con columnas compuestas RCFT y vigas metálicas Tipo I, conexiones realizadas sin ningún respaldo experimental sobre su verdadero comportamiento, la conexión más usada es una adaptación local de la conexión (*Reduced Beam Section RBS*) conexión con viga de sección reducida, cuyo detalle de diseño se encuentra en la sección 5 de la norma (ANSI/AISC 358-16, 2016), y que en sus limitaciones no se indica su uso con columnas compuestas rectangulares rellenas de hormigón (RCFT), ni el uso de acero A36 como material permitido para fabricar estos elementos viga o columna, estas limitaciones se pueden observar en la TABLA 2-1 de este Capítulo. Lamentablemente esta conexión se ha venido usando con supuestos sobre su verdadero comportamiento, que como se señaló anteriormente no han sido verificadas de manera experimental para nuestro medio y que han sido diseñadas tomando como partida las recomendaciones señaladas en la sección 5.8 de la norma (ANSI/AISC 358-16), dicho lo anterior al ser una práctica usual en nuestro medio se partirá de estas recomendaciones para diseñar la conexión de las probetas a ensayarse.

TABLA 2-1.- Requisitos de precalificación para conexiones RBS Tabla 3.6 (FEMA-350, 2000)

Table 3-6 Prequalification Data for RBS Connections

General	
Applicable systems	OMF, SMF
Hinge location distance s_h	$d_f/2 + a + b/2$
Critical Beam Parameters	
Depth range	W36 and shallower (maximum weight 300 lbs/ft)
Minimum span-to-depth ratio	OMF: 5, SMF: 7
$b_f/2t_f$	Up to $52/\sqrt{F_y}$, with b_f determined as described in Section 3.3.1.1
Flange thickness range	1-3/4" maximum
Permissible material specifications	A572 Grade 50, A992, A913 Grade 50/S75
Flange reduction parameters	Sec 3.5.5.1
Critical Column Parameters	
Depth range	OMF: Not Limited SMF: W12, W14
Permissible material specifications	A572 Grade 50; A913 Grade 50 and 65, A992
Beam / Column Relations	
Panel Zone strength	SMF: Section 3.3.3.2
Column/beam bending strength ratio	Section 2.9.1
Connection Details	
Web connection	Section 3.5.5.1 and Figure 3-12
Continuity plate thickness	Sec. 3.3.3.1
Flange welds	Fig. 3-12
Welding parameters	Sections 3.3.2.4, 3.3.2.5, 3.3.2.6
Weld access holes	See Fig. C-J1.2 AISC LRFD Vol. 1, or Section 3.3.2.7

2.1.1. Dimensiones de los elementos

2.1.1.1 Dimensiones Columna.-

La columna compuesta RCFT que se usará en todas las conexiones propuestas en esta investigación, es una columna de 350x350x8 mm rellena de hormigón con un $f'_c = 210$ Kg/cm², formada con canales de Acero A36 donde dentro de la zona que se extiende 30 cm sobre del patín superior de la viga y 30 cm debajo del patín inferior de la viga así como las placas de los patines y alma de la columna de perfil laminado encajonada estarán unidas por medio de soldaduras de penetración completa (CJP), mientras que

por fuera de esta zona los elementos placa estarán continuamente conectados por soldaduras de penetración parcial (PJP), procedimiento realizado según lo señalado en los requerimientos de la norma americana (ANSI/AISC 341-10, 2012), tal como se señala en los procedimientos de soldadura anexos a esta investigación.

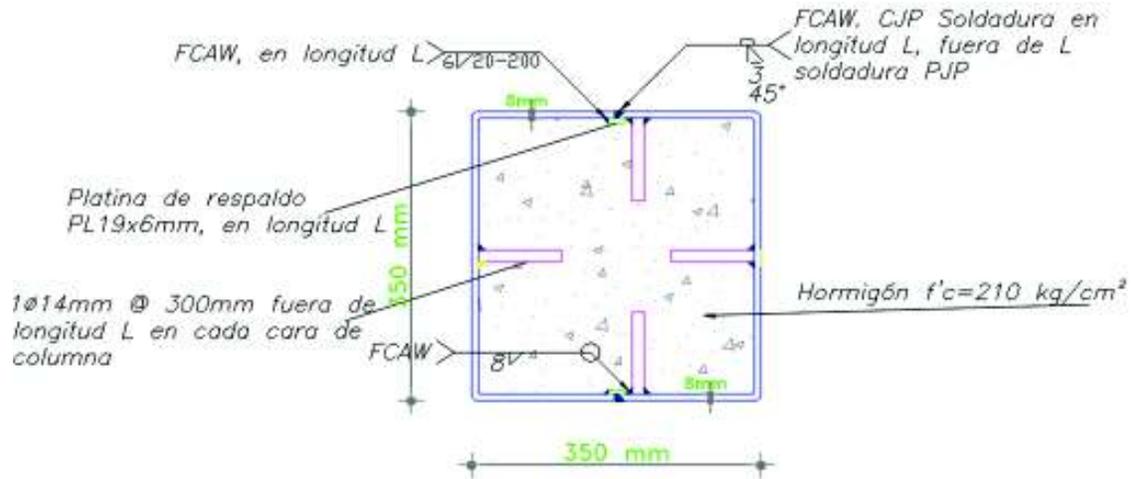


Figura 2-1.- Sección de columna de probeta a ensayarse

Como se puede ver en la Figura 2-1 se han colocado anclajes de $1\phi 14 \text{ mm}$ cada 30 cm en las caras de la columna a fin de vincular el acero con el hormigón, esta práctica es comúnmente usada en nuestro medio.

En la sección 5.3 del (ANSI/AISC 358-16) en las limitaciones para las columnas en cuanto a dimensiones se refiere, se señala que el ancho de las columnas fabricadas no debe exceder de 610 mm, al tener que la dimensión de la columna de las probetas a ensayar es de 350 mm se está cumpliendo con esta recomendación, sin embargo cabe indicar que dicha sección del código no considera elementos compuestos como lo es nuestra columna RCFT.

Según el Capítulo I del (ANSI/AISC 360-16) Diseño De Miembros Compuestos, se tiene que por compresión la clasificación para pandeo local de las secciones de columnas compuestas se clasifican como secciones compactas, secciones no compactas o secciones esbeltas, para que una sección se califique como tal la relación anchura-espesor máxima deberá cumplir con lo que se indica en la TABLA 2-2, así como por flexión la clasificación para pandeo local de las secciones de columnas compuestas se clasifican como compactas, no compactas o esbeltas y para que una sección se califique como tal la relación anchura-espesor máxima deberá cumplir con lo que se indica en la TABLA 2-3, esto según lo indicado en la norma (ANSI/AISC 360-16, 2016).

TABLA 2-2.- Limites de las proporciones de ancho espesor para elementos compuestos sujetos a compresión axial según (ANSI/AISC 360-16, 2016, pág. 89).

<p align="center">TABLE I1.1a Limiting Width-to-Thickness Ratios for Compression Steel Elements in Composite Members Subject to Axial Compression for Use with Section I2.2</p>				
Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	λ_p Compact/ Noncompact	λ_r Noncompact/ Slender	Maximum Permitted
Walls of Rectangular HSS and Box Sections of Uniform Thickness	b/t	$2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Round HSS	D/t	$\frac{0.15E}{F_y}$	$\frac{0.19E}{F_y}$	$\frac{0.31E}{F_y}$

Chequeo de pandeo local a compresión:

$$\frac{b}{t} \leq 2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{(350 - 4 * 8) \text{ mm}}{8 \text{ mm}} \leq 2.26 \sqrt{\frac{207000 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}}}$$

$$39.75 \leq 65.03 \text{ OK}$$

La sección de columna propuesta se considera compacta cuando está sujeta a compresión axial.

TABLA 2-3.- Limites de las proporciones de ancho espesor para elementos compuestos sujetos a compresión axial según (ANSI/AISC 360-16, 2016, pág. 89).

TABLE I1.1b Limiting Width-to-Thickness Ratios for Compression Steel Elements in Composite Members Subject to Flexure for Use with Section I3.4				
Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	λ_p Compact/ Noncompact	λ_r Noncompact/ Slender	Maximum Permitted
Flanges of Rectangular HSS and Box Sections of Uniform Thickness	b/t	$2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Webs of Rectangular HSS and Box Sections of Uniform Thickness	h/t	$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Round HSS	D/t	$\frac{0.09E}{F_y}$	$\frac{0.31E}{F_y}$	$\frac{0.31E}{F_y}$

Chequeo de pandeo local a flexión:

$$\frac{b}{t} \leq 2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{(350 - 4 * 8) \text{ mm}}{8 \text{ mm}} \leq 2.26 \sqrt{\frac{207000 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}}}$$

$$39.75 \leq 65.03 \text{ OK}$$

La sección de columna propuesta presenta un comportamiento compacto cuando está sujeta a flexión.

Para miembros designados como miembros altamente dúctiles como en nuestro caso, las relaciones de anchura a espesor de los elementos de compresión no deben exceder la relación de anchura a espesor límite λ_{hd} , que se muestran en la TABLA 1-1 según lo señalado en el Capítulo D del (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 11). Dicho esto para nuestra columna se tiene lo siguiente:

$$\frac{b}{t} \leq 1.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{(350 - 4 * 8)mm}{8 mm} \leq 1.4 \sqrt{\frac{207000 MPa}{250 MPa}}$$

$$39.75 \leq 40.28 \text{ OK Columna altamente dúctil}$$

El ancho b considera solo la parte recta de la cara de la columna por lo que del ancho total se resta el espesor de la columna así como el radio de curvatura de la columna.

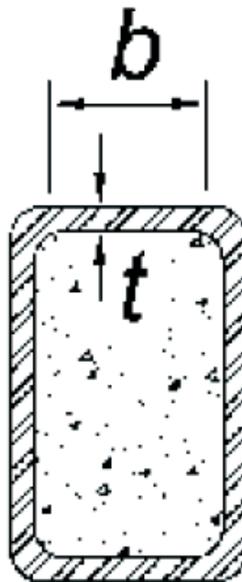


Figura 2-2.- Detalle de dimensiones para cálculo de las proporciones de ancho espesor para elementos compuestos

2.1.1.2 Dimensiones Viga.-

La viga que se utilizará en todas las conexiones propuestas en esta investigación es una viga de 150x10x400x6mm, formada con planchas de Acero A36 que en cuanto a lo referido a sus dimensiones cumple con lo que se señala en las limitaciones indicadas en la sección 5.3 (ANSI/AISC 358-16).

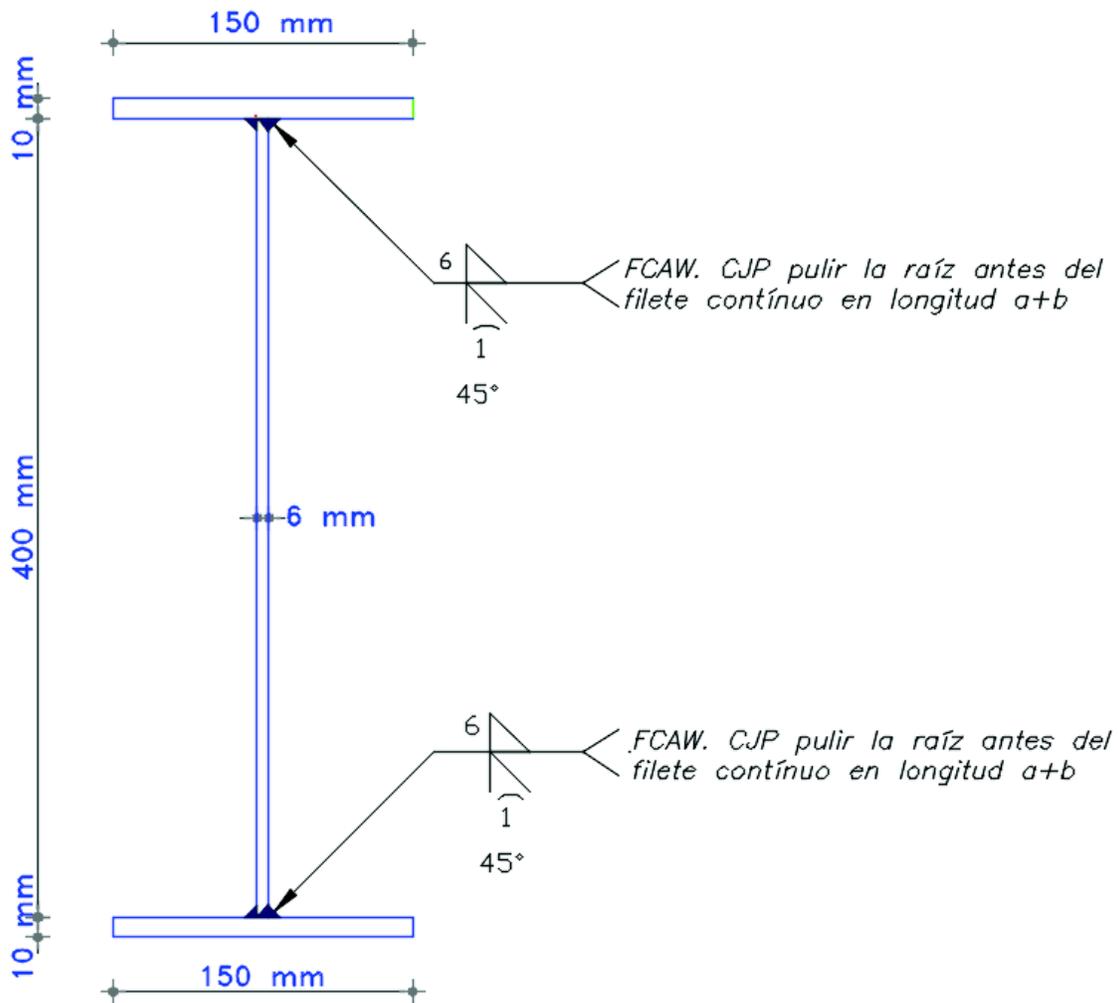


Figura 2-3.- Sección de viga de probeta a ensayarse

Para miembros designados como miembros altamente dúctiles como en nuestro caso, las relaciones de anchura a espesor de los elementos de compresión no deben exceder la relación de anchura a espesor límite λ_{hd} , que se muestran en la TABLA 1-1 según lo indicado en el Capítulo D del (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 11).

Chequeo en los patines de la Viga

$$\frac{b}{t} \leq 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{75 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} \leq 0.30 \sqrt{\frac{207000 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}}}$$

$7.5 \leq 8.63$ OK patines altamente dúctiles

Chequeo en alma de la Viga

$$\frac{h}{tw} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{410 \text{ mm}}{6 \text{ mm}} \leq 2.45 \sqrt{\frac{207000 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}}}$$

$68.33 \leq 70.50$ OK alma altamente dúctil

2.1.1.3 Diseño de la conexión RBS según sección 5.8 de (ANSI/AISC 358-16)

Paso 1 .- Determinar la geometría de la sección reducida (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 18).

$$0.5b_{bf} \leq a \leq 0.75 b_{bf} \quad (5.8-1) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

$$a = 0.5b_{bf} = 0.5 * 15 \text{ cm} = 7.5 \text{ cm}$$

$$0.65 d \leq b \leq 0.85 d \quad (5.8-2) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

$$b = 0.65 d = 0.65 * 42 \text{ cm} = 27.3 \text{ cm}$$

$$0.1b_{bf} \leq c \leq 0.25b_{bf} \quad (5.8-3) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

$$c = 0.18b_{bf} = 0.18 * 15 \text{ cm} = 2.7 \text{ cm}$$

Paso 2.- Calcular el módulo de sección plástica en el centro de la sección reducida que está dada por la siguiente expresión según (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 19).

$$Z_{RBS} = Z_x - 2ct_{bf}(d - t_{bf}) \quad (5.8-4) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

$$Z_{RBS} = Z_x - 2ct_{bf}(d - t_{bf}) = 855\text{cm}^3 - 2 * 2.7\text{cm} * 1\text{cm}(42\text{cm} - 1\text{cm})$$

$$Z_{RBS} = 633.6\text{cm}^3$$

Paso 3 .- Calcular el momento máximo probable M_{pr} , en el centro de la RBS (sección reducida de la viga) según (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 19).

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_{RBS} \quad (5.8-5) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_{RBS} = 1.2 * 1.3 * 2531 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} 633.6\text{cm}^3 \frac{1}{100000} = 25.02\text{t m}$$

Paso 4.- Calcular el cortante en el centro de las secciones reducidas de la viga en cada extremo según (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 19). Se tiene que el $V_{grav} = 6.69\text{ Tn}$ proviene del reporte obtenido por el Ing. Hugo Pillajo del modelo del edificio que el realizó para su trabajo de investigación.

$$L_h = L - 2\left(a + \frac{b}{2}\right) = 710\text{cm} - 2\left(7.5\text{cm} + \frac{27.3\text{cm}}{2}\right) = 667.8\text{cm} = 6.68\text{m}$$

$$V_{RBS} = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{grav} = \frac{2 * 25.02\text{tm}}{6.68\text{m}} + 6.69\text{t} = 14.18\text{t}$$

Paso 5. Calcular el momento máximo probable en la cara de la columna según (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 19).

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} S_h \quad (5.8-6) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

$$S_h = a + \frac{b}{2} = 7.5\text{cm} + \frac{27.3\text{cm}}{2} = 21.15\text{cm} = 0.21\text{m}$$

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} S_h = 25.02\text{t m} + 14.18\text{t} * 0.21\text{m} = 28.00\text{t m}$$

Paso 6.- Calcular M_{pe} , el momento plástico de la viga basado en el esfuerzo de fluencia esperado según (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 20).

$$M_{pe} = R_y F_y Z_x \quad (5.8-7) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

$$M_{pe} = R_y Z_V F_y = 1.3 * 855.0 \text{ cm}^3 * 2531 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \frac{1}{100000} = 28.13 \text{ t m}$$

Paso 7.- Comprobar la resistencia a la flexión de la viga en la cara de la columna según (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 20).

$$M_f \leq \phi_d M_{pe} \quad (5.8-8) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

$$M_f < \phi_d M_{pe}$$

$$28.00 \text{ t m} < 1 * 28.13 \text{ t m} \quad \text{OK}$$

Paso 8.- Determinar la fuerza cortante requerida entre la viga y la conexión soldada de la viga con la columna V_u según (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 20).

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{gravedad} \quad (5.8-9) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{grav} = \frac{2 * 25.02 \text{ tm}}{6.68 \text{ m}} + 6.69 \text{ t} = 14.18 \text{ t}$$

Paso 9.- Diseñar la placa de cortante soldada entre la unión de la viga y la columna según la Sección 5-6 (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 20).

$$\phi_v V_v = \phi_v d_{pc} t_{pc} F_{ypc} = 0.6 * d_{pc} * 0.6 \text{ cm} * 2531 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \frac{1}{1000} = 0.91 d_{pc} * \frac{\text{t}}{\text{cm}}$$

$$\phi_v V_v \geq V_u \quad 0.91 d_{pc} * \frac{\text{t}}{\text{cm}} = 14.18 \text{ t}$$

$$d_{pc} = 15.58 \text{ cm}$$

Para cumplir geometría de la placa de cortante según (ANSI/AISC 358-16):

$$d_{pc} = 36 \text{ cm} \quad \text{PL75x360x6mm}$$

Paso 10.- Verificar los requisitos de la placa de continuidad acuerdo con lo señalado en la norma (ANSI/AISC 341-10, 2012) en conexiones totalmente restringidas, en las que los patines de las vigas se sueldan directamente o mediante placas de conexión a los patines de las columnas, no se deben disponer placas de continuidad si se cumple con E3-8, E3-9 (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 42).

$$t_{cf} \geq 0.4 \sqrt{1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{yc} F_{yc}}} \quad (\text{E3-8}) \quad (\text{ANSI/AISC 341-10})$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \quad (\text{E3-9}) \quad (\text{ANSI/AISC 341-10})$$

$$t_{cf} = 0.8 \text{ cm}$$

$$t_{cf} \geq 0.4 \sqrt{1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{yc} F_{yc}}} = 0.4 \sqrt{1.8 * 15 \text{ cm} * 1 \text{ cm} * 1} = 2.08 \text{ cm}$$

$0.8 \text{ cm} < 2.08 \text{ cm}$ No cumple

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} = \frac{15 \text{ cm}}{6} = 2.5 \text{ cm}$$

$0.8 \text{ cm} < 2.5 \text{ cm}$ No cumple

Si se necesita colocar placas de continuidad; en conexiones exteriores el espesor debe ser mínimo la mitad del espesor del patín de la viga, esto sería en el caso de tener Columnas de Acero con perfiles W esto según (ANSI/AISC 341-10, 2012, pág. 42).

Diseño de la Zona de Panel

$$R_u = \frac{\sum M_f}{d - t_{bf}} = \frac{28.00 \text{ t m} * 100}{42 \text{ cm} - 1 \text{ cm}} = 68.29 \text{ t}$$

$$\phi R_u = \phi d_c t_{cf} F_{yc} = 0.6 * 35 \text{ cm} * 1.6 \text{ cm} * 2531 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \frac{1}{1000} = 85.04 \text{ t}$$

$\phi R_u \geq R_u$ OK, no es necesario colocar placas dobles

Paso 11. Verificar las limitaciones de la relación columna-viga de acuerdo con la Sección 5.4. (ANSI/AISC 358-16)

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1.0 \quad (\text{E3-1}) \text{ (ANSI/AISC 341-10)}$$

$$\sum M_{pc}^* = \sum Z_c \left(F_{yc} - \frac{P_{uc}}{A_g} \right) \quad (\text{E3-2a}) \text{ (ANSI/AISC 341-10)}$$

Momento último en columna superior tomado del diseño realizado por (Ing. Hugo Pillajo)

$$P_{uc} = 30.12 \text{ Tn}$$

Momento último en columna inferior tomado del diseño realizado por (Ing. Hugo Pillajo)

$$P_{uc} = 35.96 \text{ Tn}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{pc}^* &= \sum Z_c \left(F_{yc} - \frac{P_{uc}}{A_g} \right) = 2561.8 \text{ cm}^3 \left(2531 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \frac{1}{1000} - \frac{30.12 \text{ t}}{108.89 \text{ cm}^2} \right) \frac{1}{100} + \\ &2561.8 \text{ cm}^3 \left(2531 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \frac{1}{1000} - \frac{35.96 \text{ t}}{108.89 \text{ cm}^2} \right) \frac{1}{100} = 57.75 \text{ t m} + 56.38 \text{ t m} \end{aligned}$$

$$\sum M_{pc}^* = 114.13 \text{ t m}$$

$$\sum M_{pb}^* = \sum (1.1 R_y F_{yb} Z_b + M_{uv}) \quad (\text{E3-3a}) \text{ (ANSI/AISC 341-10)}$$

$$M_{uv} = V_{RBS} \left(a + \frac{b}{2} + \frac{d_c}{2} \right) = 14.18 \text{ t} \left(7.5 \text{ cm} + \frac{27.3 \text{ cm}}{2} + \frac{35 \text{ cm}}{2} \right) \frac{1}{100} = 5.48 \text{ t m}$$

$$\sum M_{pb}^* = \sum (1.1 R_y F_{yb} Z_b + M_{uv}) = 1.1 * 1.3 * 2531 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} 855 \text{ cm}^3 \frac{1}{100000} + 5.48 \text{ t m}$$

$$\sum M_{pb}^* = 36.43 \text{ t m}$$

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} = \frac{114.13 \text{ t m}}{36.43 \text{ t m}} = 3.13 > 1.0 \quad \text{OK}$$

2.2. Elaboración de las Probetas

Para esta investigación se elaboraron cuatro probetas de la misma manera, tanto en la parte de materiales, dimensiones, procesos constructivos y procesos de soldaduras en vigas y columnas mismas que cumplen con todos los parámetros revisados anteriormente cumpliendo con las normas (ANSI/AISC 341-10, 2012), (ANSI/AISC 358-16, 2016), (ANSI/AISC 360-16, 2016), (AWS D1.1/D1.1M:2006, 2006), (AWS C4.1-77 (R2010), 2009). Solo se modificó la parte referente a la conexión de la viga columna, en donde se consideraron cuatro modelos como casos de estudio mismos que se detallan a continuación, además del modelo elaborado dentro del trabajo de investigación del (Ing. Hugo Pillajo).

2.2.1. Probeta 1:

Modelo utilizando platinas diagonales dentro de la columna RCFT.

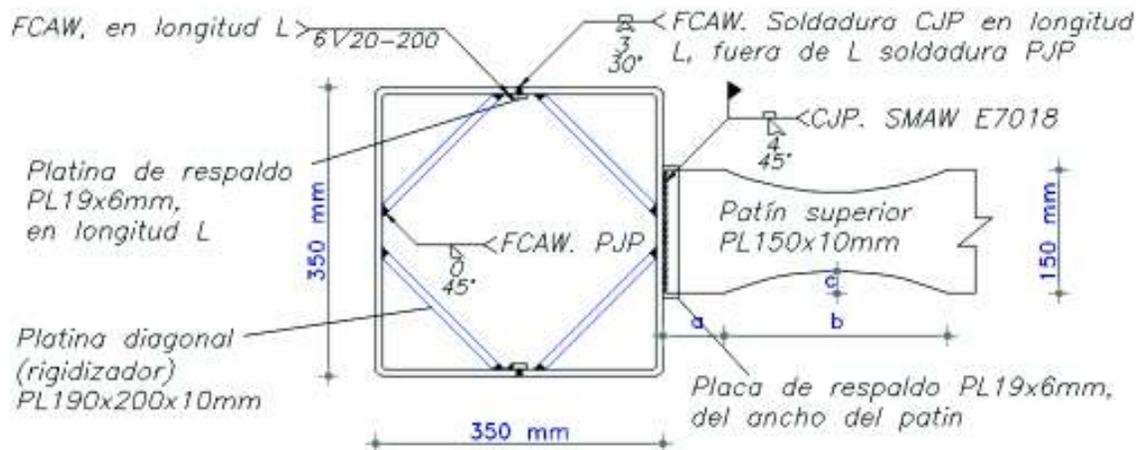


Figura 2-4.- Vista en planta de conexión en probeta 1

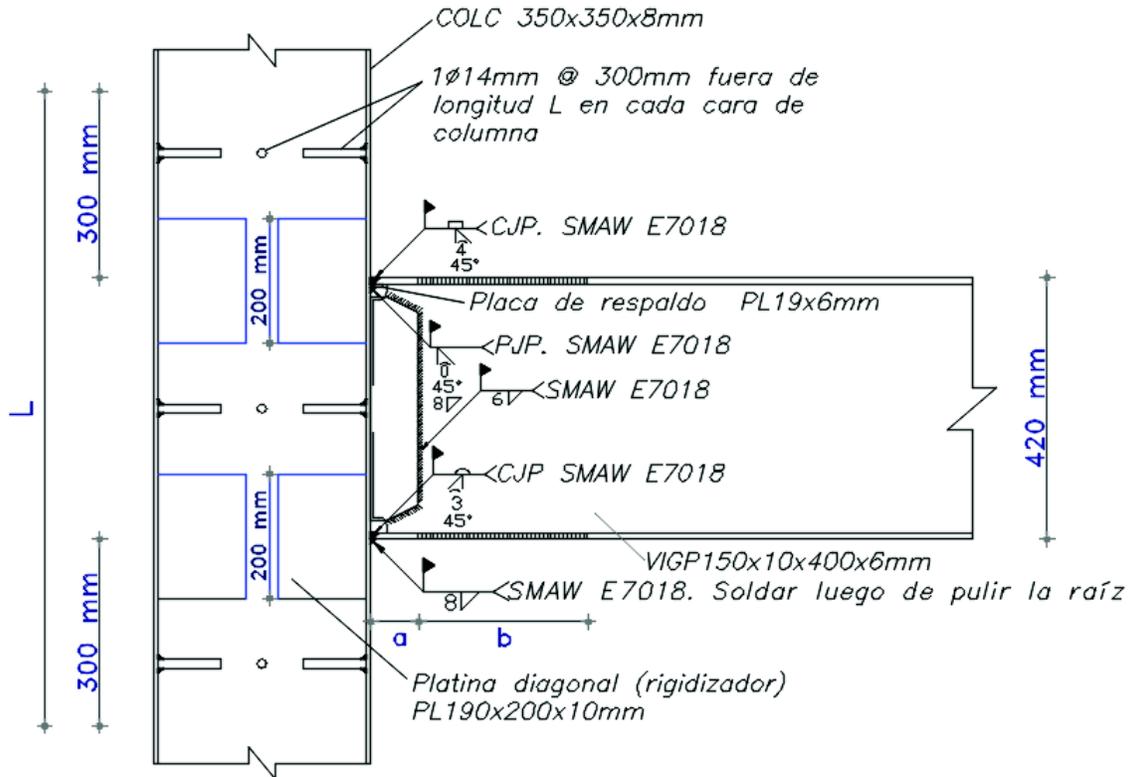


Figura 2-5.- Vista en elevación de conexión en probeta 1

2.2.2. Probeta 2:

Modelo con un anillo de placas colocadas alrededor de la columna compuesta RCFT de manera paralela a la cara de la columna en la zona de conexión con la viga metálica tipo I .

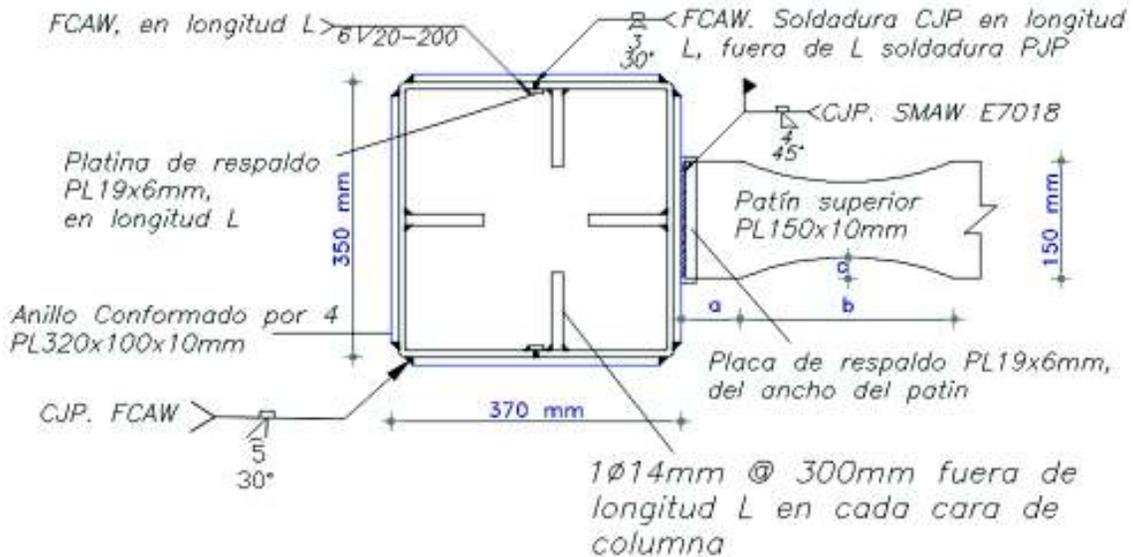


Figura 2-6.- Vista en planta de conexión en probeta 2

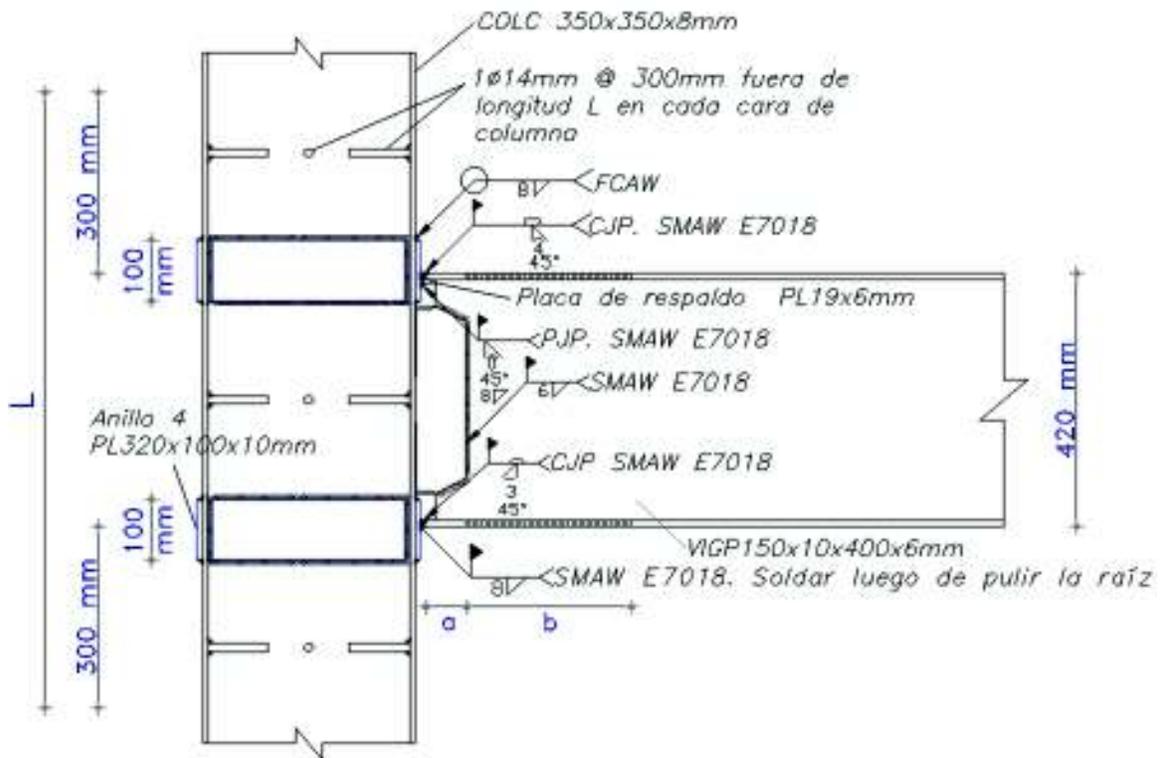


Figura 2-7.- Vista en elevación de conexión en probeta 2

2.2.3. Probeta 3:

Modelo con un anillo de placas colocadas alrededor de la columna compuesta RCFT de manera perpendicular a la cara de la columna en la zona de conexión con la viga metálica tipo I, estas placas se colocaran a continuación de los patines superior e inferior.

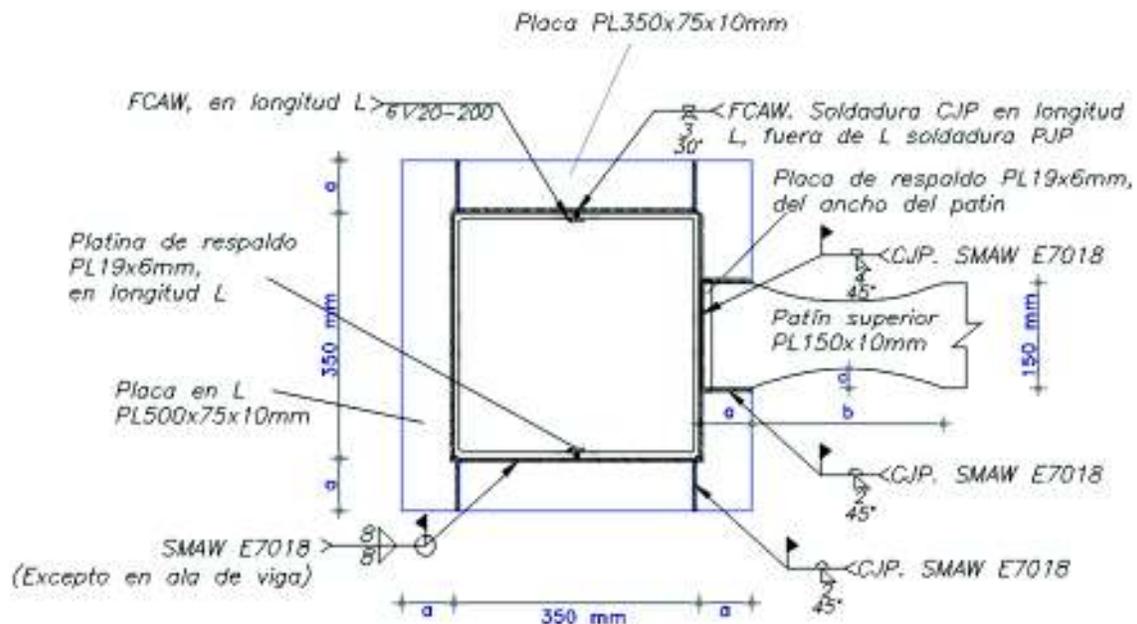


Figura 2-8.- Vista en planta de conexión en probeta 3

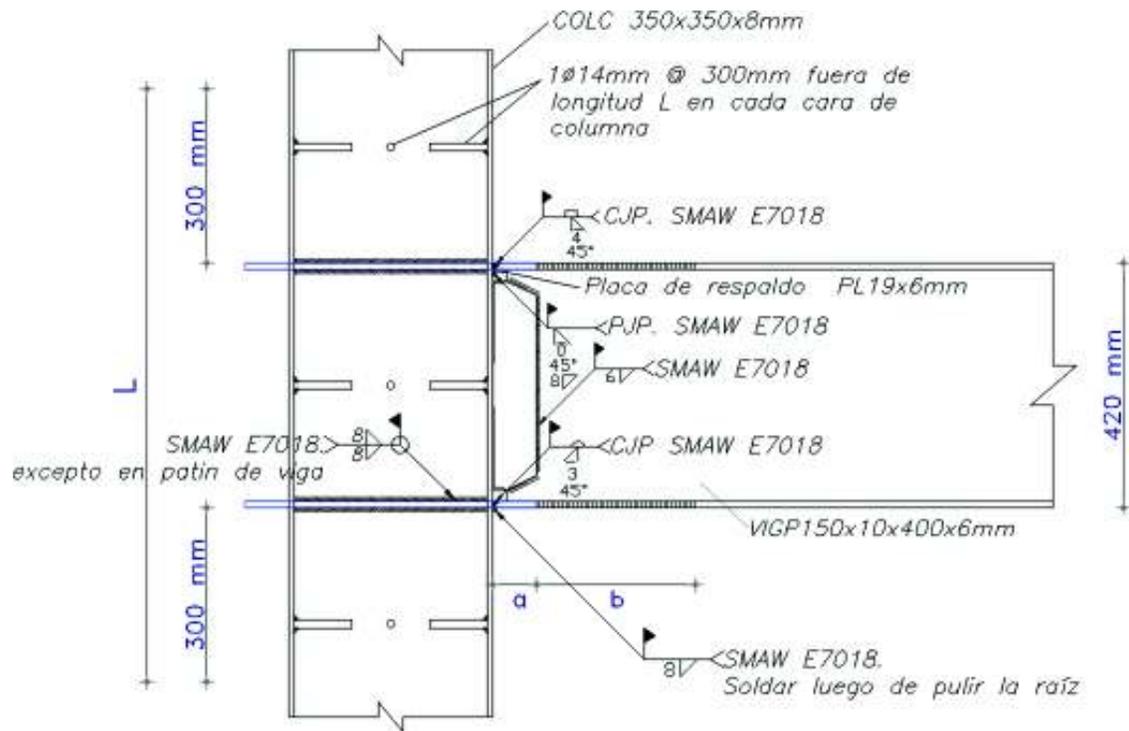


Figura 2-9.- Vista en elevación de conexión en probeta 3

2.2.4. Probeta 4:

Modelo que será la combinación del primer modelo y el tercer modelo, pero colocando las placas de refuerzo sobre el patín superior y debajo del patín inferior.

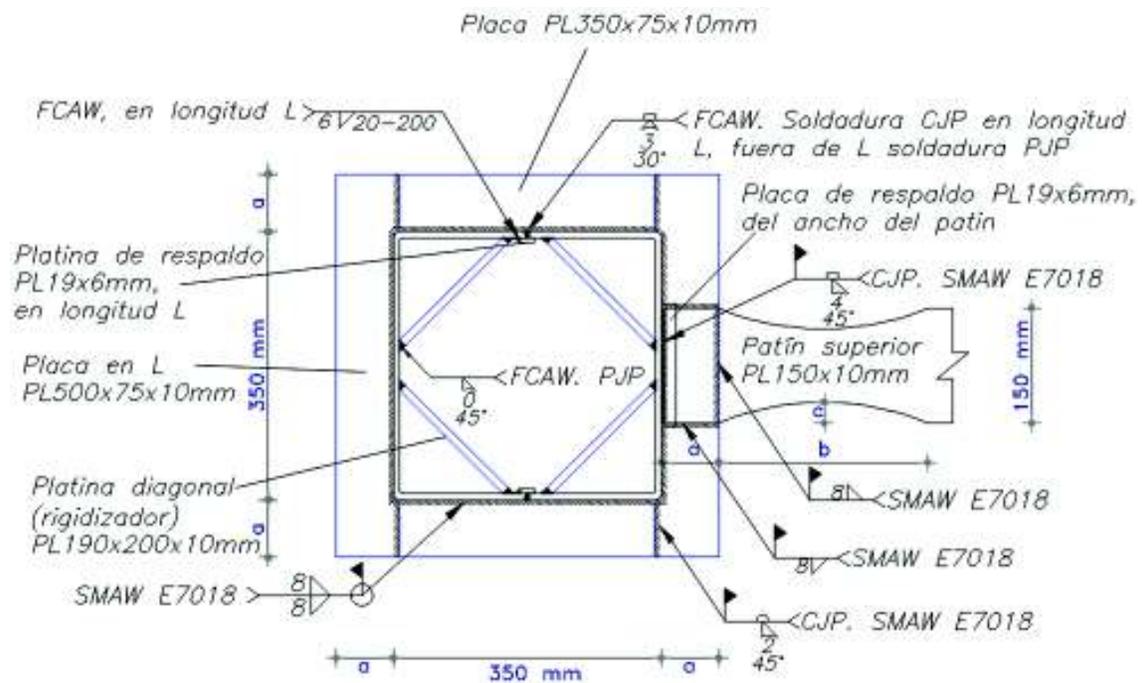


Figura 2-10.- Vista en planta de conexión en probeta 4

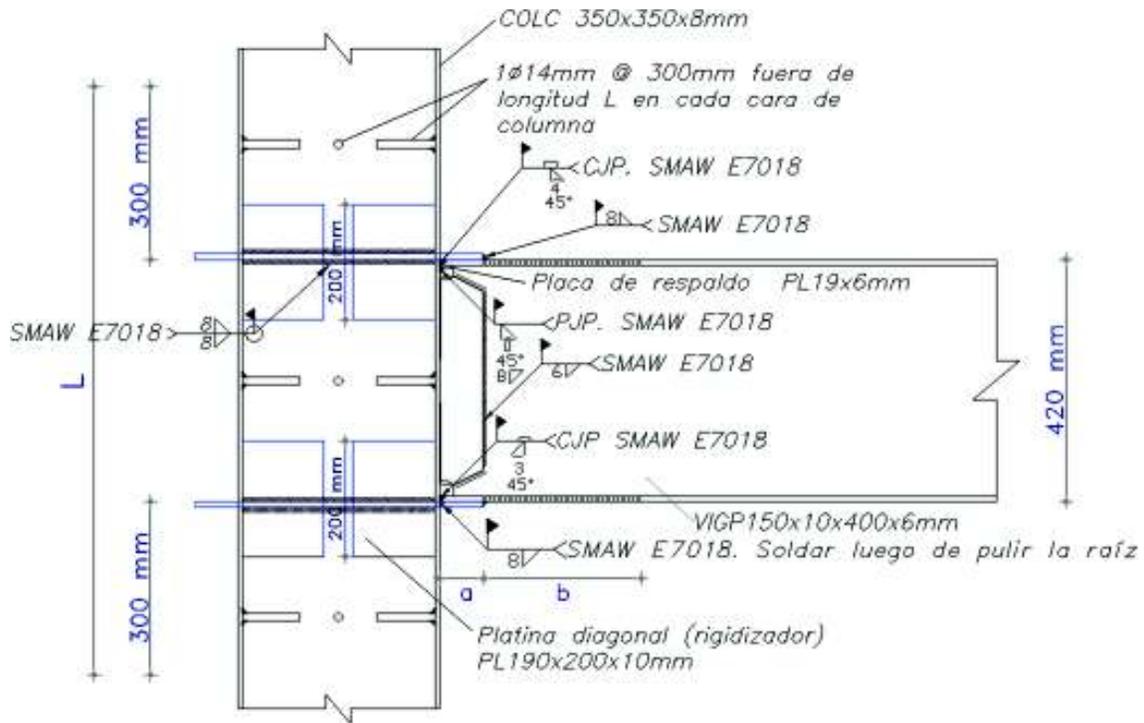


Figura 2-11.- Vista en elevación de conexión en probeta 4

2.2.5. Probeta 5:

Modelo prolongando los patines de las vigas dentro de la columna RCFT (Probeta realizada en el trabajo de investigación desarrollado por el Ing. Hugo Pillajo).

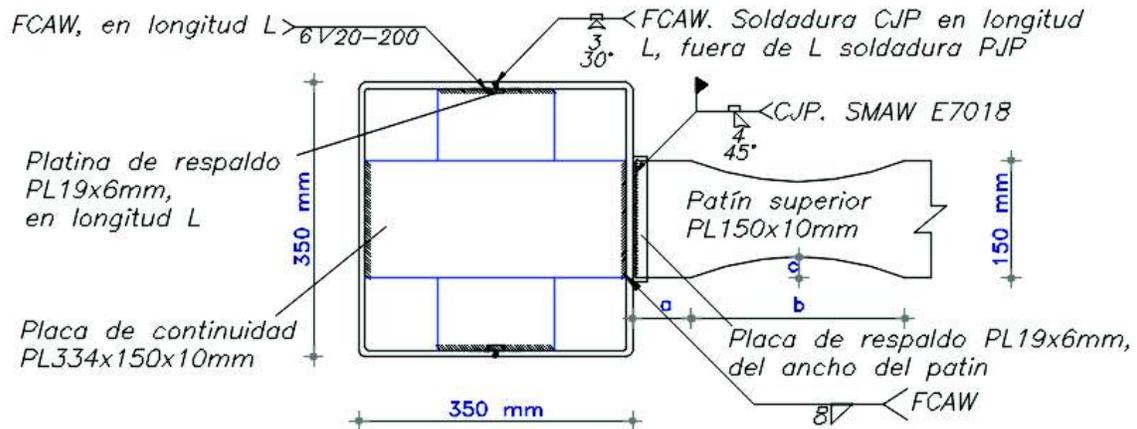


Figura 2-12.- Vista en planta de conexión en probeta 5

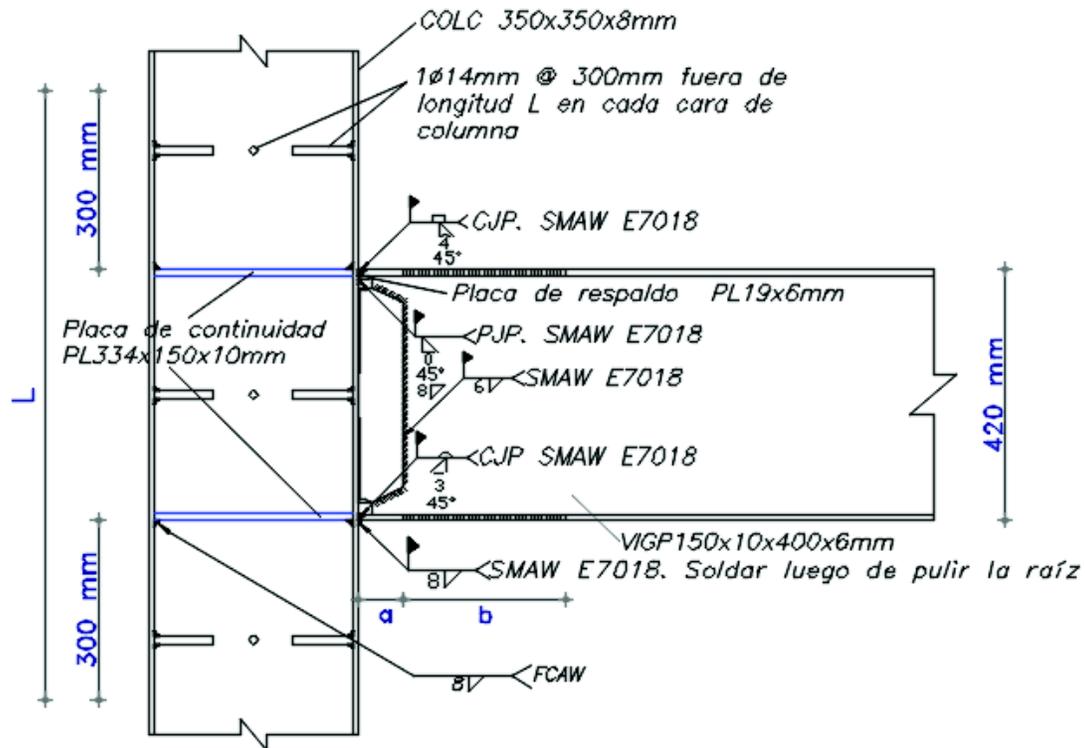


Figura 2-13.- Vista en elevación de conexión en probeta 5

2.2.6. Proceso constructivo de columnas

En las fotografías que se muestran a continuación se puede observar todo el proceso de elaboración de las columnas utilizadas en esta investigación.



Figura 2-14.- Varillas Ø14 mm para obtener anclaje mecánico entre la columna de acero y el relleno de hormigón



Figura 2-15.- Ángulo de canal en la longitud L de la conexión para realizar la soldadura de penetración completa CJP entre los canales U350x175x8mm



Figura 2-16.- Abertura de la raíz para la soldadura CJP en la longitud L de la conexión



Figura 2-17.- Refuerzo de la soldadura en el cordón en la longitud L



Figura 2-18.- Proceso de soldadura FCAW, posición 1G entre diagonal interna y el canal U350x175x8mm en columnas para probetas del modelo 1 y modelo 4



Figura 2-19.- Inspección visual del cordón entre la diagonal y el canal de la columnas para probetas del modelo 1 y modelo 4



Figura 2-20.- Columna terminada se aprecian agujeros para colocar empotramientos

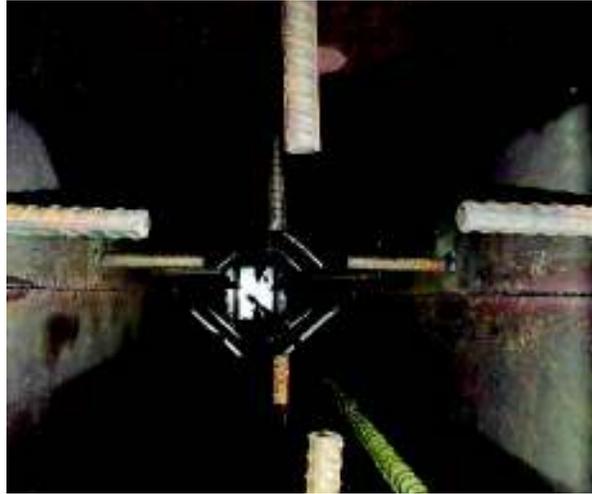


Figura 2-21.- Interior de la columna tubular 2U350x175x8mm



Figura 2-22.- Relleno de hormigón $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en las columnas tubulares RCFT



Figura 2-23.- Toma de muestras del hormigón en probetas

2.2.7. Proceso constructivo de vigas

En las fotografías que se muestran a continuación se puede observar todo el proceso de elaboración de las vigas utilizadas en esta investigación.



Figura 2-24.- Ángulo de canal del patín superior de la viga



Figura 2-25.- Angulo de canal entre el alma de la viga y el patín inferior de la misma, en la zona protegida.



Figura 2-26.- Medición del filete en zona protegida de la viga

2.2.8. Proceso constructivo de la conexión viga columna

En las fotografías que se muestran a continuación se puede observar el proceso de construcción de la conexión viga – columna para los diferentes modelos propuestos.



Figura 2-27.- Medición del filete en la soldadura de la placa de respaldo y la columna. Posición 4G



Figura 2-28.- Ángulo de canal del alma de la viga y el patín inferior



Figura 2-29.- Ángulo de canal del patín superior de la viga



Figura 2-30.- Soldadura proceso SMAW. Posición 1G entre la columna y el patín superior de la viga



Figura 2-31.- Medición del refuerzo colocado en el patín superior de la viga



Figura 2-32.- Medición del filete colocado el patín inferior de la viga



Figura 2-33.- Vista inferior conexión viga de sección reducida-columna con placas externas paralelas a la cara de la columna perteneciente a la Probeta del Modelo 2



Figura 2-34.- Vista frontal conexión viga de sección reducida-columna con diagonales internas



Figura 2-35.- Vista frontal conexión viga de sección reducida-columna con anillo de placas colocadas alrededor de la columna compuesta RCFT de manera perpendicular a la cara de la columna con diagonales internas perteneciente a la Probeta 4, se puede apreciar como las placas de refuerzo están colocadas encima del patín superior y debajo del patín inferior



Figura 2-36.- Vista frontal conexión viga de sección reducida-columna terminada

2.3. Ensayo de las Probetas

Para esta investigación se ensayaron todas las probetas de la misma manera, ensayos que se realizaron en el Laboratorio CIV-EPN, mismo que cuenta con un muro y losa de reacción que permite ensayar probetas a escala real y cuenta con los diferentes gatos hidráulicos para la aplicación de cargas estáticas y dinámicas, en este caso para aplicar el protocolo de carga indicado para la calificación de la conexión se utilizó un gato hidráulico de 20 Ton de doble acción, el montaje de las probetas es el que se muestra en la Figura 2-37.

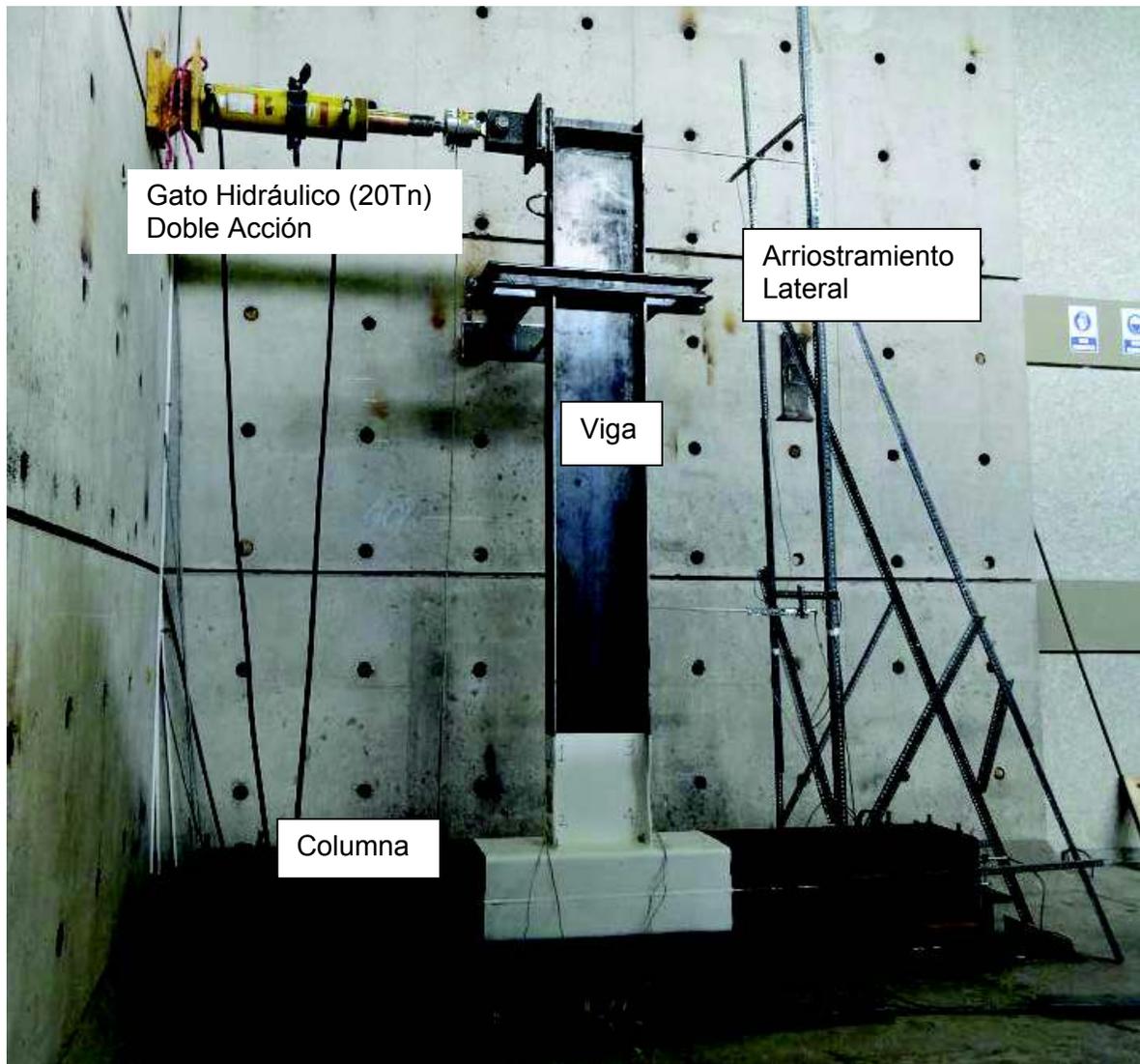


Figura 2-37.- Montaje de probeta a ensayarse

Las dimensiones entre los apoyos y punto de aplicación de carga respecto del centro de la viga, así como la distancia entre el punto de aplicación de la carga y la cara de la columna y es el que se indica en la Figura 2-38.

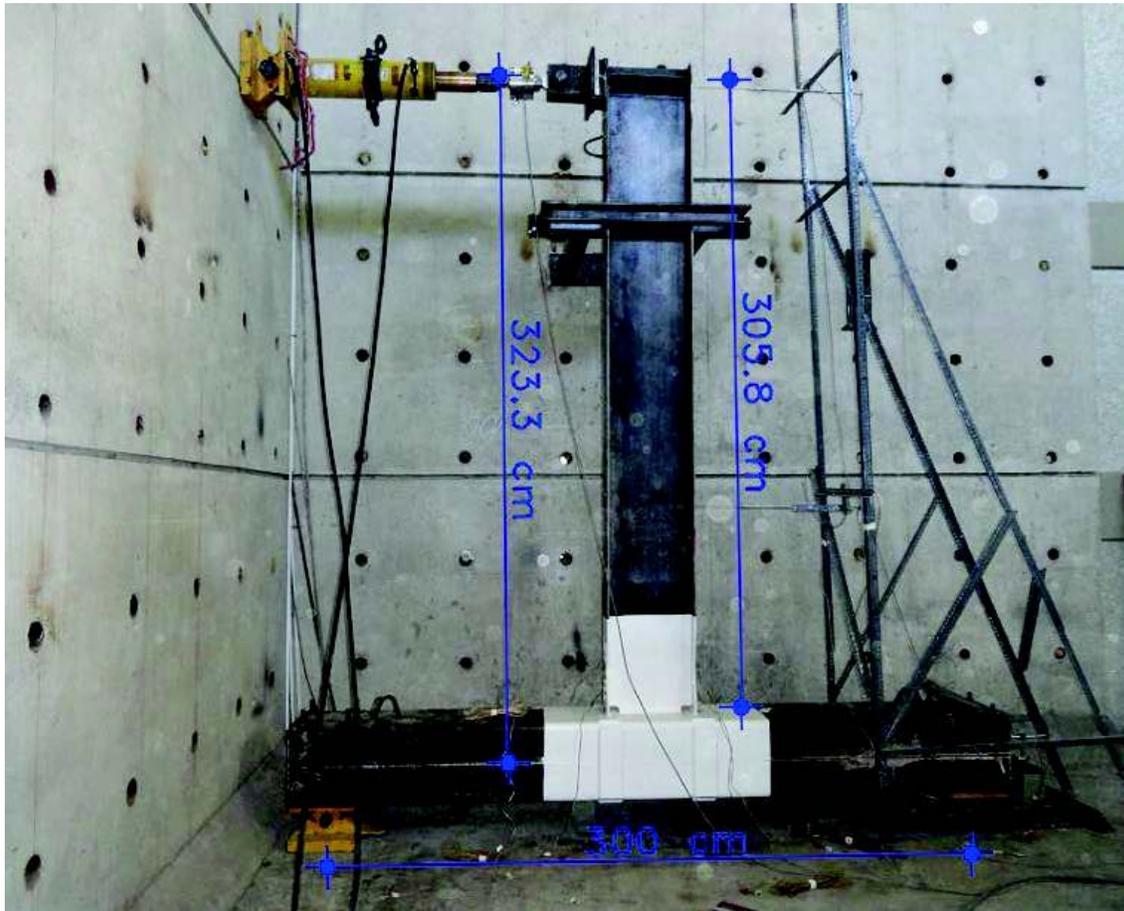


Figura 2-38.- Dimensiones de punto de apoyos y aplicación de carga

2.3.1. Protocolo de Carga aplicado a las probetas

Una vez concluido el proceso de fabricación y montaje de cada probeta, el siguiente paso a seguir es aplicar el protocolo de carga a la conexión, tal como se define en la sección K2-4b de la norma (ANSI/AISC 341-10) y que se detalla en la TABLA 1-4 y la Figura 1-8. Para lograr esto en laboratorio se multiplico el giro correspondiente a cada ciclo por la distancia al centro de la columna de la probeta a ensayarse en este caso 3233 mm, así se obtiene los desplazamientos correspondientes a cada giro mismos que se muestran en la TABLA 2-4.

TABLA 2-4.- Protocolo de Carga para pruebas cíclicas para la precalificación y calificación de conexiones a momento según **(ANSI/AISC 341-10)**

FASE DEL ENSAYO	NUMERO DE CICLOS [n]	ROTACIÓN DE LA VIGA [rad]	ROTACIÓN DE LA VIGA [mm]
1	6	0.00375	12.10 mm
2	6	0.00500	16.20 mm
3	6	0.00750	24.20 mm
4	4	0.00100	32.30 mm
5	2	0.00150	48.50 mm
6	2	0.02000	64.70 mm
7	2	0.03000	96.90 mm
8	2	0.04000	129.30 mm
9	2	0.05000	161.7 mm
10	2	0.06000	193.98 mm

Los ciclos 9 y 10 corresponden a incrementos de $\Theta=0.01\text{rad}$ conforme dicta la norma (ANSI/AISC 341-10).

Una vez definido los desplazamientos necesarios para cada ciclo se procedió a dar carga de forma manual a las probetas tomando registro de estos datos para cada ciclo, como se puede observar en la Figura 2-39 y Figura 2-40.

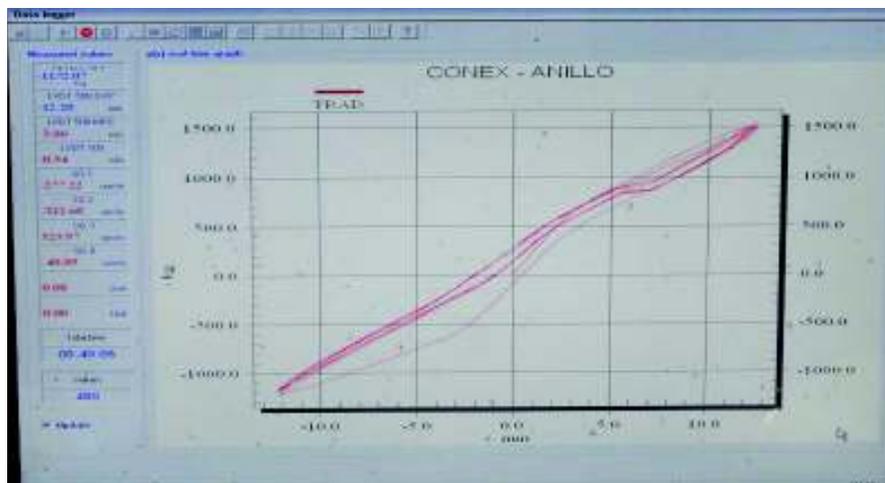


Figura 2-39.- Medición de Desplazamiento Vs Fuerza Aplicada



Figura 2-40.- Medición de Desplazamiento Vs Fuerza Aplicada con su Ciclo Correspondiente

Como se puede ver en la Figura 2-39, todos los datos quedan registrados en un archivo con una base de datos digitalizada, donde se recibe toda la información proveniente de los deformímetros y Straing Gauges colocados en las probetas, así como los valores de la carga aplicada proveniente de la celda de carga, todo esto previo a una calibración del sistema e ingreso de características de los Straing Gauges. Con esta información se obtendrá posteriormente las curvas histeréticas de Carga vs Desplazamiento y con ella las curvas histeréticas de Momento vs Rotación objeto de este estudio, para su posterior comparación además se obtendrán las curvas histeréticas de Carga vs Desplazamiento Unitario obtenido de los Straing Gauges que fueron colocados en todas la probetas ensayadas.

El protocolo de carga permite evaluar de una manera eficaz la resistencia de una conexión, así como su capacidad de rotación ante un evento sísmico severo, lo cual se puede determinar a partir de los datos obtenidos de las curvas de histéresis.

2.3.2. Definición del momento probable plástico en la rótula plástica para una conexión RBS según (ANSI/AISC 358-16, 2016)

El cálculo del momento probable de la viga en la sección reducida (RBS) viene dado según lo señalado por la norma (ANSI/AISC 358-16, 2016, pág. 19), y esta determinado por las siguientes ecuaciones:

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_{RBS} \quad (5.8-5) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2 F_y} \leq 1.2 \quad (2.4-2) \text{ (ANSI/AISC 358-16)}$$

$R_y = 1.3$ Tomado de la TABLA 1-3 (ANSI/AISC 341-10, 2012)

$$F_y = 2531 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_u = 4078 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2 F_y} = \frac{2531 \text{ Kg/cm}^2 + 4078 \text{ Kg/cm}^2}{2 (2531 \text{ Kg/cm}^2)} = 1.3 \text{ usamos } 1.2$$

$$Z_{RBS} = 633.6 \text{ cm}^3$$

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_{RBS} = 1.2 * 1.3 * 2531 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 633.6 \text{ cm}^3 = 2501680.90 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$M_{pr} = 25.02 \text{ Tn.m} \quad 0.8 * M_{pr} = 20.02 \text{ Tn.m}$$

2.3.3. Definición del momento probable plástico en la rótula plástica para una conexión RBS utilizando valores reales de resistencia

Al disponer de ensayos que avalen el valor real del F_y del Acero a utilizarse se puede simplificar la expresión anterior a:

$$M_{pr} = C_{pr} * F_{y(Real)} * Z_{RBS}$$

Donde se puede usar un valor promedio de los resultados que fueron obtenidos de los ensayos realizados.

TABLA 2-5.- Informe del ensayo de Tensión en placas A36 Cortesía: (Ing. Hugo Pillajo)

Descripción	Límite de Fluencia F_y (kg/cm ²)	Tensión Última F_u (kg/cm ²)	Elongación en 50 mm (min)%
Valores nominales	2531	4078-5625	21.00
Placa de continuidad	3214.4	5088.1	46.80
Patín de la viga	2955.0	4697.9	46.38
Columna o ala de la columna	3049.2	4807.6	35.70
Alma de la viga	3490.0	4900.4	40.98

$$F_{y(Real)} = 3177.15 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{u(Real)} = 4873.50 \text{ Kg/cm}^2 = 4.78\text{E}+08 \text{ N/m}^2$$

$$Z_{RBS} = 633.6 \text{ cm}^3$$

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2 F_y} = \frac{3177.15 \text{ Kg/cm}^2 + 4873.50 \text{ Kg/cm}^2}{2 (3177.15 \text{ Kg/cm}^2)} = 1.27 \text{ usamos } 1.2$$

$$M_{pr} = C_{pr} F_{y(Real)} Z_{RBS} = 1.2 * 3177.15 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 633.6 \text{ cm}^3 = 2415650.69 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$M_{pr} = 24.15 \text{ Tn.m} \quad 0.8 * M_{pr} = 19.32 \text{ Tn.m}$$

Este valor está considerando la realidad de la resistencia de los materiales que se encuentran en nuestro medio, sin embargo hay que recalcar que el valor obtenido es muy similar al valor de la sección 2.3.2.

2.3.4. Deformaciones Unitarias

Con la finalidad de analizar las deformaciones que se presentan en las zonas de la sección reducida RBS en los patines de la viga, así como en las zonas de soldadura cercanas a la cara de la columna se procedió a colocar Straing Gauges, mismos que miden las deformaciones en las mismas incluso las que son imperceptibles al ojo humano.

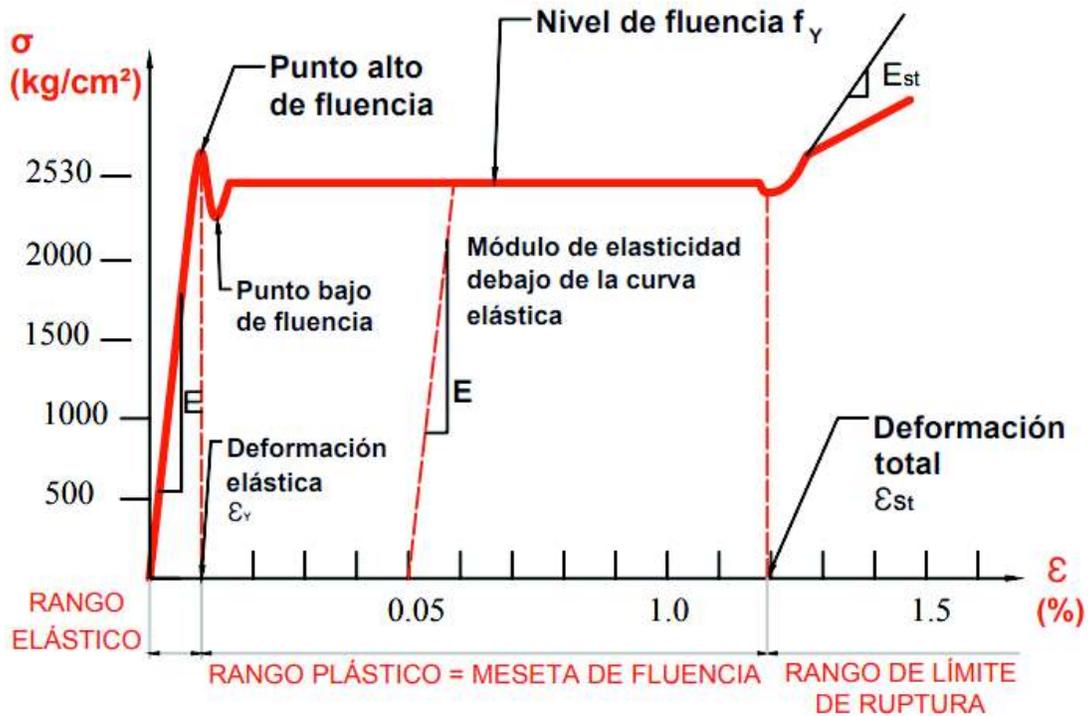


Figura 2-41.- Curva esfuerzo deformación para aceros de bajo contenido de carbono. (Gerdau-Corsa)

De la TABLA 2-5, se tiene que el valor del límite de fluencia promedio para el material base A36 es $F_y = 3177.15 \text{ Kg/cm}^2$, valor que correspondería al punto alto de fluencia que se puede observar en la Figura 2-41, con este valor se calculará la mayor deformación unitaria de la probeta en el rango elástico.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad \epsilon = \frac{3177.15 \text{ kg/cm}^2}{2100000 \text{ kg/cm}^2} 10^6 \quad \epsilon = 1512.93 \text{ um/m}$$

CAPITULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Probeta 1:

La Probeta 1 se refiere al modelo de conexión que fue construido utilizando platinas diagonales dentro de la columna RCFT, misma que se puede observar en la Figura 3-1 y que está lista para ser ensayada.



Figura 3-1.- Probeta 1 lista para ser ensayada

De los ensayos realizados a esta probeta, se pudo obtener los siguientes resultados siguiendo el protocolo de carga antes mencionado, mismos que se encuentran tabulados según la cantidad de carga dada a la probeta ensayada y el desplazamiento obtenido de acuerdo a cada ciclo del ensayo según lo que se observa en la TABLA 3-1, y los Gráfico 3-1, Gráfico 3-2.

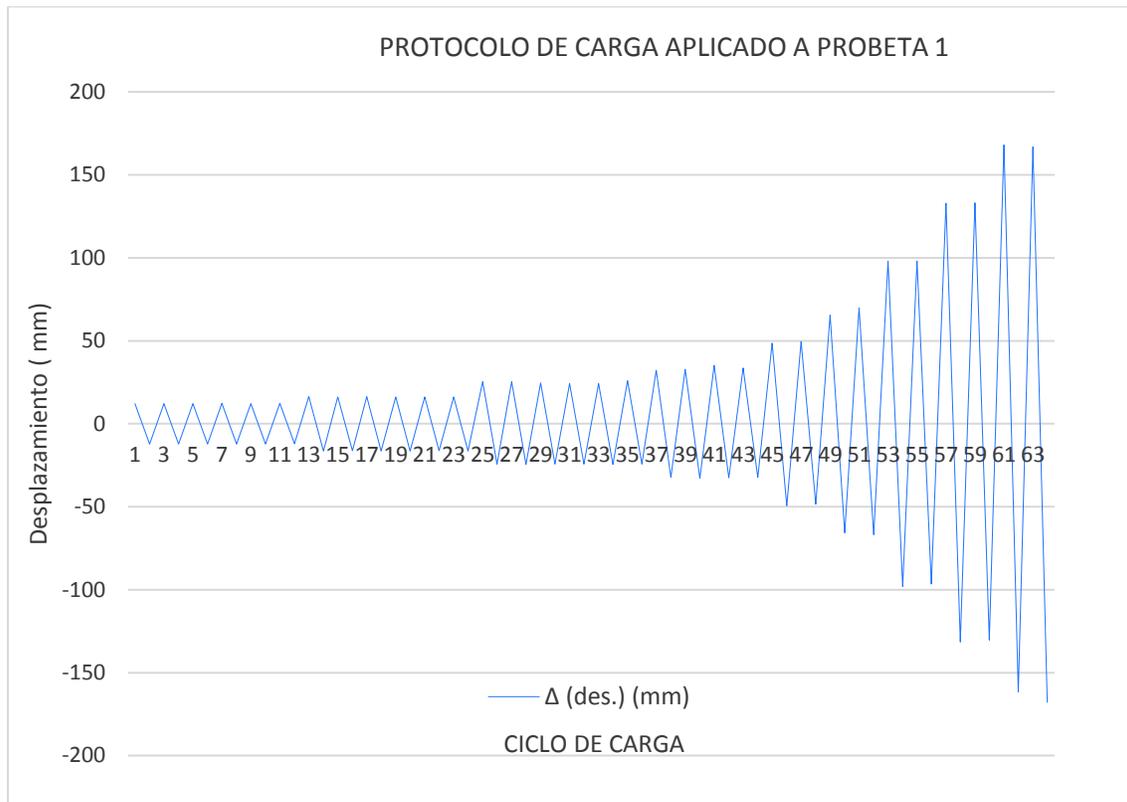


Gráfico 3-1.- Desplazamiento según protocolo de carga aplicado a Probeta 1

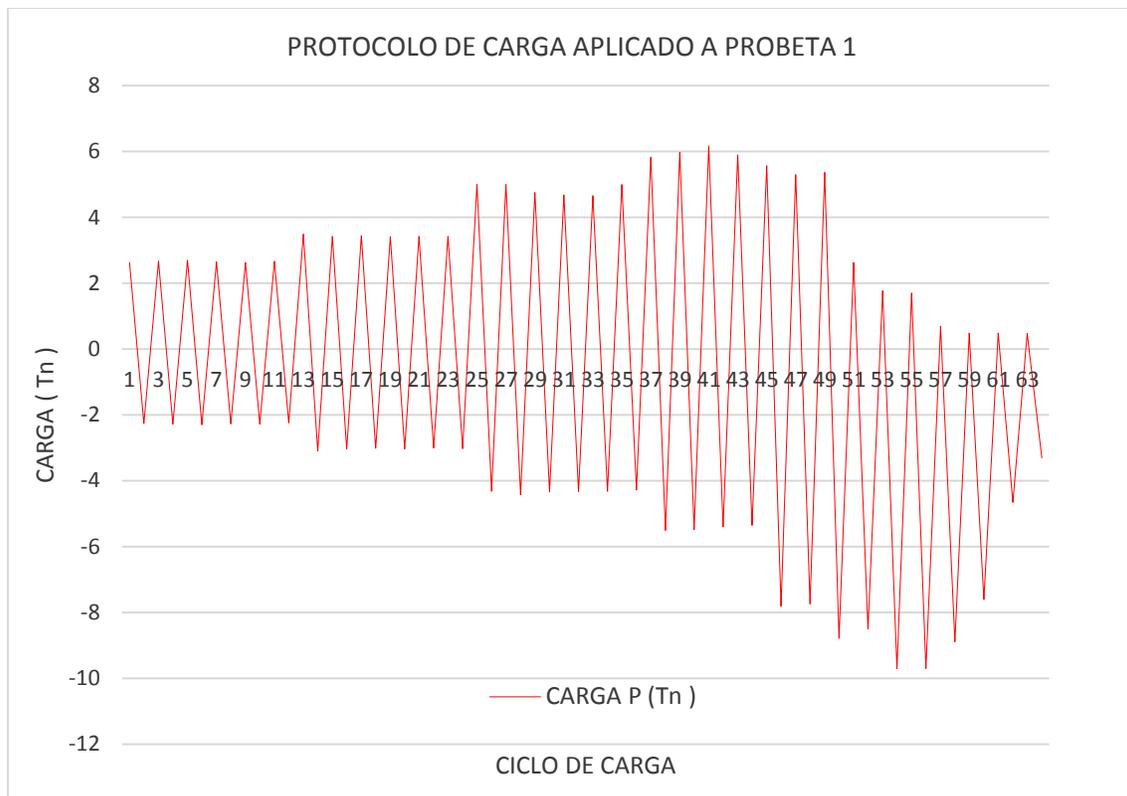


Gráfico 3-2.- Carga Aplicada según protocolo de carga a Probeta 1

TABLA 3-1.- Resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 1

		CARGA	Δ			CARGA	Δ			CARGA	Δ				
		P	(des.)			P	(des.)			P	(des.)				
		(Tn)	(mm)			(Tn)	(mm)			(Tn)	(mm)				
CICLO 1	1.1	2.63	12.24	CICLO 3	3.1	5.00	25.40	C6	6.1	5.36	65.40				
		-2.26	-12.15			-4.32	-24.20			-8.78	-65.80				
	1.2	2.67	12.20		3.2	5.00	25.33		6.2	2.63	69.80				
		-2.28	-12.22			-4.42	-24.47			-8.50	-66.80				
	1.3	2.70	12.23		3.3	4.76	24.60		7.1	1.77	98.00				
		-2.30	-12.20			-4.34	-24.20			-9.70	-98.03				
	1.4	2.65	12.27		3.4	4.68	24.21		7.2	1.70	98.00				
		-2.27	-12.24			-4.33	-24.27			-9.70	-96.70				
	1.5	2.63	12.12		3.5	4.66	24.22		8.1	0.70	133.00				
		-2.28	-12.28			-4.32	-24.39			-8.89	-131.50				
	1.6	2.67	12.27		3.6	5.00	25.98		8.2	0.49	133.10				
		-2.24	-12.10			-4.28	-24.20			-7.60	-130.40				
CICLO 2	2.1	3.49	16.42	CICLO 4	4.1	5.83	32.30	C8	9.1	0.49	168.10				
		-3.09	-16.42			-5.50	-32.38			-4.65	-161.67				
	2.2	3.42	16.21		4.2	5.97	32.93		9.2	0.48	167.00				
		-3.03	-16.22			-5.48	-32.94			-3.30	-168.00				
	2.3	3.44	16.30		4.3	6.17	35.24		C9						
		-3.01	-16.35			-5.40	-32.60								
	2.4	3.41	16.22		4.4	5.90	33.72								
		-3.03	-16.40			-5.35	-32.40								
	2.5	3.42	16.27		5.1	5.57	48.50								
		-3.00	-16.23			-7.80	-49.47								
	2.6	3.42	16.27		5.2	5.30	49.50								
		-3.02	-16.37			-7.74	-48.50								

Una vez aplicado el protocolo de carga se pudo obtener los resultados que se observan en la TABLA 3-1, a continuación en la TABLA 3-2 se puede visualizar la descripción de los daños en la Probeta ensayada de acuerdo al ciclo de carga.

TABLA 3-2 .- Descripción de daños obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 3

		CARGA P (Tn)	Δ (des.) (mm)	COMENTARIOS
C6	6.1	5.36	65.40	En este ciclo se nota fallas en la esquina del patín superior e inferior de la viga Figura 3-2 , Figura 3-3
		-8.78	-65.80	
	6.2	2.63	69.80	En este ciclo se aprecia pandeo en la cara de la columna y fallas en el área de soldadura entre columna y patín superior Figura 3-4
		-8.50	-66.80	
C7	7.1	1.77	98.00	En este ciclo se nota un mayor pandeo de la cara de la columna así como fallas de material base en la soldadura con el patín superior Figura 3-5
		-9.70	-98.03	
	7.2	1.70	98.00	En este ciclo se nota un pandeo negativo en la cara lateral de la columna Figura 3-6
		-9.70	-96.60	
C8	8.1	0.697	133.00	En este ciclo se aprecia la falla de material base en la soldadura en el patín superior con el pandeo correspondiente Figura 3-7
		-8.89	-131.50	
	8.2	0.488	133.10	En este ciclo se aprecia la falla del material base en casi todo el cordón de soldadura así como también se puede observar la falla de soldadura en las diagonales internas Figura 3-8
		-7.60	-130.40	
C9	9.1	0.488	168.10	En este ciclo se aprecia desgarró del material de la cara de la columna en el patín superior así como las fallas en cordón de soldadura de diagonales Figura 3-9
		-4.65	-161.67		En este ciclo se puede apreciar desgarró del material base en el área de la soldadura con el patín inferior de la viga Figura 3-10
	9.2	0.479	167.00	En este ciclo se aprecia un desgarró mayor del material de la cara de la columna así como se puede observar la falla de soldadura en diagonales Figura 3-11
		-3.300	-168.00		En este ciclo se aprecia la falla de material base en la soldadura con patín inferior así como falla del material base en soldadura con diagonales Figura 3-12

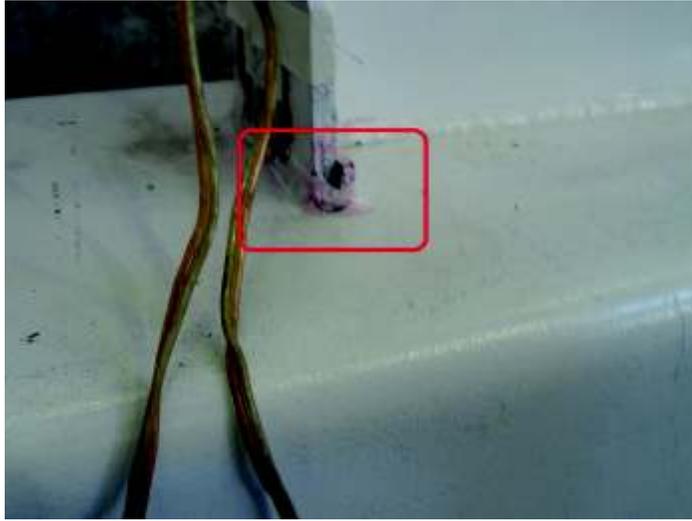


Figura 3-2.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 1



Figura 3-3.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 1

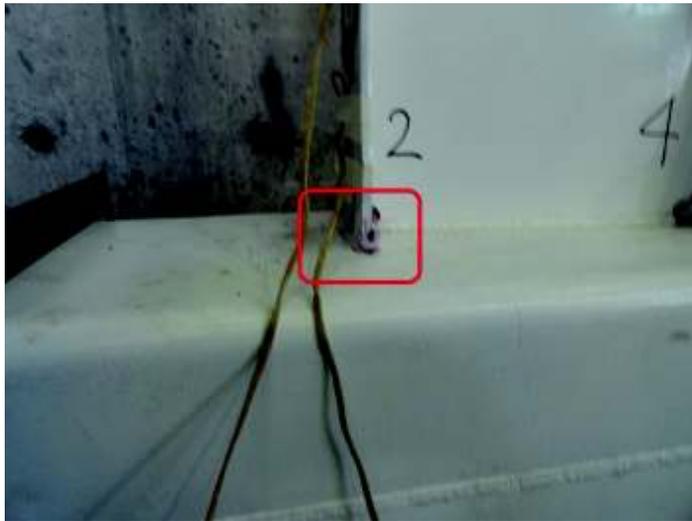


Figura 3-4.- Falla en ciclo 6.2 Probeta 1

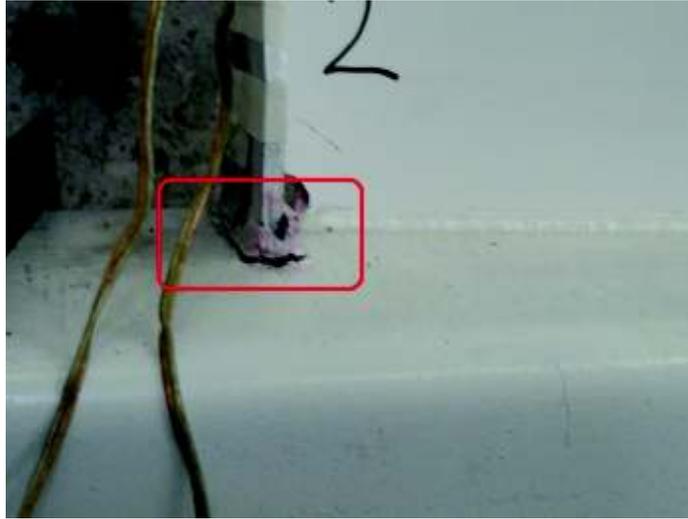


Figura 3-5.- Falla en ciclo 7.1 Probeta 1



Figura 3-6.- Falla en ciclo 7.2 Probeta 1

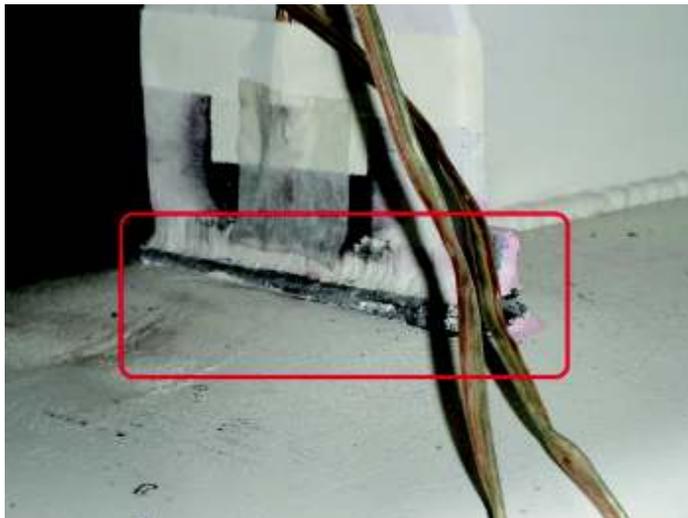


Figura 3-7.- Falla en ciclo 8.1 Probeta 1

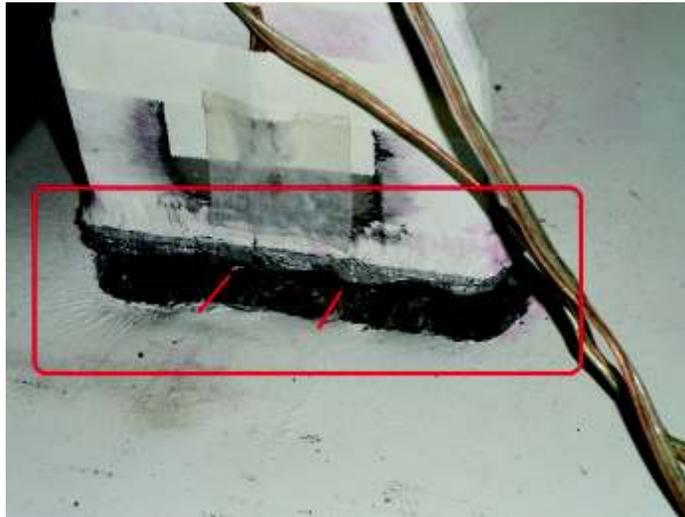


Figura 3-8.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 1

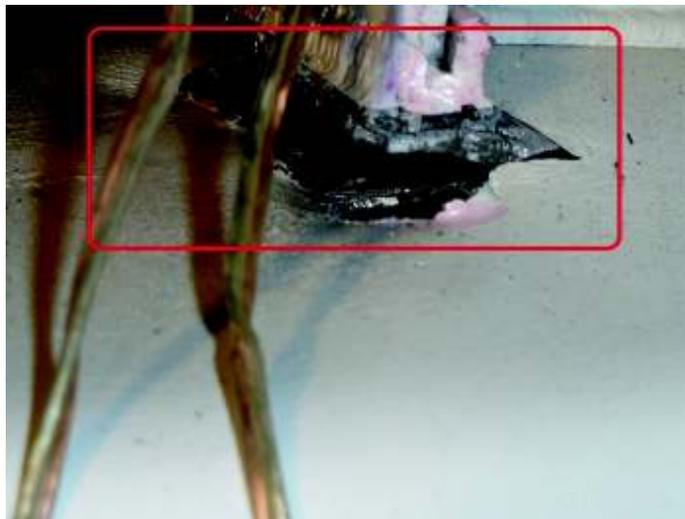


Figura 3-9.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 1

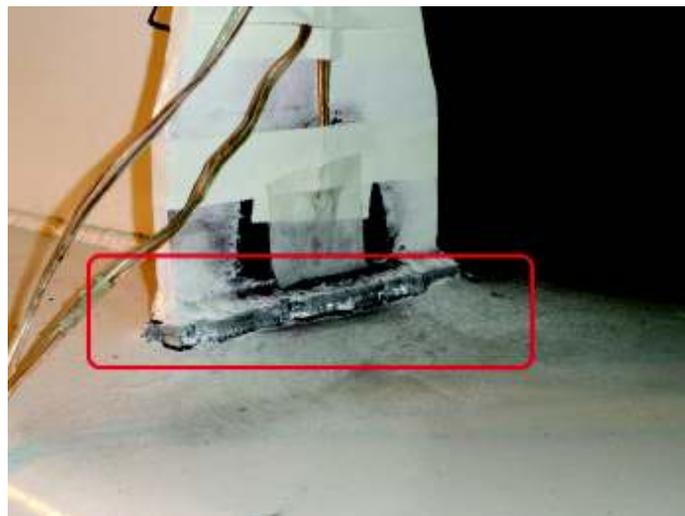


Figura 3-10.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 1

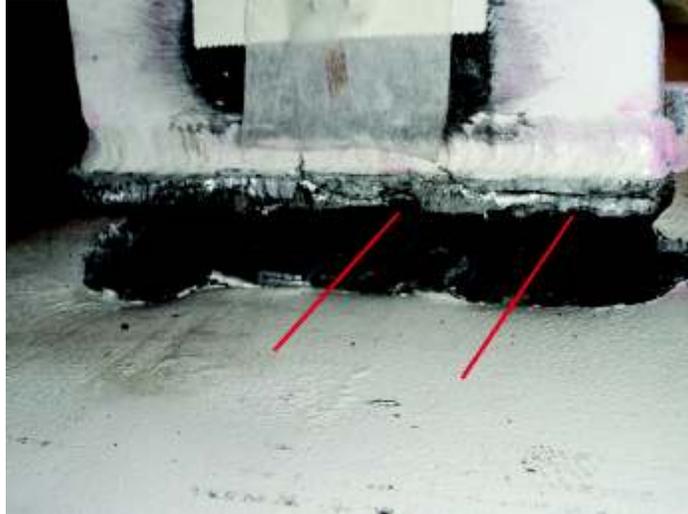


Figura 3-11.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 1

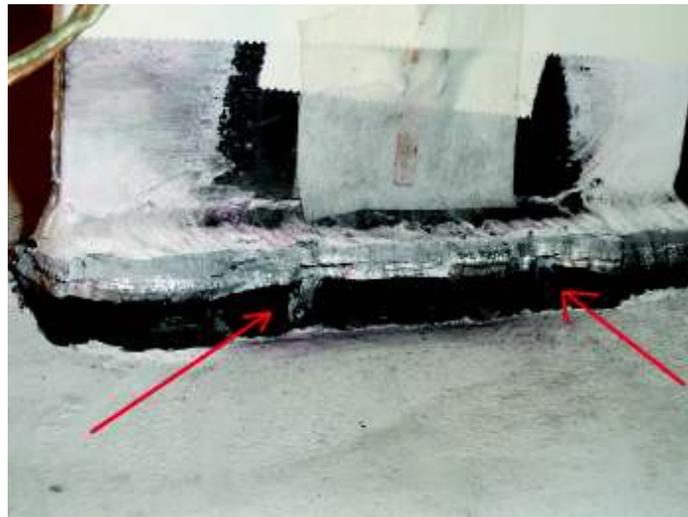


Figura 3-12.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 1



Figura 3-13.- Desplazamiento de Probeta 1 en Ciclo 9.2

3.1.1. Histéresis de Probeta 1.-

Una vez obtenidos todos los datos del ensayo realizado a la Probeta 1, se procede a procesarlos y a corregirlos obteniendo las Histéresis de Carga vs Desplazamiento que se muestra en el Gráfico 3-3, y la Histéresis de Momento vs Giro que se muestra en el Gráfico 3-4.

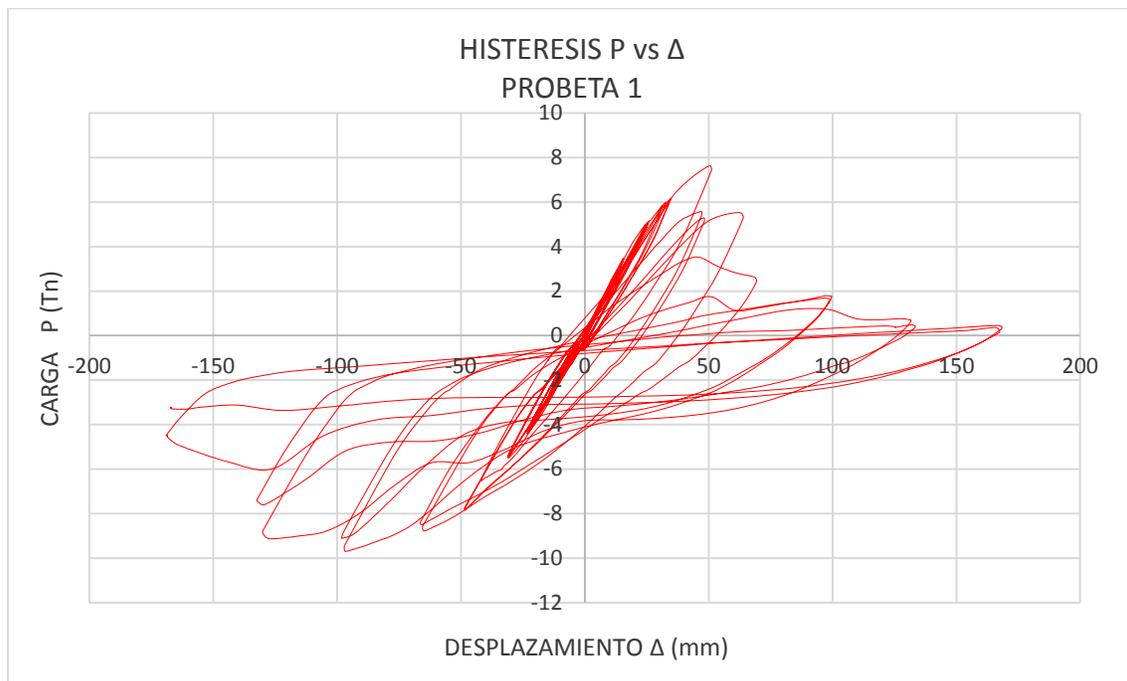


Gráfico 3-3.- Histéresis P vs Δ de la Probeta 1

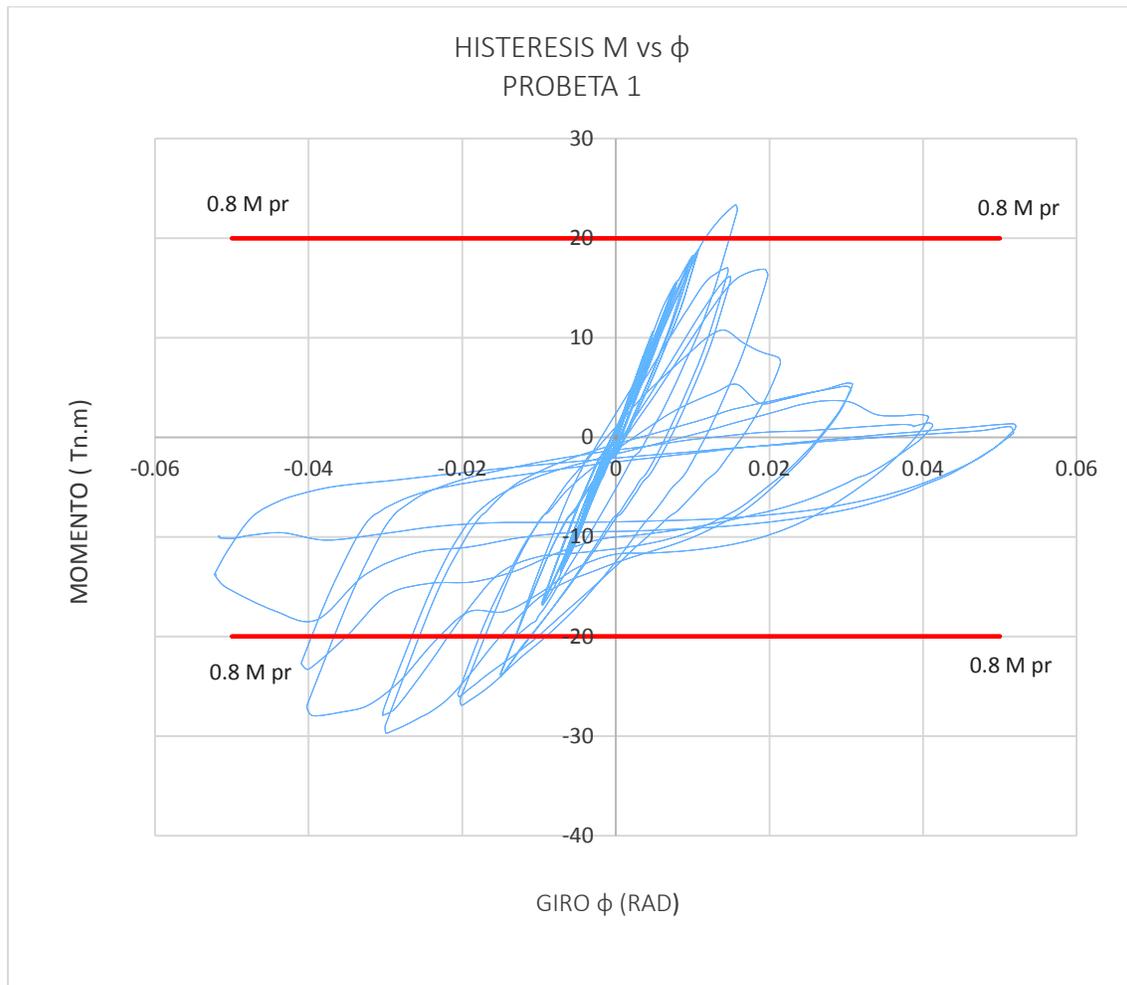


Gráfico 3-4.- Histéresis M vs ϕ de la Probeta 1

De los datos con los que se obtuvo la Histéresis, mostradas en los gráficos anteriores se obtiene el siguiente resumen de datos mismos que se pueden observar en la TABLA 3-3, y el Gráfico 3-5.

TABLA 3-3.- Resumen de resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 1

PROBETA 1				
	Carga P (Tn)	Desplazamiento Δ (mm)	Momento M (Tn.m)	Giro ϕ (Rad)
	0.4806	129.32	1.4696	0.04
	5.3675	64.66	16.4138	0.02
Max (+)	7.6298	50.2903	23.3318	0.0156
	0	0	0	0
	-8.7937	-64.66	-26.8912	-0.02
Max (-)	-9.7047	-96.5838	-29.6769	-0.0299
	-9.1407	-129.32	-27.9524	-0.04

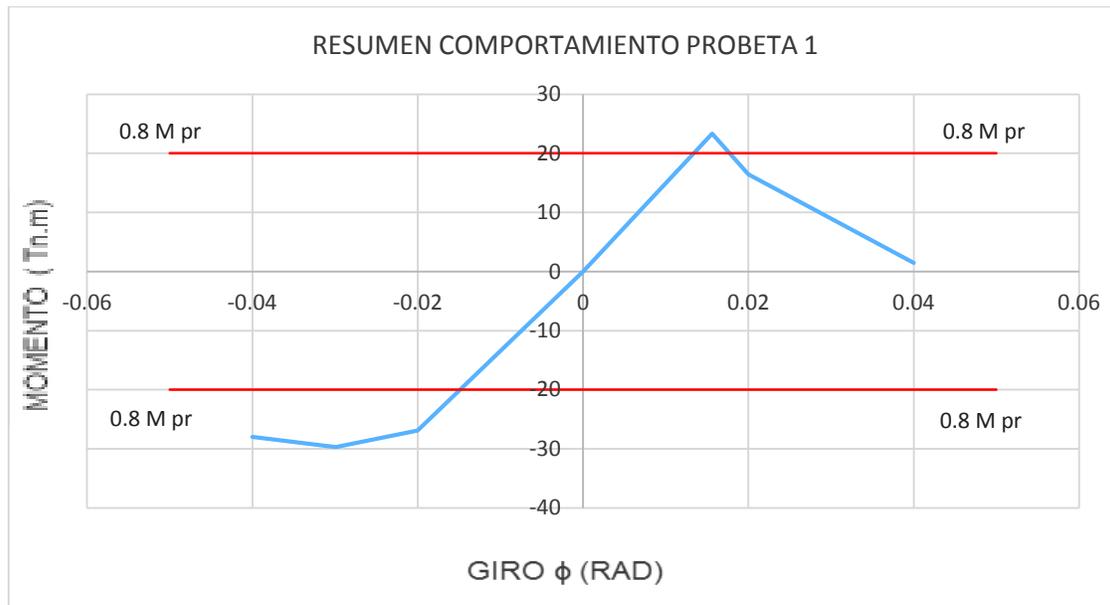


Gráfico 3-5.- Resumen del comportamiento de la Probeta 1 M vs ϕ

3.1.1.1 Discusión de los Resultados obtenidos de las Histéresis de la Probeta 1

Según se indicó anteriormente la probeta ensayada debe soportar un momento flector en la cara de la columna superior al 80% del momento de plastificación de la viga, para una rotación de 0.02 radianes para calificar como Conexión a Momento Parcialmente Restringida (PR) y 0.04 radianes, para calificar como una Conexión a Momento Completamente Restringida (FR), de acuerdo a lo que señala (ANSI/AISC 341-10, 2012).

Según (ANSI/AISC 358-16, 2016) se tiene que el momento probable plástico (M_{pr}) en la rótula plástica para una conexión RBS, es el calculado en la sección 2.3.2, valor que se señala a continuación; en el Gráfico 3-4 y en el Gráfico 3-5 se ha incluido el 80 % de ese valor (línea roja) .

$$M_{pr} = 25.02 \text{ Tn.m} \quad 0.8 * M_{pr} = 20.02 \text{ Tn.m}$$

En las curvas de histéresis de esta probeta se puede observar que existe un comportamiento asimétrico en la misma, esto debido probablemente a la falla en la soldadura de las diagonales internas en la cara de la columna en el sector del patín superior, esta falla se presenta en forma temprana en la aplicación del protocolo de carga la cual se puede observar con mayor precisión en la Figura 3-11, esta falla no se presenta en las diagonales internas que se ubican en el patín inferior ya que en estas

diagonales existe una falla de material, la cual se presenta mucho más adelante en la aplicación del protocolo de carga tal como se aprecia en la Figura 3-12, esta falla en la soldadura de las diagonales internas ubicadas en el patín superior de la viga, es la que ocasiona que al aplicar cargas positivas mediante el gato hidráulico de dos vías, se tenga que a menor carga exista un mayor desplazamiento, esto debido a que ya no existe la vinculación entre la columna y las diagonales en ese sentido, lo que ocasiona un pandeo en la cara de la columna, mientras que en el otro sentido al no existir esta falla se presenta un mejor comportamiento como se observa en el resumen de la TABLA 3-3.

Visto el Gráfico 3-4, la TABLA 3-3 y el Gráfico 3-5, se puede indicar que la Probeta 1 solo calificaría como una conexión (FR) para Momentos y Giros negativos, mientras que para Momentos y Giros positivos no calificaría ni como conexión (PR), dicho esto y ya que el comportamiento de la Probeta no es simétrico se puede decir que el tipo de conexión utilizada en esta probeta no satisface las condiciones solicitados por la norma (ANSI/AISC 341-10), por lo que este tipo de conexión no califica ni como conexión (FR) ni como conexión (PR).

3.1.2. Deformaciones Unitarias Ocurridas en Probeta 1

En la Probeta 1 se obtuvieron las deformaciones unitarias de los patines en la zona cercana a la soldadura con la columna y en el centro de la zona de sección reducida, medidos mediante la colocación de Straing Gauges, los que se encuentran distribuidos como se indica en la Figura 3-14, Figura 3-15, Figura 3-16, mediante estos se pudo obtener las curvas de las histéresis de Carga vs. Deformación unitaria que se muestran en los Gráfico 3-6, Gráfico 3-7, Gráfico 3-8, Gráfico 3-9

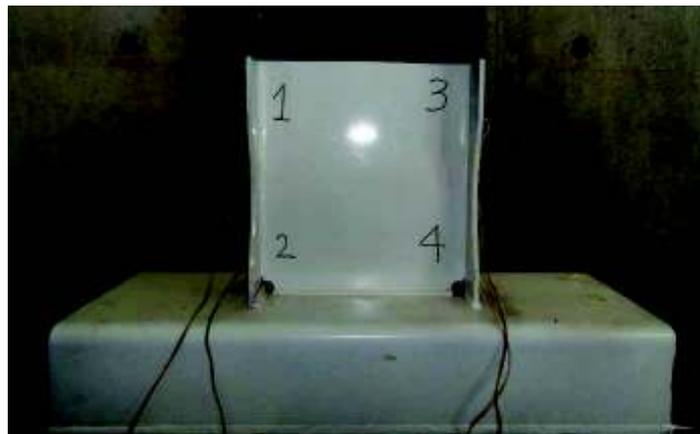


Figura 3-14.- Enumeración de Straing Gauges Probeta 1



Figura 3-15.- Enumeración de Straing Gauges Patín Superior Probeta 1



Figura 3-16.- Enumeración de Straing Gauges Patín Inferior Probeta 1

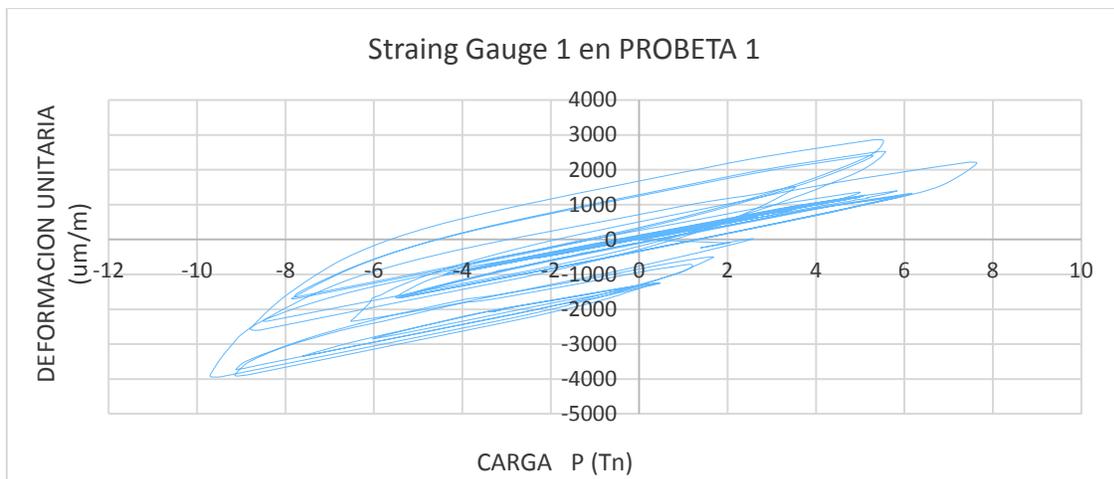


Gráfico 3-6.- Deformación unitaria en SG1 de Probeta 1

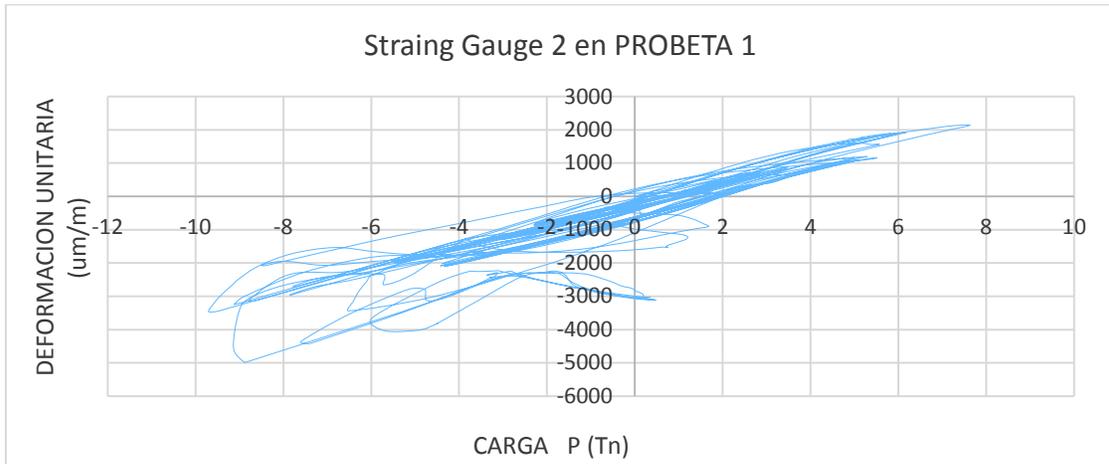


Gráfico 3-7.- Deformación unitaria en SG2 de Probeta 1

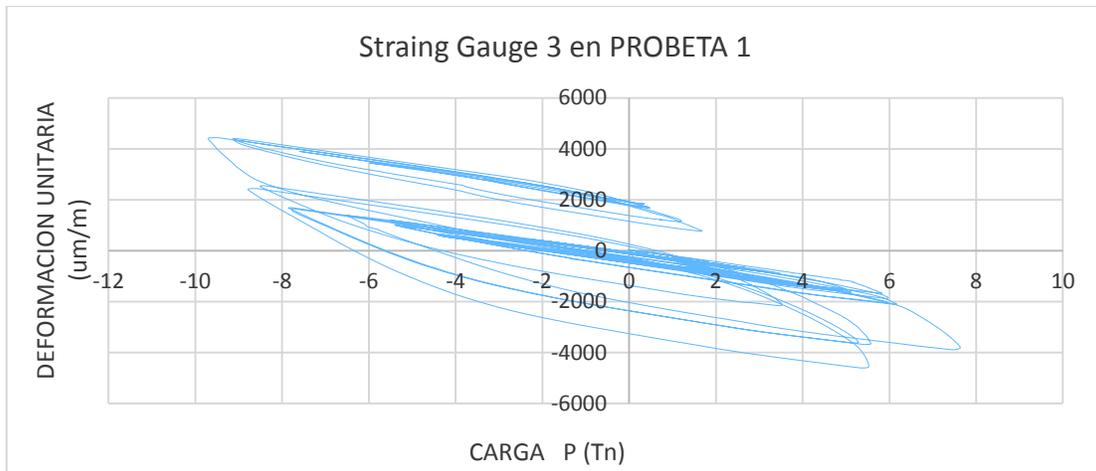


Gráfico 3-8.- Deformación unitaria en SG3 de Probeta 1

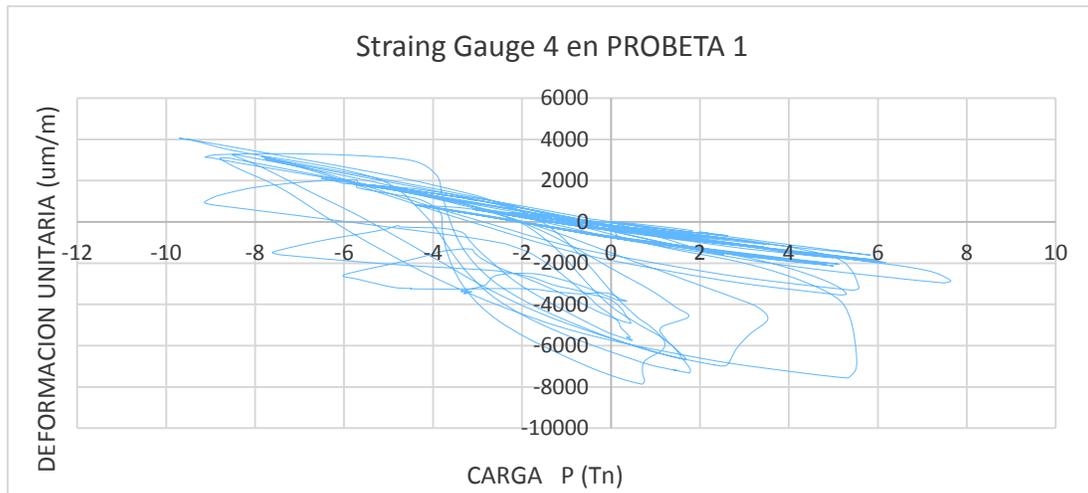


Gráfico 3-9.- Deformación unitaria en SG4 de Probeta 1

3.1.2.1 Discusión de los valores de deformaciones unitarias obtenidas en Probeta 1

En lo concerniente a las deformaciones unitarias, de las Curvas Histeréticas obtenidas en el Gráfico 3-6 y en el Gráfico 3-8 que corresponden a los Straing Gauges colocados en el centro de la sección reducida de la viga, se observa que existe una deformación unitaria máxima en el orden de los $\epsilon = 4000 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$, la que ocasiona una deformación plástica teniendo en cuenta que la deformación unitaria máxima en el rango elástico es $\epsilon = 1512.93 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$, esta deformación plástica es imperceptible ya que en la inspección visual realizada a la Probeta 1 en la zona de la sección reducida de la viga no se observó ningún tipo de plastificación, ni la formación de la rótula plástica esperada. Las deformaciones unitarias en la zona cercana a la soldadura entre la columna y la viga que se aprecian en el Gráfico 3-7 y en el Gráfico 3-9 presentan una deformación unitaria mayor en el orden de $\epsilon = 8000 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$, esto deformación unitaria mayor se debe a que la falla en estos sectores se dio por agotamiento del material base y soldadura en la cara de la columna mismas que se mencionó anteriormente.

3.1.3. Resultados de Esfuerzos obtenidos en la Probeta 1 a partir del uso de métodos finitos (MEF) mediante la aplicación del Programa SolidWorks.

Mediante la modelación de la Probeta 1 utilizando elementos finitos (MEF), considerando las características de materiales, restricciones, así como sus dimensiones, al usar en el Programa SolidWorks la mayor carga obtenida del ensayo realizado, se obtuvo las siguientes figuras que ilustran el comportamiento de la conexión.

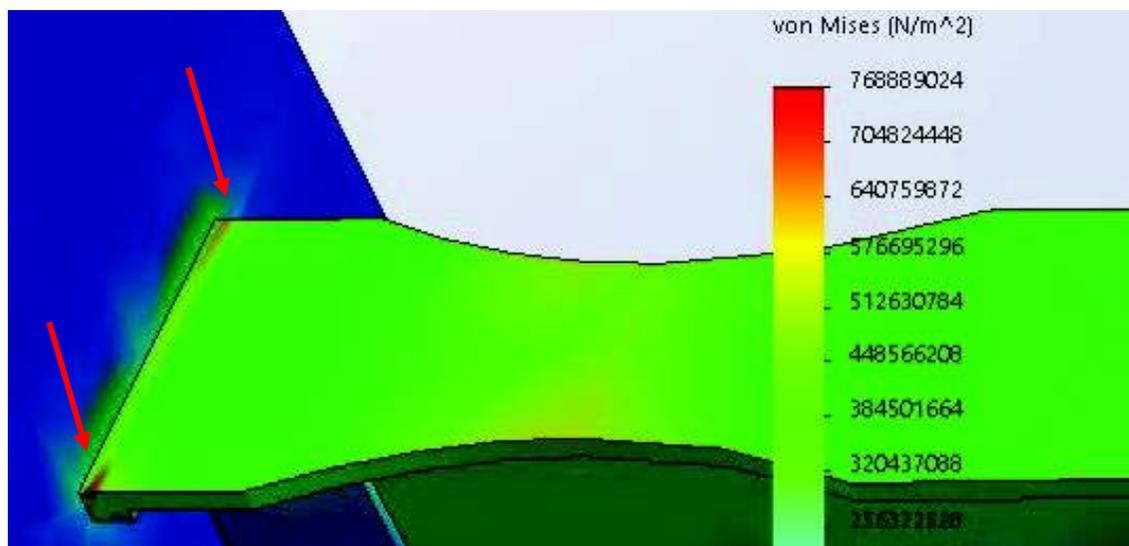


Figura 3-17.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista en planta Probeta 1

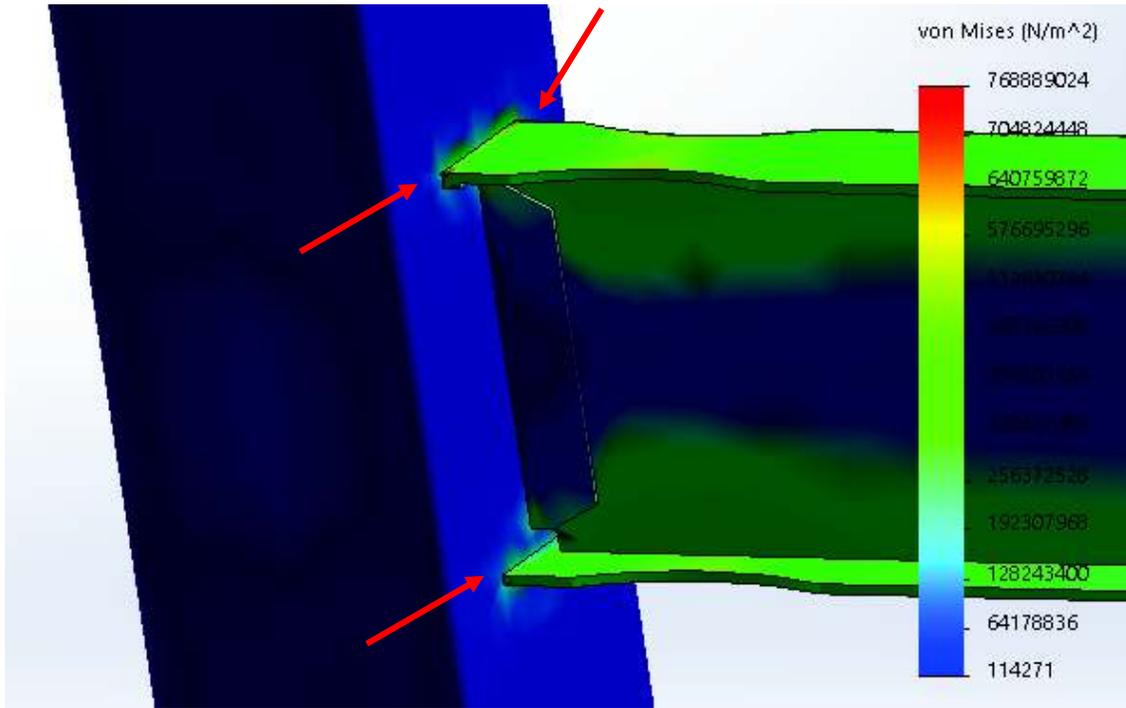


Figura 3-18.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista en alzado Probeta 1

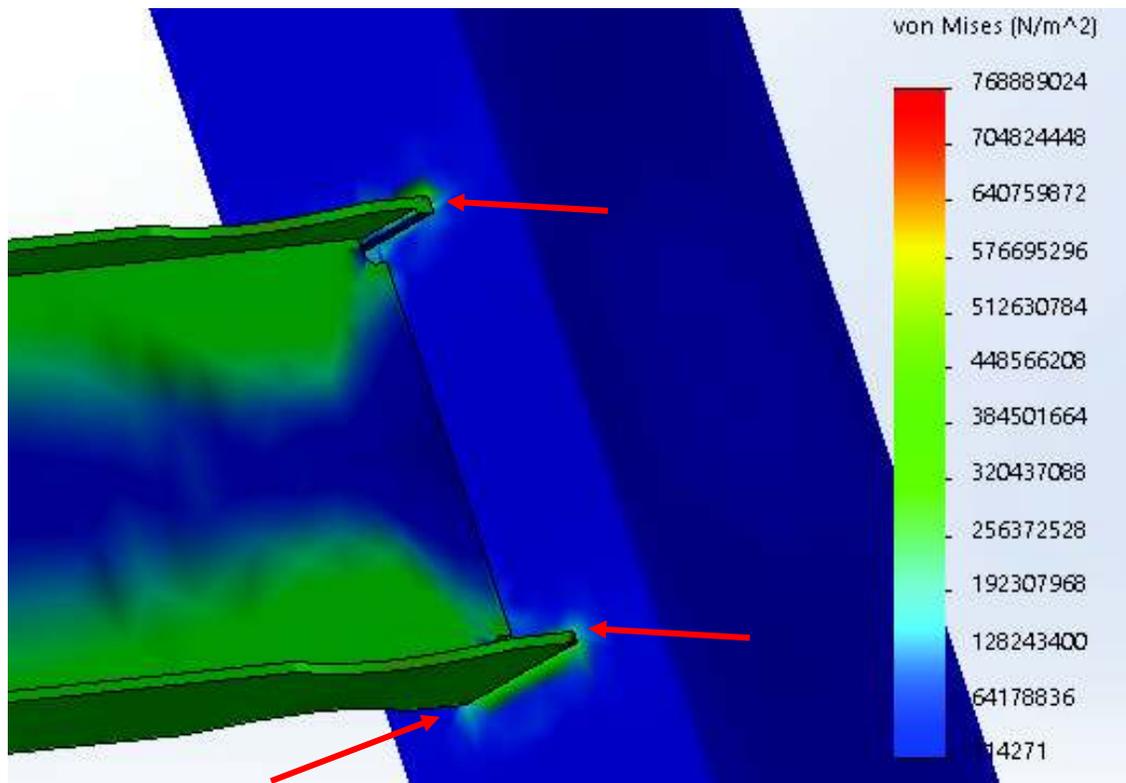


Figura 3-19.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista posterior Probeta 1

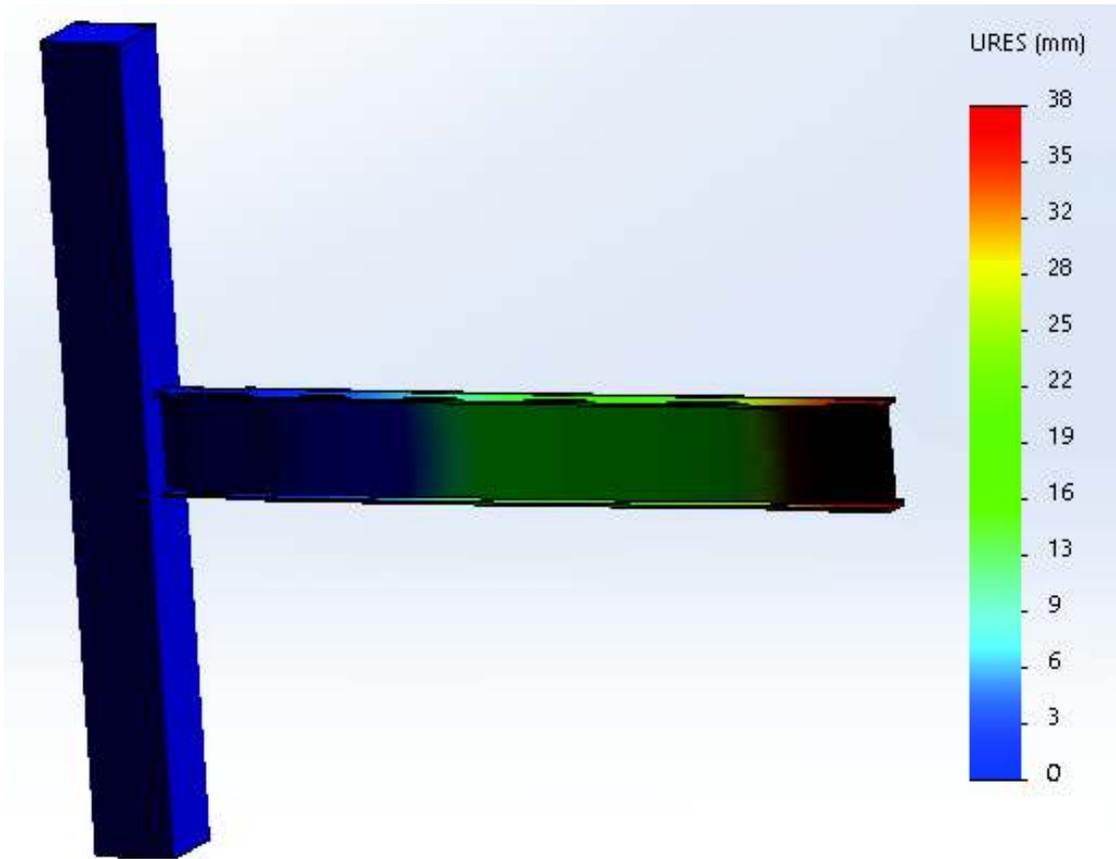


Figura 3-20.- Análisis No Lineal. Desplazamientos Probeta 1

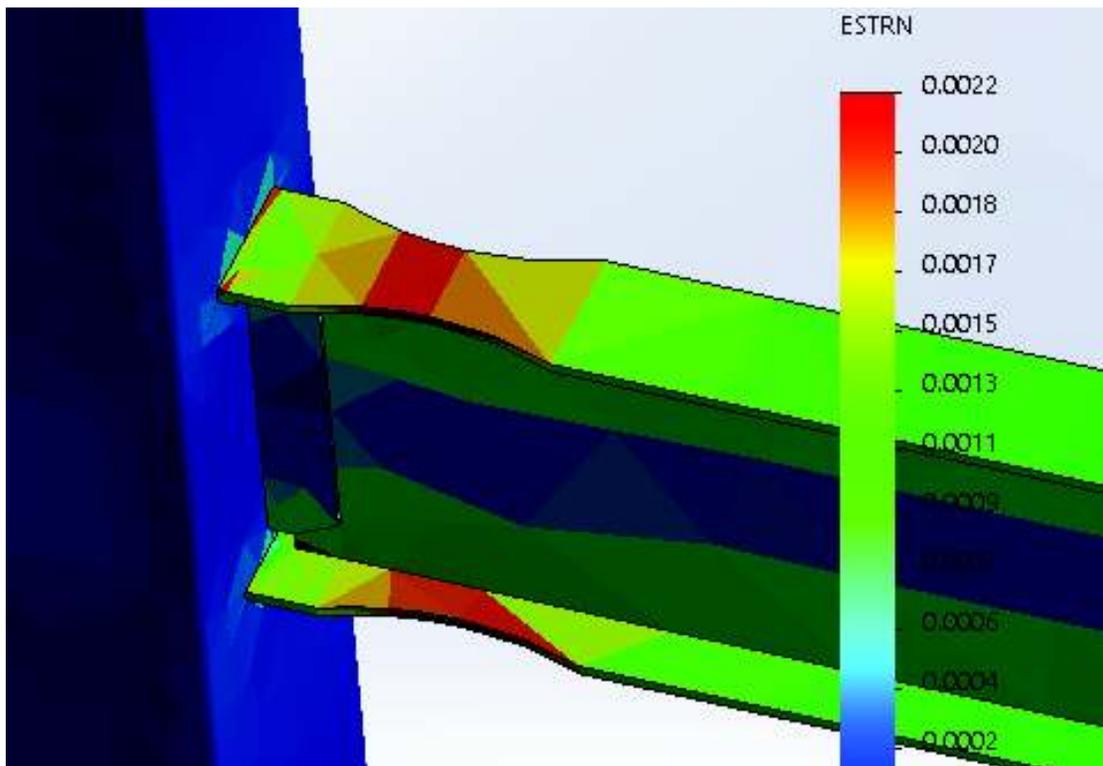


Figura 3-21.- Análisis No Lineal. Deformaciones Unitarias Probeta 1

3.1.3.1 Análisis de los esfuerzos obtenidos en la Probeta 1 a partir del Uso de métodos finitos (MEF) mediante la aplicación del Programa SolidWorks

De los resultados obtenidos a partir del uso de métodos finitos, mediante el programa SolidWorks de acuerdo a los esfuerzos de Von Mises, se puede observar que en la Probeta 1 los mayores esfuerzos se presentan en las esquinas de los patines de la viga sean estos superiores o inferiores, tal como se puede apreciar en la Figura 3-17, Figura 3-18 y en la Figura 3-19.

Los esfuerzos que se presentan en el modelo de la probeta ensayada están en el orden de los $768.89 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, esfuerzos muy superiores al esfuerzo ultimo promedio del material base de acero A36 señalado en la Sección 2.3.3, y del esfuerzo ultimo del material de aporte dado por el cordón de soldadura con el electrodo E7018 que es de $F_u = 70 \text{ Ksi} = 482.63 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, valor tomado del catálogo de los electrodos West Arco (Soldarco, 2015), materiales que fueron utilizados en la elaboración de esta probeta, con los resultados antes mencionados se tiene la relación de esfuerzos que se resume en la TABLA 3-4.

TABLA 3-4.- Comparación de los esfuerzos obtenidos a partir de MEF de la probeta 1 en relación a los esfuerzos últimos del material base A36 y el material de aporte E7018

PROBETA 1		
$\sigma \text{ max} =$	$7.69\text{E}+08 \text{ N/m}^2$	$\sigma \text{ max} / F_u$
(A36) $F_u =$	$4.78\text{E}+08 \text{ N/m}^2$	160.88 %
(E7018) $F_u =$	$4.82\text{E}+08 \text{ N/m}^2$	159.54 %

Según lo detallado en la TABLA 3-4 se nota que el esfuerzo que se produce en las esquinas de los patines es un 60.88% superior al F_u del material base A36, y un 59.54% superior al F_u del material de aporte dado por el electrodo E7018, razón por la cual la falla de la conexión empieza en estos sectores debido a ese sobre esfuerzo, provocando daños en el material base y la soldadura como se observa en las figuras anteriores respecto al ensayo realizado, está falla por sobre esfuerzo en las esquinas de los patines es la que impide que se forme la rótula plástica de la manera esperada, ya que al seguir aplicando el protocolo de carga, se aprecia que la falla continua por estos sectores ya que están mucho más esforzados, provocando la falla total en soldaduras y en el material base como se pudo apreciar en las figuras anteriores.

3.1.4. Comparación de desplazamientos de la probeta 1.

Con la finalidad de validar el modelo realizado en SolidWorks, así como también comparar el desplazamiento experimental obtenido en la Probeta 1, se definió un modelo básico realizado en ETABS considerando la columna compuesta RCFT de dimensiones 350x350x8 mm y la Viga metálica Tipo I 150x10x400x6 mm, este modelo cuenta con las mismas dimensiones de la probeta ensayada, así como las restricciones en sus puntos de apoyo, en la conexión viga columna se colocó las características de una conexión RBS; además se realizó un modelo de la Probeta 1 en SAP2000, de similar forma que en el ETABS señalando que en este programa no se puede colocar la conexión RBS, a estos modelos se le aplicó la carga máxima que resistió la probeta ensayada a fin de obtener valores de desplazamiento, que junto al valor que se obtuvo en SolidWorks serán comparados con el desplazamiento experimental obtenido. Estos resultados se muestran en la TABLA 3-5.

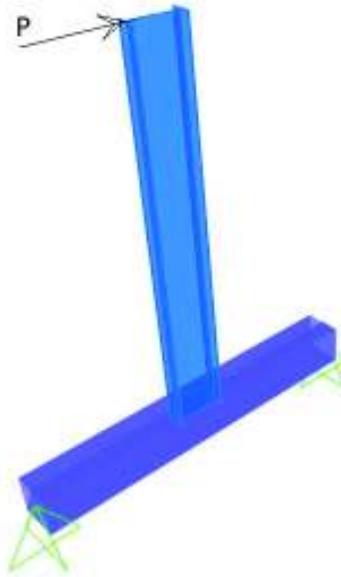


Figura 3-22.- Modelo Básico (Etabs, Sap2000) para obtener un desplazamiento Δ (mm) debido a una carga P(Tn)

TABLA 3-5.- Resultados de desplazamientos obtenidos en la Probeta 1

PROBETA 1			
	Carga P (Tn)	Desplazamiento Δ (mm)	Diferencia %
Probeta Ensayada	9.7047	96.584	100.000
Modelo en ETABS RBS	9.7047	40.707	42.147
Modelo SAP2000	9.7047	39.594	40.994
Modelo SolidWorks	9.7047	38.000	39.343

3.1.4.1 Análisis de los resultados de desplazamiento obtenidos de la probeta 1.

De la comparación realizada a los desplazamientos obtenidos en los programas ETABS, SAP2000, SolidWorks y el desplazamiento que se obtuvo en el ensayo experimental, se puede notar que dicho desplazamiento es mucho mayor que lo obtenido en estos programas, tal como se observa en la TABLA 3-5, el valor de desplazamiento obtenido de los modelos realizados en estos programas solo llega alrededor del 40 % del desplazamiento del ensayo experimental, donde se observa que el modelo en ETABS presenta un desplazamiento mayor al del SAP2000, esto debido a que en el ETABS se puede simular la conexión viga columna RBS, mientras que en el SAP2000 no se cuenta con dicha herramienta; el desplazamiento encontrado mediante el uso de estos programas es similar al desplazamiento encontrado mediante la aplicación del programa SolidWorks, lo que validaría los modelos realizados, sin embargo el hecho de que en el ensayo experimental se tenga un desplazamiento mayor con la misma carga se debe a que dichos programas no pueden predecir las fallas de materiales y soldaduras que se presentaron en el ensayo experimental.

3.2. Probeta 2:

La Probeta 2 se refiere al modelo de conexión con un anillo de placas colocadas alrededor de la columna compuesta RCFT de manera paralela a la cara de la columna en la zona de conexión con la viga metálica tipo I, misma que se puede observar en la Figura 3-23 y que está lista para ser ensayada.

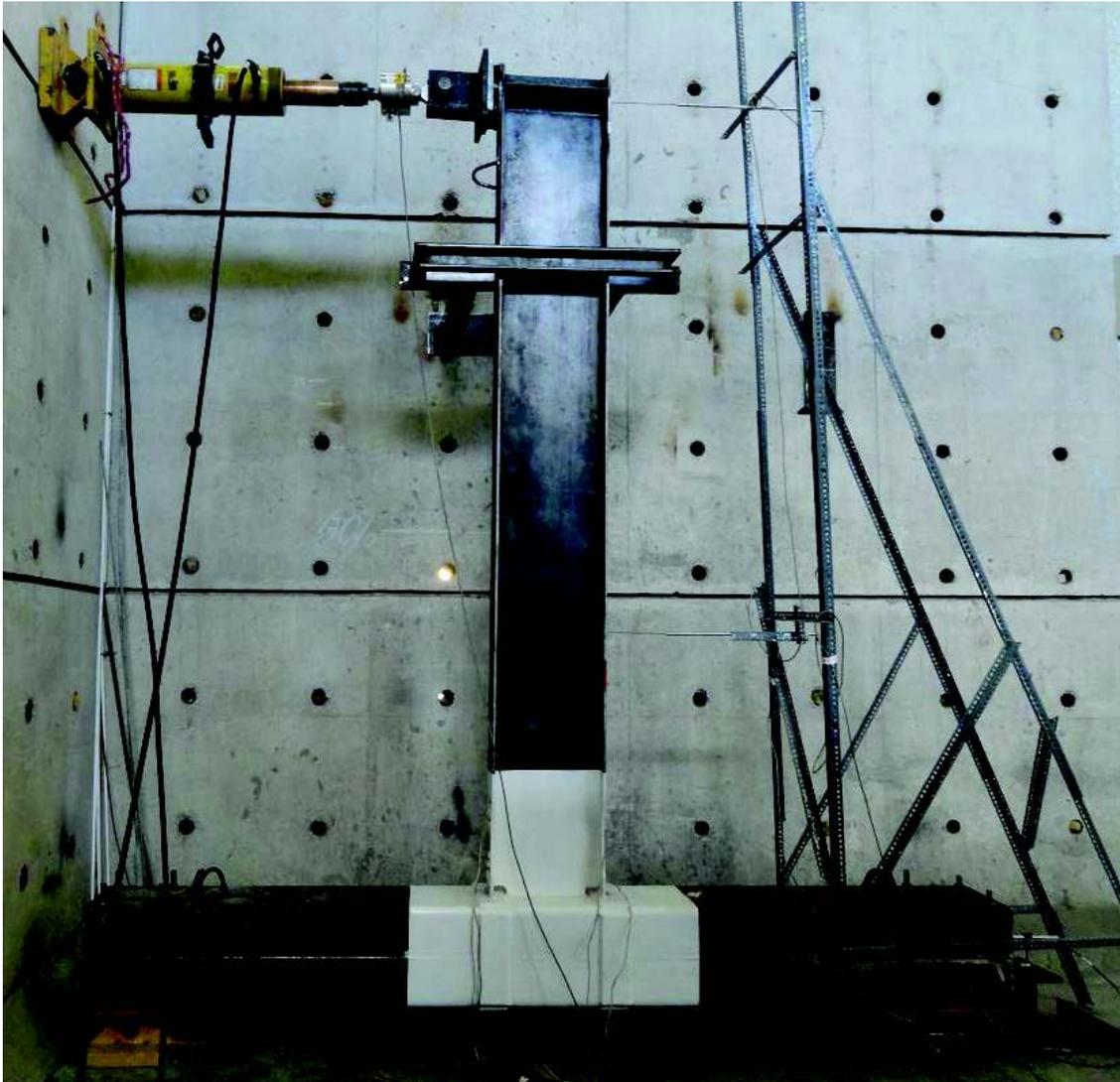


Figura 3-23.- Probeta 2 lista para ser ensayada

De los ensayos realizados a esta probeta, se pudo obtener los siguientes resultados siguiendo el protocolo de carga antes mencionado, mismos que se encuentran tabulados según la cantidad de carga dada a la probeta ensayada y el desplazamiento obtenido de acuerdo a cada ciclo del ensayo según lo indicado en la TABLA 3-6 y los Gráfico 3-10, Gráfico 3-11.

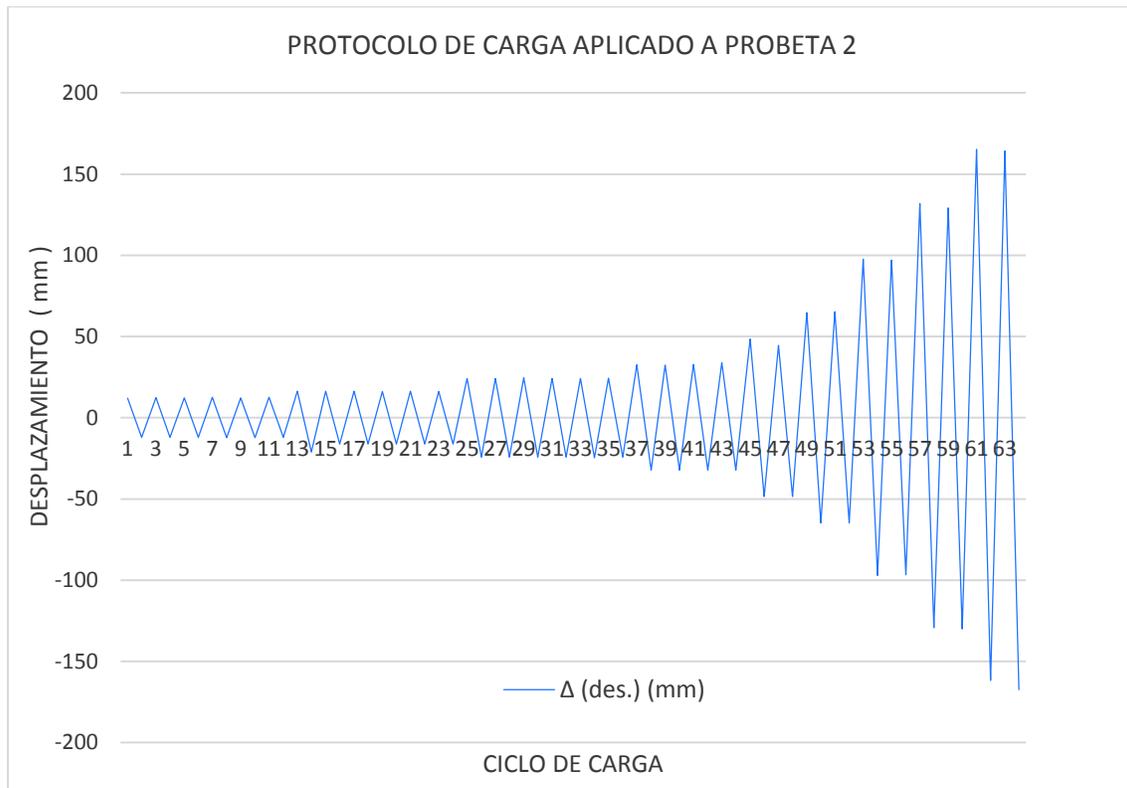


Gráfico 3-10.- Desplazamiento según protocolo de carga aplicado a Probeta 2

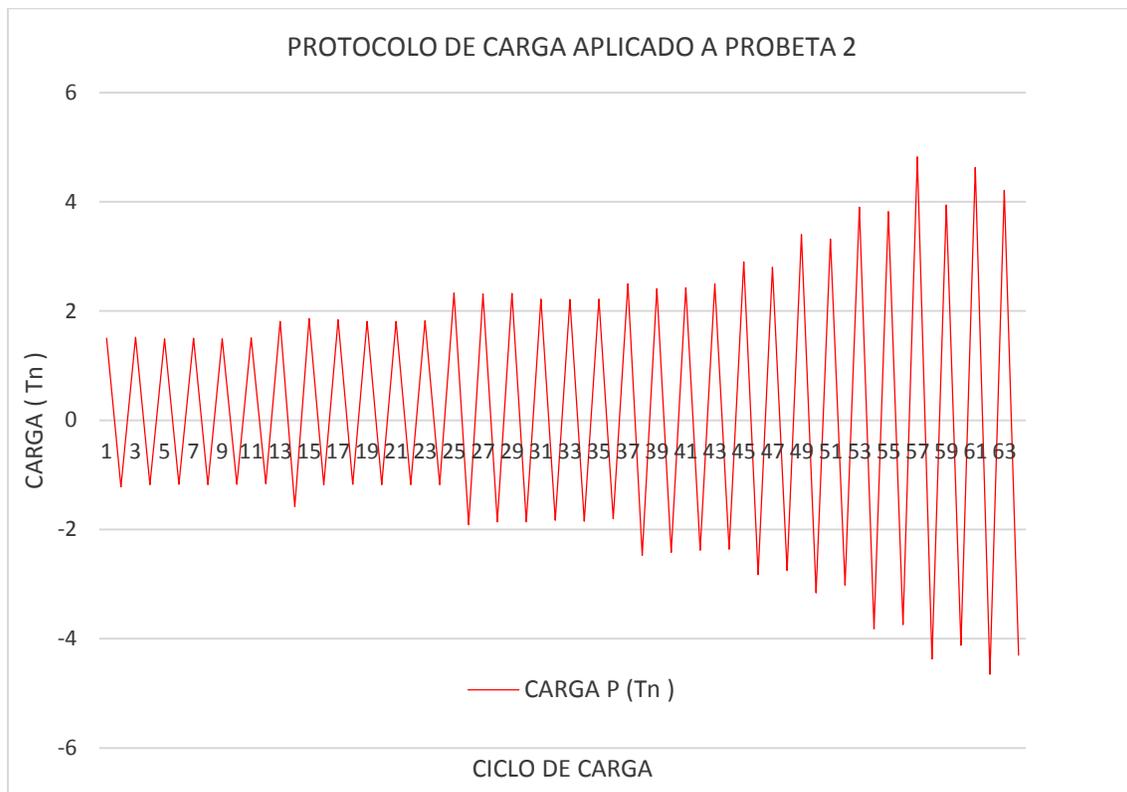


Gráfico 3-11.- Carga Aplicada según protocolo de carga a Probeta 2

TABLA 3-6.- Resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 2

		CARGA P (Tn)	Δ (des.) (mm)			CARGA P (Tn)	Δ (des.) (mm)			CARGA P (Tn)	Δ (des.) (mm)
CICLO 1	1.1	1.50	12.06	CICLO 3	3.1	2.33	24.22	C6	6.1	3.40	64.70
		-1.22	-12.11			-1.91	-24.27			-3.16	-64.70
	1.2	1.52	12.32		3.2	2.31	24.23		6.2	3.32	65.23
		-1.18	-12.07			-1.86	-24.25			-3.02	-64.70
	1.3	1.49	12.17		3.3	2.32	24.52		7.1	3.90	97.60
		-1.17	-12.16			-1.86	-24.25			-3.82	-97.17
	1.4	1.50	12.53		3.4	2.22	24.18		7.2	3.82	97.00
		-1.18	-12.24			-1.83	-24.26			-3.74	-96.70
	1.5	1.49	12.19		3.5	2.21	24.24		8.1	4.82	131.90
		-1.17	-12.20			-1.85	-24.54			-4.37	-129.30
	1.6	1.51	12.51		3.6	2.22	24.29		8.2	3.94	129.23
		-1.16	-12.14			-1.80	-24.28			-4.12	-129.95
CICLO 2	2.1	1.81	16.22	CICLO 4	4.1	2.50	32.52	C7	7.1	3.90	97.60
		-1.58	-21.10			-2.47	-32.30			-3.82	-97.17
	2.2	1.86	16.30		4.2	2.41	32.32		7.2	3.82	97.00
		-1.18	-16.27			-2.42	-32.32			-3.74	-96.70
	2.3	1.84	16.26		4.3	2.43	32.67		8.1	4.82	131.90
		-1.17	-16.18			-2.38	-32.33			-4.37	-129.30
	2.4	1.81	16.21		4.4	2.50	33.96		8.2	3.94	129.23
		-1.18	-16.27			-2.36	-32.26			-4.12	-129.95
	2.5	1.81	16.22		5.1	2.90	48.50		9.1	4.63	165.17
		-1.18	-16.28			-2.83	-48.56			-4.65	-161.67
	2.6	1.82	16.20		5.2	2.80	44.60		9.2	4.21	164.12
		-1.18	16.22			-2.75	-48.52			-4.30	-167.40

Una vez aplicado el protocolo de carga se pudo obtener los resultados que se observan en la TABLA 3-6; en la TABLA 3-7 se puede visualizar la descripción de los daños en la Probeta ensayada de acuerdo al ciclo de carga.

TABLA 3-7.- Descripción de daños obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 2

		CARGA P (Tn)	Δ (des.) (mm)	COMENTARIOS
C 4	4.3	2.43	32.67	
		-2.38	-32.33	
	4.4	2.50	33.96	
		-2.36	-32.26	En este ciclo se aprecia una pequeña falla en cordón de soldadura en placa del anillo de patín superior Figura 3-24
C 5	5.1	2.90	48.50	
		-2.83	-48.56	
	5.2	2.80	44.60	
		-2.75	-48.52	En este ciclo se aprecia una mayor falla en el cordón de soldadura de la placa del anillo en patín superior Figura 3-25
C 6	6.1	3.40	64.70	En este ciclo se nota fallas en la esquina del patín superior de la viga así como fallas en el cordón de soldadura Figura 3-26, Figura 3-27
		-3.16	-64.70	
	6.2	3.32	65.23	En este ciclo se aprecia una falla aún mayor en el cordón de soldadura de la placa del anillo de patín superior Figura 3-28
		-3.02	-64.70	
C 7	7.1	3.90	97.60	En este ciclo se nota un pandeo en la cara de la columna así como una falla mayor en el cordón de soldadura de la placa en patín superior y en las esquinas del patín superior Figura 3-29, Figura 3-30
		-3.82	-97.17	
	7.2	3.82	97.00	
		-3.74	-96.70	
C 8	8.1	4.82	131.90	En este ciclo se aprecia la falla de soldadura de la placa del anillo en el patín superior con el pandeo correspondiente Figura 3-31
		-4.37	-129.30	
	8.2	3.94	129.23	En este ciclo se aprecia una falla en casi todo el cordón de soldadura Figura 3-32
		-4.12	-129.95	
C 9	9.1	4.63	165.17	En este ciclo se nota una falla total en el cordón de soldadura y pandeo de la placa del anillo en el patín superior Figura 3-33. Figura 3-34.
		-4.65	161.67	En este ciclo se nota un pandeo en el área de la placa del patín inferior y el inicio de una falla en el área de la soldadura con el patín inferior Figura 3-35
	9.2	4.21	164.12	En este ciclo se nota desgarró de la placa del anillo superior Figura 3-36
		-4.30	-167.40	En este ciclo se nota un pandeo general en la placa del anillo en el patín inferior así como el desgarró del patín por falla del material en la junta con la placa Figura 3-37



Figura 3-24.- Falla en ciclo 4.4 Probeta 2

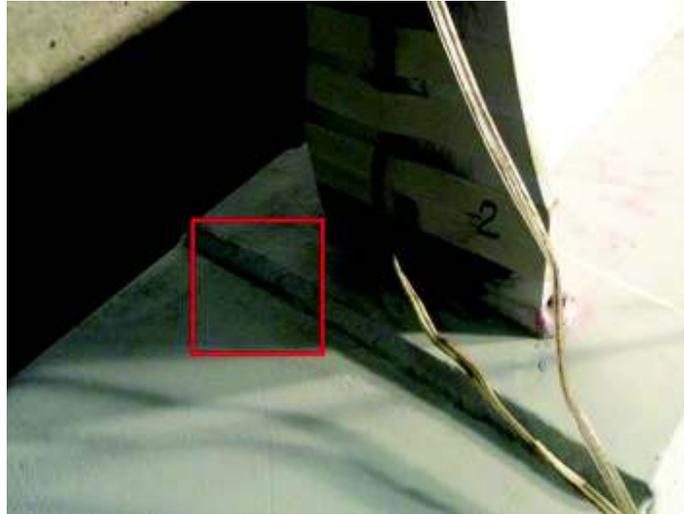


Figura 3-25.- Falla en ciclo 5.2 Probeta 2



Figura 3-26.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 2

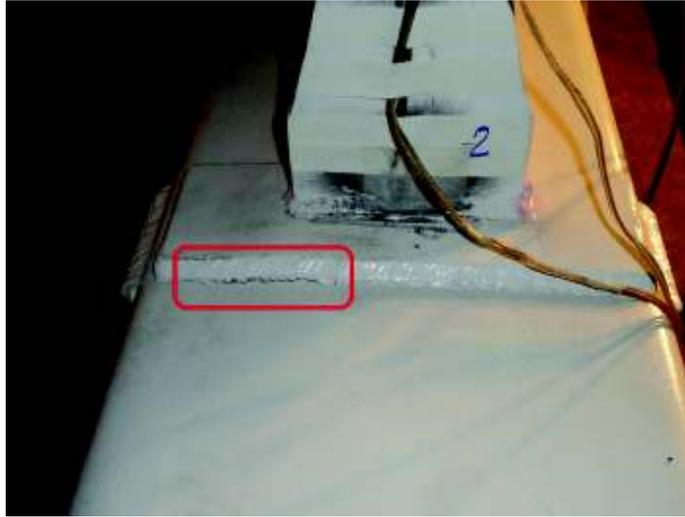


Figura 3-27.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 2

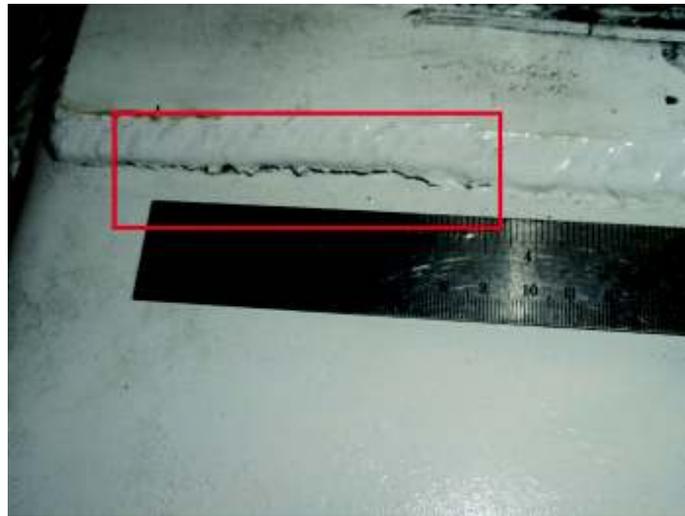


Figura 3-28.- Falla en ciclo 6.2 Probeta 2

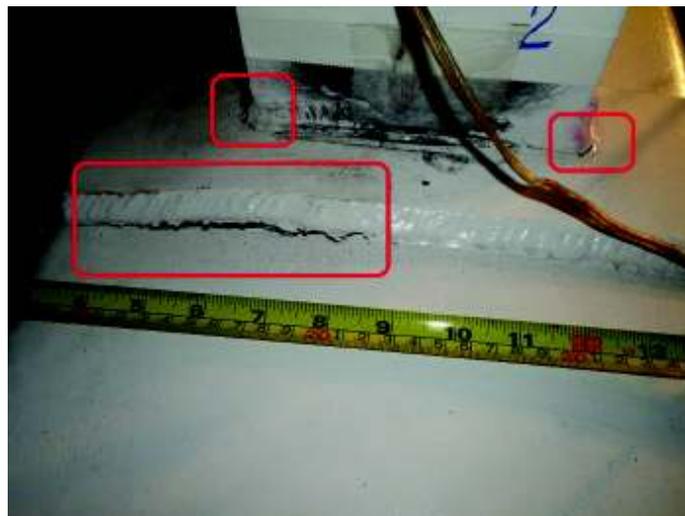


Figura 3-29.- Falla en ciclo 7.1 Probeta 2

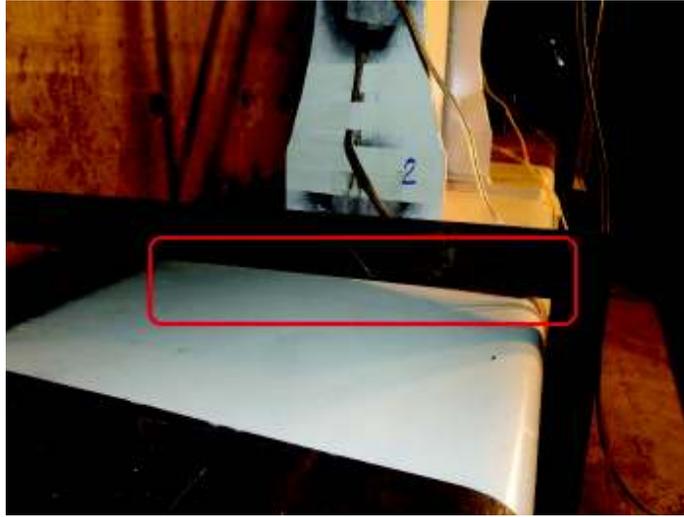


Figura 3-30.- Falla en ciclo 7.1 Probeta 2

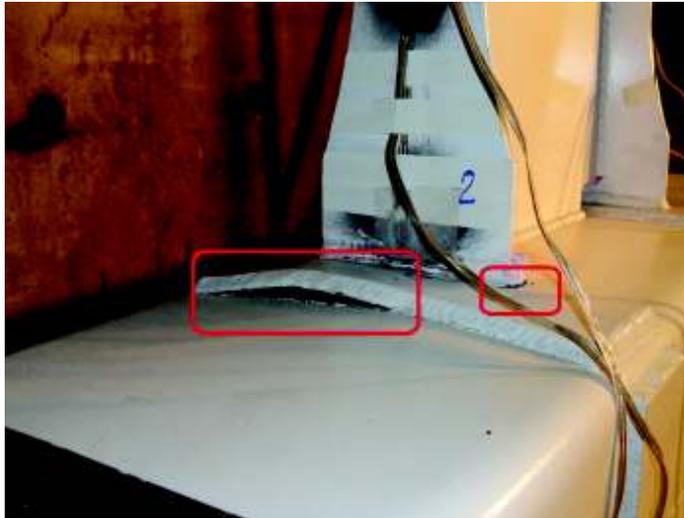


Figura 3-31.- Falla en ciclo 8.1 Probeta 2



Figura 3-32.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 2

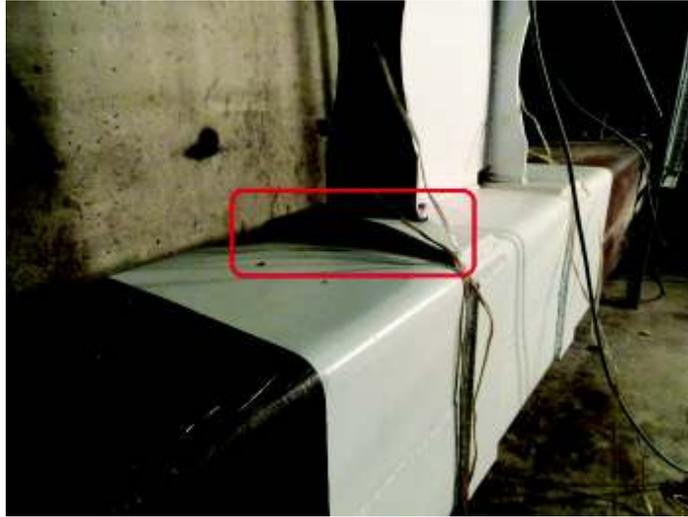


Figura 3-33.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 2

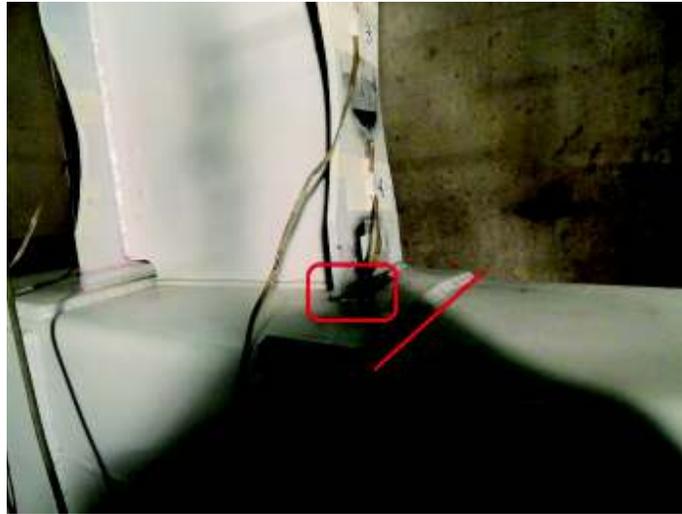


Figura 3-34.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 2



Figura 3-35.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 2



Figura 3-36.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 2



Figura 3-37.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 2

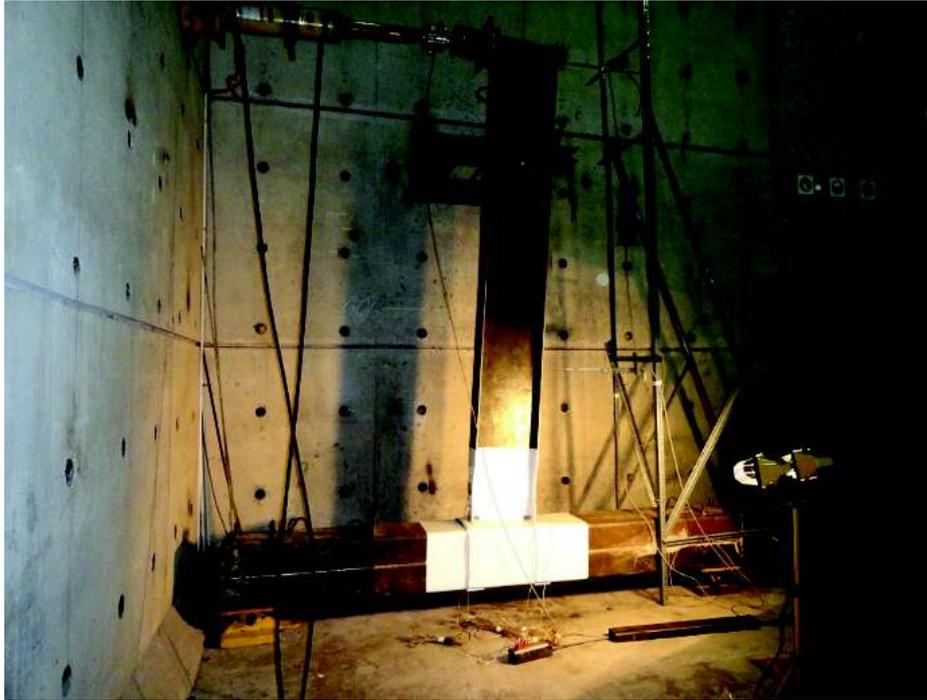


Figura 3-38.- Desplazamiento de la viga de la Probeta 2 en ciclo 9.2

3.2.1. Histéresis de Probeta 2.-

Una vez obtenidos todos los datos del ensayo realizado a la Probeta 2, se procederá a procesarlos y a corregirlos obteniendo las Histéresis de Carga vs Desplazamiento que se muestra en el Gráfico 3-12, y la Histéresis de Momento vs Giro que se muestra en el Gráfico 3-13.

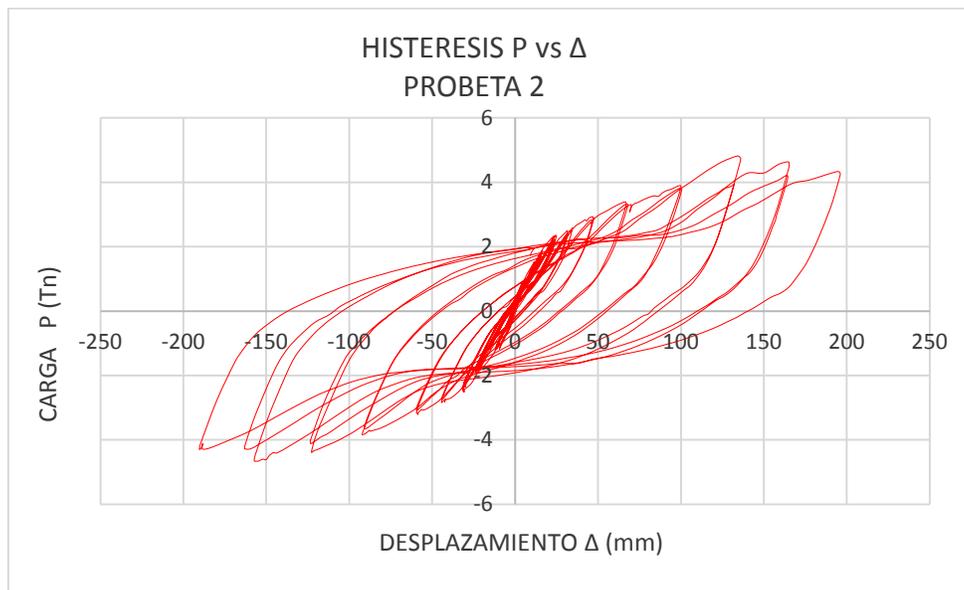


Gráfico 3-12.- Histéresis P vs Δ de la Probeta 2

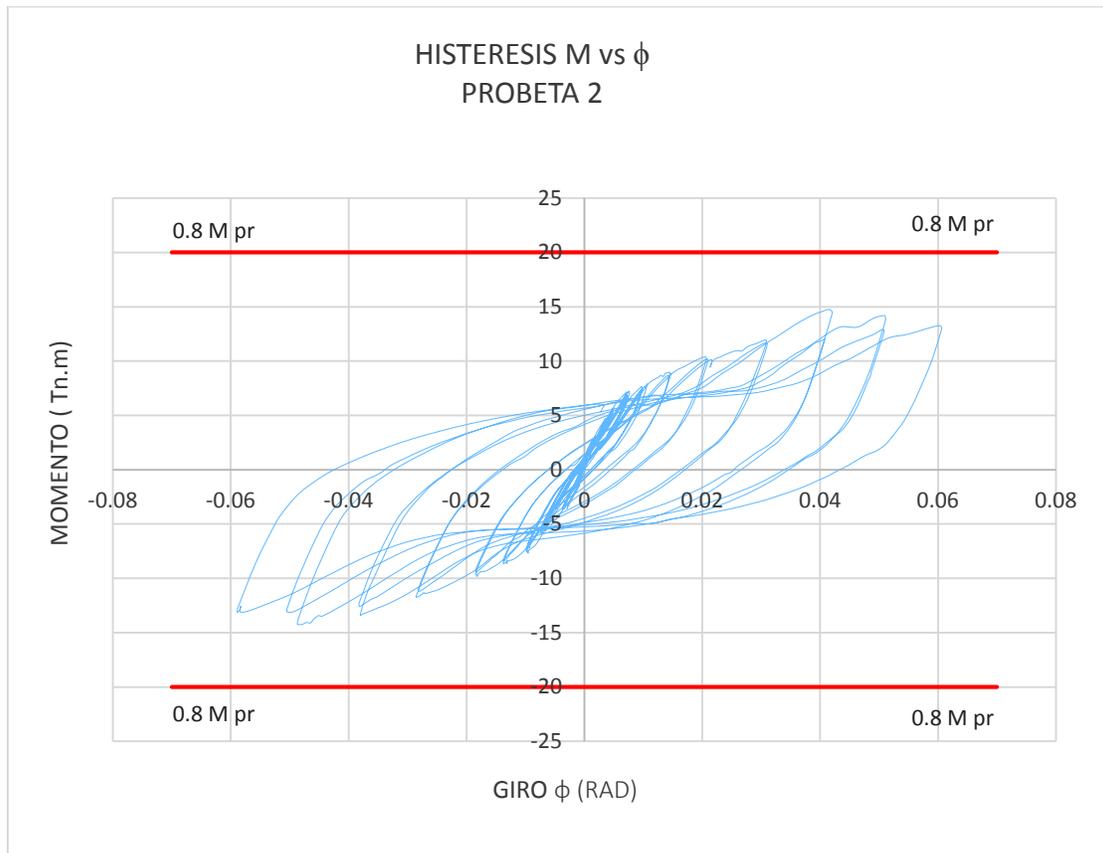


Gráfico 3-13.- Histéresis M vs ϕ de la Probeta 2

De los datos con los que se obtuvo la Histéresis, mostradas en los gráficos anteriores se obtiene el siguiente resumen de datos mismos que se pueden observar en la TABLA 3-8, y en el Gráfico 3-14.

TABLA 3-8.- Resumen de resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 2

PROBETA 2				
	Carga	Desplazamiento	Momento	Giro
	P (Tn)	Δ (mm)	M (Tn.m)	ϕ (Rad)
Max(+)	4.818	133.909	14.732	0.041
	4.727	129.32	14.455	0.04
	3.153	64.66	9.641	0.02
	0	0	0	0
	-3.169	-64.66	-9.69	-0.02
	-3.995	-129.32	-12.217	-0.04
Max(-)	-4.664	-156.846	-14.261	-0.049

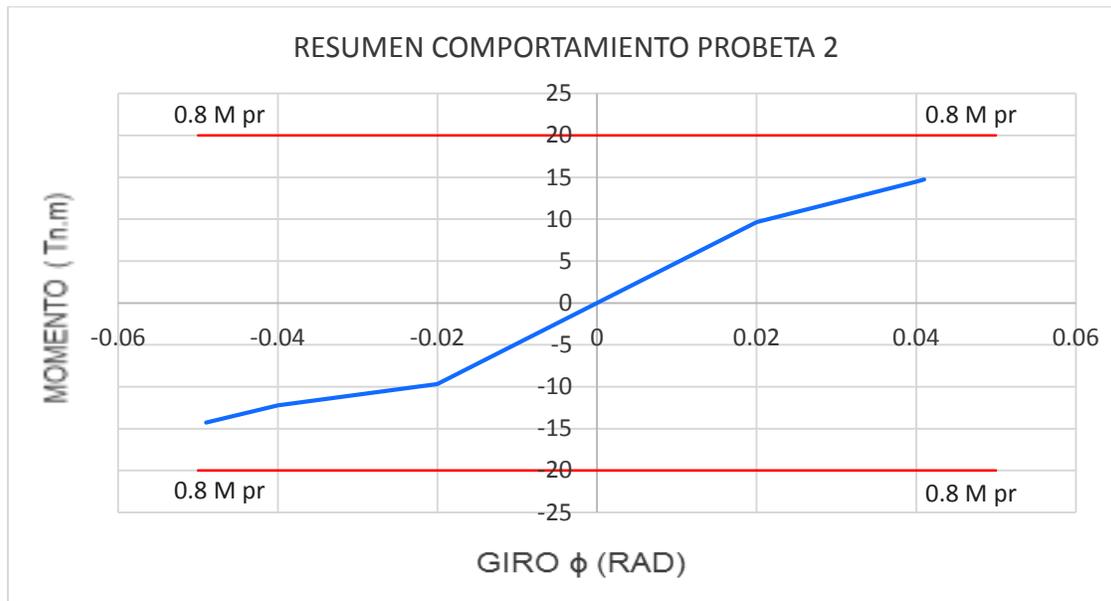


Gráfico 3-14.- Resumen del comportamiento de la Probeta 2 M vs ϕ

3.2.1.1 Discusión de los Resultados obtenidos de las Histéresis de la Probeta 2

Según se indicó anteriormente la probeta ensayada debe soportar un momento flector en la cara de la columna superior al 80% del momento de plastificación de la viga, para una rotación de 0.02 radianes para calificar como Conexión a Momento Parcialmente Restringida (PR) y 0.04 radianes, para calificar como una Conexión a Momento Completamente Restringida (FR), de acuerdo a lo que señala (ANSI/AISC 341-10, 2012).

Según (ANSI/AISC 358-16, 2016) se tiene que el momento probable plástico (M_{pr}) en la rótula plástica para una conexión RBS, es el calculado en la sección 2.3.2, valor que se señala a continuación; en el Gráfico 3-13 y en el Gráfico 3-14 se ha incluido el 80 % de ese valor (línea roja).

$$M_{pr} = 25.02 \text{ Tn.m} \quad 0.8 * M_{pr} = 20.02 \text{ Tn.m}$$

De lo observado en las curvas de histéresis de esta probeta, se puede notar que a diferencia de lo obtenido en la Probeta 1 existe un comportamiento simétrico en la misma, sin embargo esta conexión al no tener elementos dentro de la columna presenta un pandeo local en la zona de la cara de la columna, así como fallas en la soldadura de la placa en dicho sector, mismas que se pueden apreciar en las figuras

correspondientes, este pandeo local hace que la resistencia de la conexión baje significativamente haciendo que apenas llegue al orden de las 15 Tn.m es decir un 60 % del momento probable plástico de la viga (0.6 Mpr).

Visto el Gráfico 3-13, la TABLA 3-8 y el Gráfico 3-14, se puede decir que la Probeta 2 no califica como una conexión (FR) ni como una conexión (PR), dicho esto se puede deducir que el tipo de conexión utilizada en esta probeta no satisface las condiciones solicitados por la norma (ANSI/AISC 341-10).

3.2.2. Deformaciones Unitarias Ocurridas en Probeta 2

En la Probeta 2 se obtuvieron las deformaciones unitarias de los patines en la zona cercana a la soldadura con la columna y en el centro de la zona de sección reducida, medidos mediante la colocación de Straing Gauges mismos que se encuentran distribuidos como se indica en la Figura 3-39, Figura 3-40, Figura 3-41, mediante estos se pudo obtener las curvas de las histéresis de Carga vs. Deformación unitaria que se muestran en los Gráfico 3-15, Gráfico 3-16, Gráfico 3-17, Gráfico 3-18.

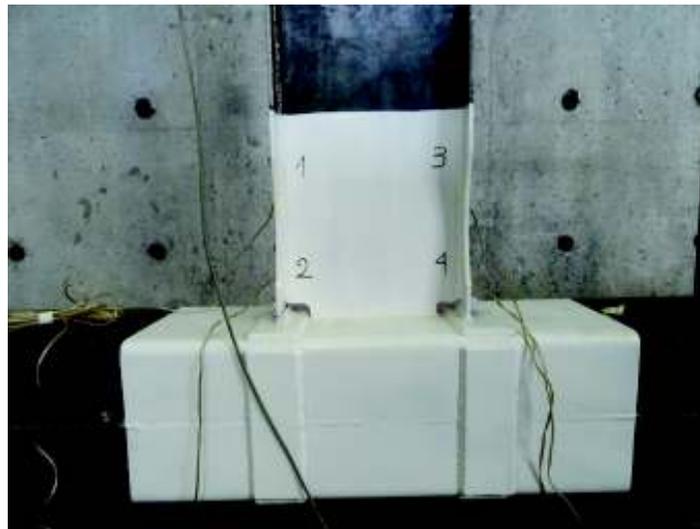


Figura 3-39.- Enumeración de Straing Gauges Probeta 2



Figura 3-40.- Enumeración de Straing Gauges Patín Superior Probeta 2



Figura 3-41.- Enumeración de Straing Gauges Patín Inferior Probeta 2

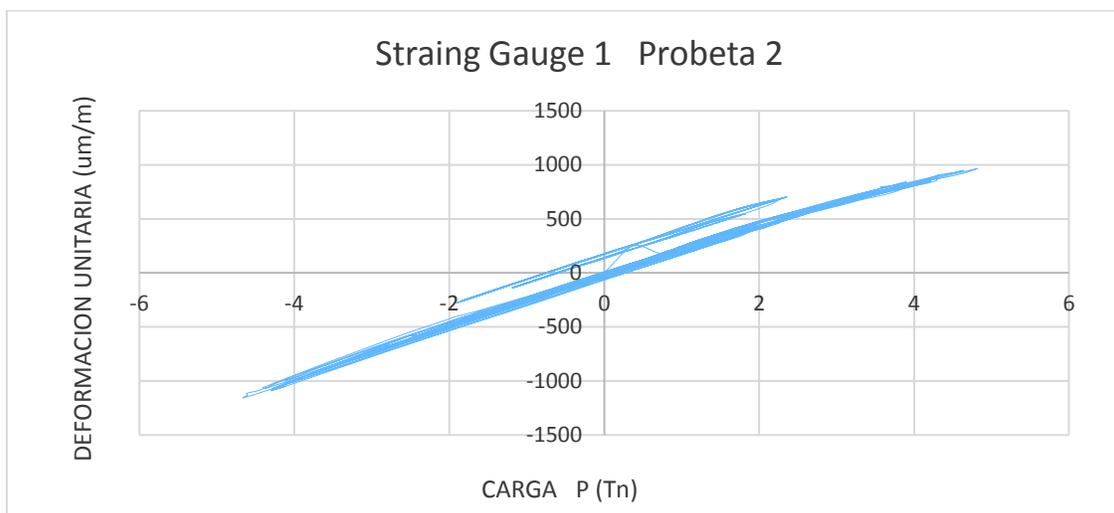


Gráfico 3-15.- Deformación unitaria en SG1 de Probeta 2

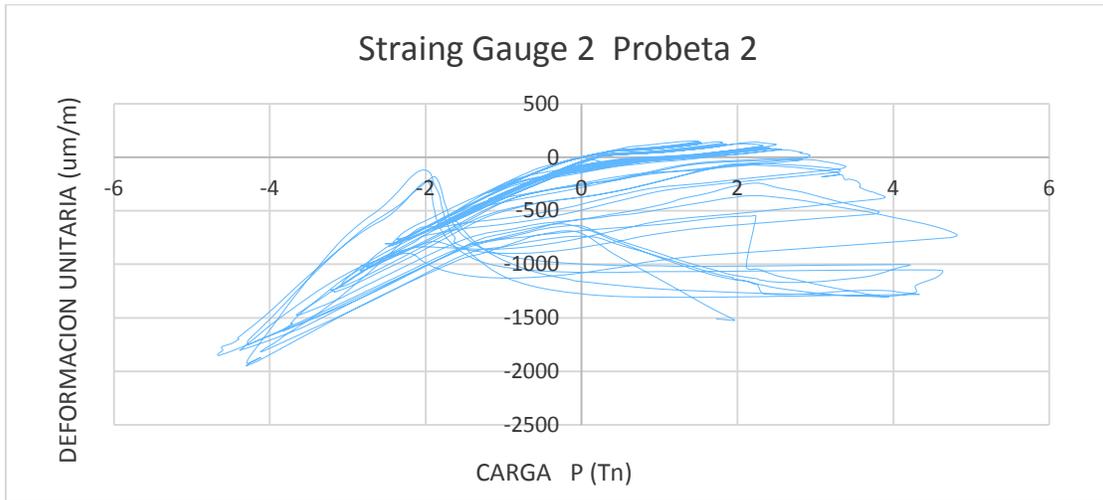


Gráfico 3-16.- Deformación unitaria en SG2 de Probeta 2

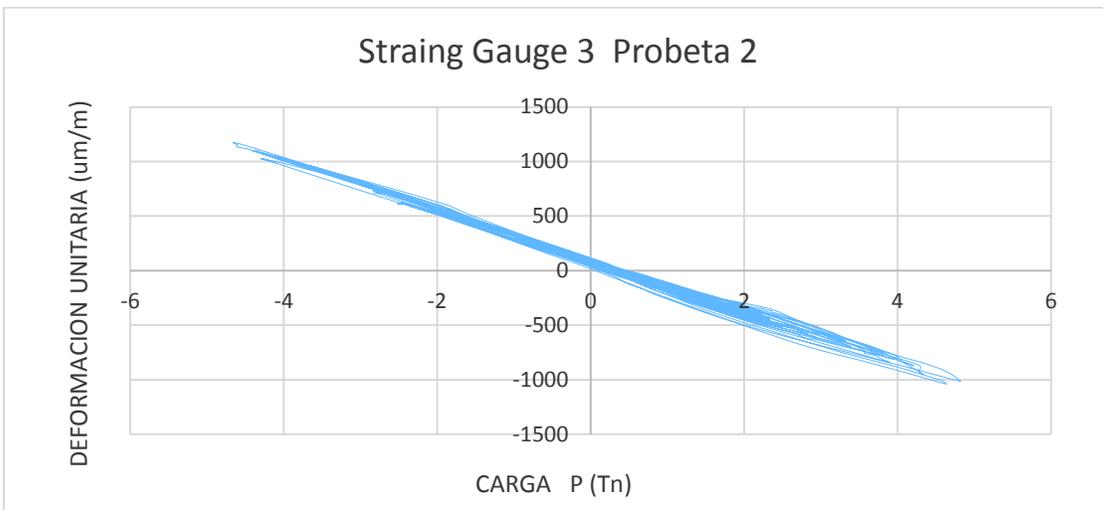


Gráfico 3-17.- Deformación unitaria en SG3 de Probeta 2

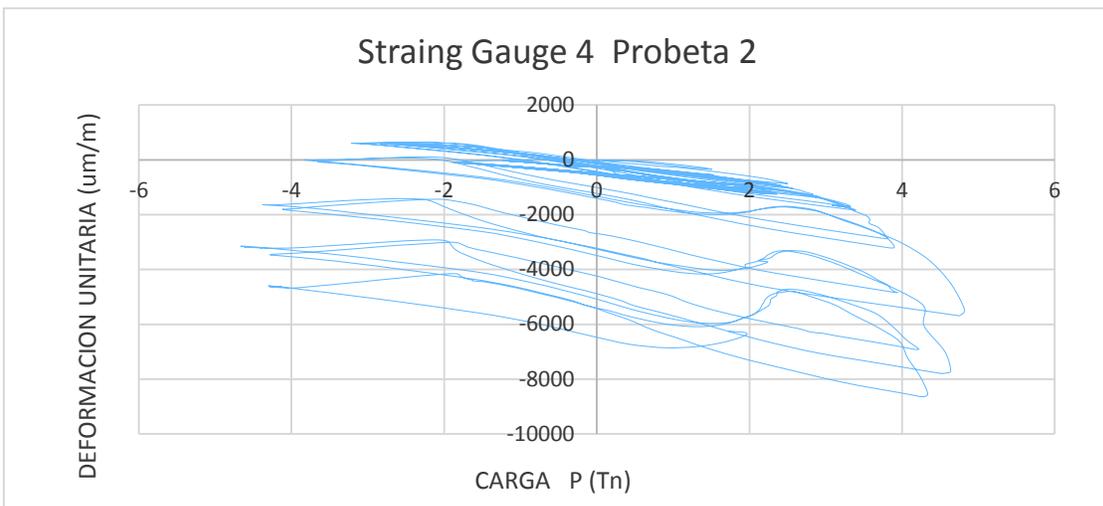


Gráfico 3-18.- Deformación unitaria en SG4 de Probeta 2

3.2.2.1 Discusión de los valores de deformaciones unitarias obtenidas en Probeta 2

En lo que se refiere a las deformaciones unitarias, de las Curvas Histeréticas obtenidas para esta probeta, se observa un comportamiento elástico en la viga en las partes de la sección reducida RBS, tal como se puede apreciar en el Gráfico 3-15, Gráfico 3-17 donde se observa una deformación unitaria en el rango de $\epsilon = 1150 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$, deformación menor que la deformación unitaria máxima calculada en el rango elástico que es de $\epsilon = 1512.93 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$, comportamiento que se puede corroborar de la inspección visual realizada a la Probeta 2. Las deformaciones unitarias en la zona cercana a la soldadura entre la placa y la columna, que se aprecian en el Gráfico 3-16 y en el Gráfico 3-18 presentan un comportamiento plástico con una deformación unitaria mayor en el orden de $\epsilon = 8500 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$, esto debido a la presencia de fallas de soldadura en las placas colocadas en la cara de la columna y la viga, mismas que se pueden apreciar en las figuras correspondientes.

3.2.3. Resultados de Esfuerzos obtenidos en la Probeta 2 a partir del Uso de métodos finitos (MEF) mediante la aplicación del Programa SolidWorks

Mediante la modelación de la Probeta 2 utilizando elementos finitos (MEF), considerando las características de materiales, restricciones, así como sus dimensiones, al usar en el Programa SolidWorks la mayor carga obtenida del ensayo realizado, se obtuvo las siguientes figuras que ilustran el comportamiento de la conexión.

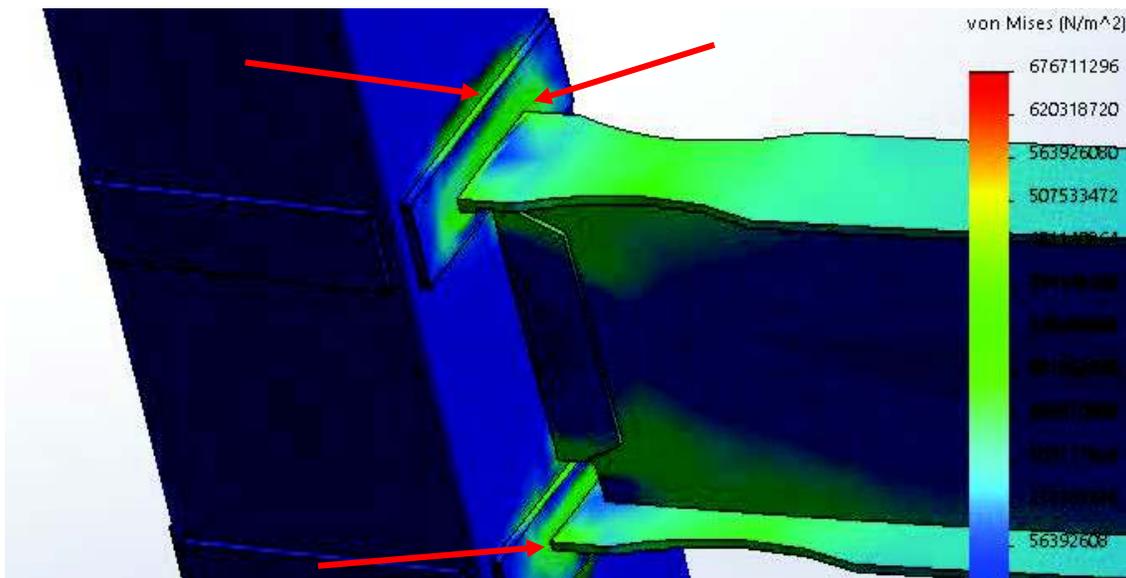


Figura 3-42.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista en alzado Probeta 2

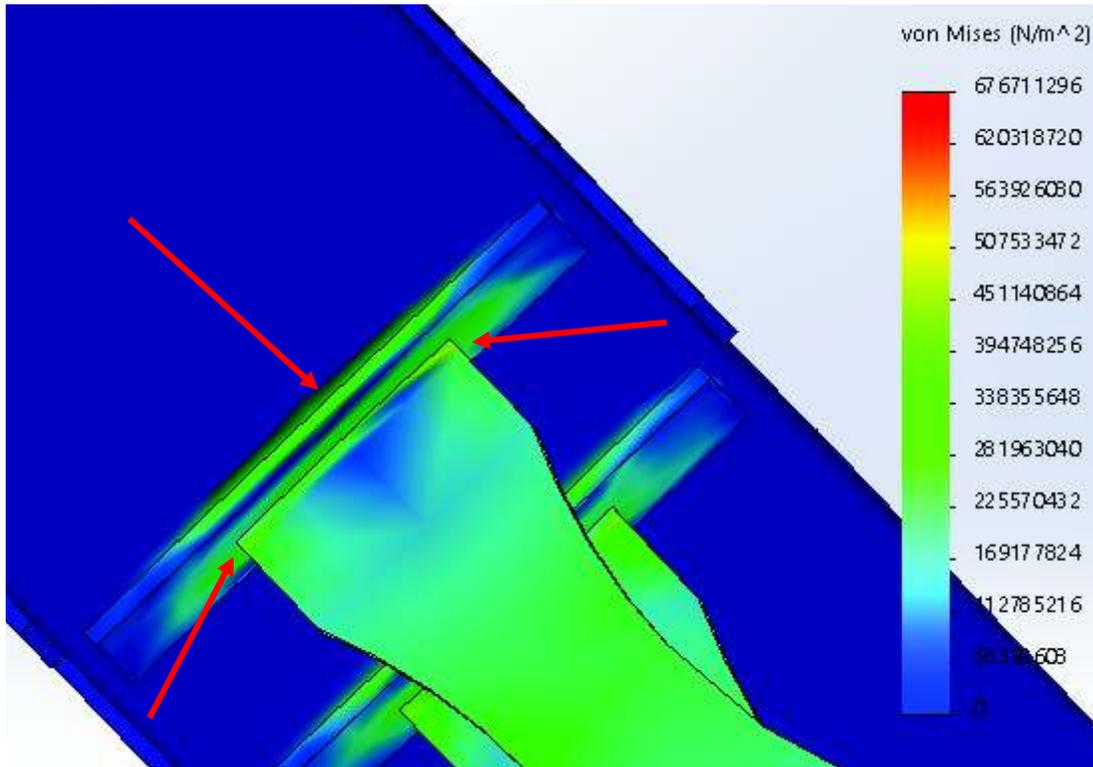


Figura 3-43.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista superior robeta 2

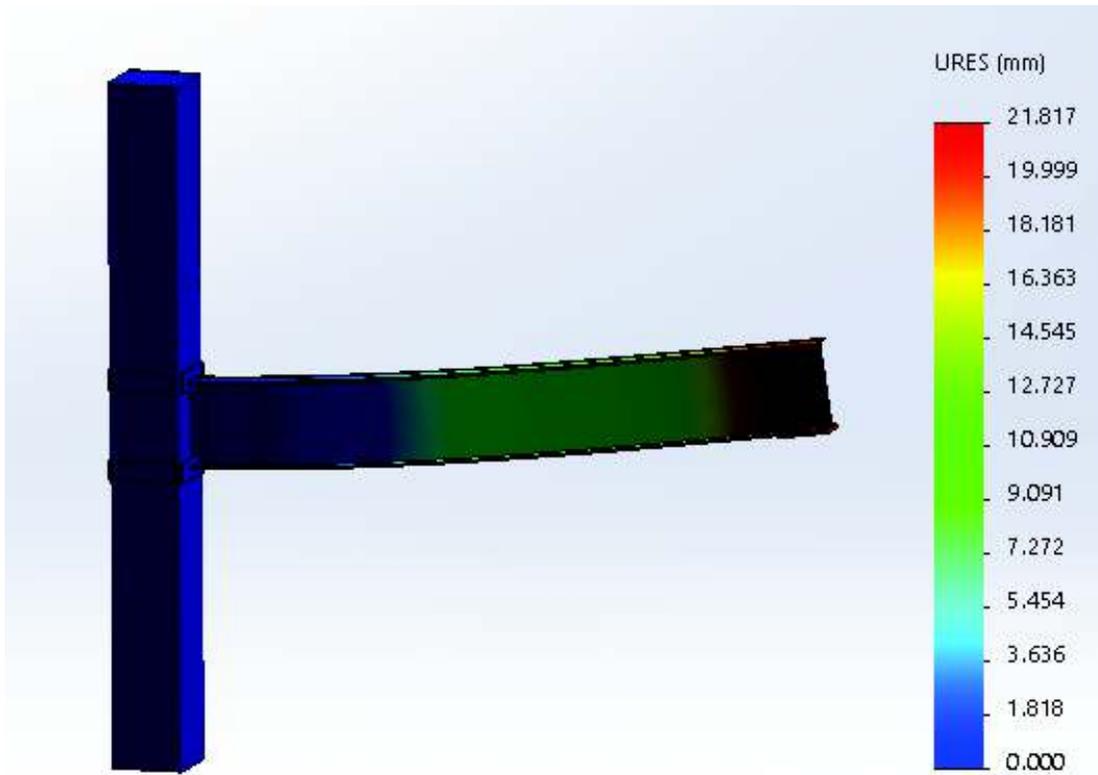


Figura 3-44.- Análisis No Lineal. Desplazamientos Probeta 2

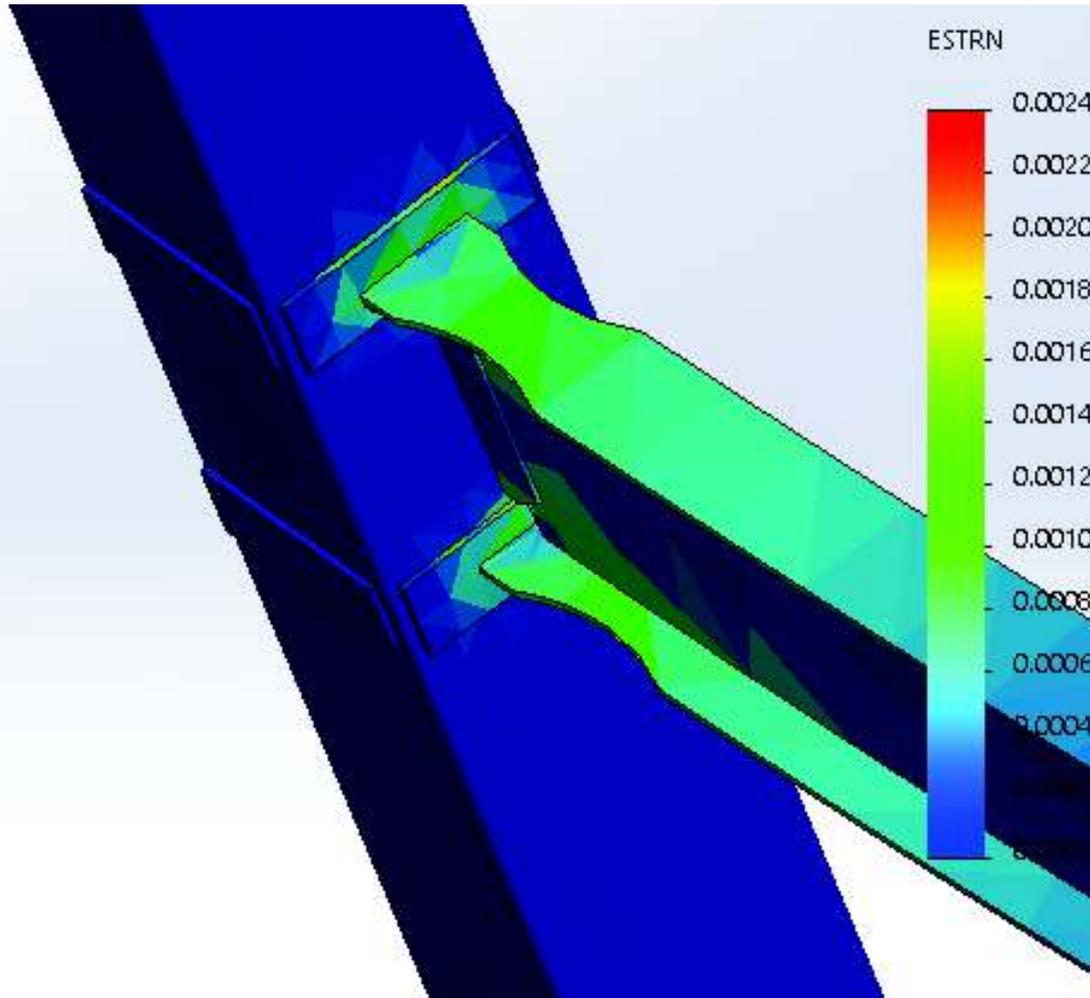


Figura 3-45.- Análisis No Lineal. Deformaciones Unitarias Probeta 2

3.2.3.1 Análisis de los esfuerzos obtenidos en la Probeta 2 a partir del Uso de métodos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks

De los resultados obtenidos a partir del uso de métodos finitos, mediante el programa SolidWorks de acuerdo a los esfuerzos de Von Mises, se puede observar en el modelo de la Probeta 2 que los mayores esfuerzos se presentan en las esquinas de los patines de la viga sean estos superiores o inferiores y en la zona de soldadura entre la placa del anillo y la cara de la columna, esfuerzos que están en el orden de los 676.71×10^6 N/m², tal como se observa en la Figura 3-42 y en la Figura 3-43.

Los esfuerzos que se aprecian en el modelo de la probeta ensayada, son superiores al esfuerzo ultimo promedio del material base de acero A36 señalado en la Sección 2.3.3, y del esfuerzo ultimo del material de aporte dado por el cordón de soldadura con el electrodo E7018 que es de $F_u = 70 \text{ Ksi} = 482.63 \times 10^6$ N/m², valor tomado del catálogo

de los electrodos West Arco (Soldarco, 2015), materiales que fueron utilizados en la elaboración de esta probeta; con los resultados antes mencionados se obtiene la relación de esfuerzos que se resume en la TABLA 3-9.

TABLA 3-9.- Comparación de los esfuerzos obtenidos a partir de MEF de la probeta 2 en relación a los esfuerzos últimos del material base A36 y el material de aporte E7018

PROBETA 2			
σ max =		6.77E+08 N/m ²	σ max / Fu
(A36) Fu=		4.78E+08 N/m ²	141.63 %
(E7018) Fu=		4.82E+08 N/m ²	140.45 %

Según lo detallado en la TABLA 3-9 se nota que el esfuerzo que se produce en las esquinas de los patines y la placa del anillo de refuerzo es un 41.63% superior al Fu del material base A36, y un 40.45% superior al Fu del material de aporte dado por el electrodo E7018, esta concentración de esfuerzos es la que produce la falla en la soldadura de la placa de refuerzo en la cara de la columna, así como en las esquinas de los patines de la viga, fallas que se presentan de manera temprana en la aplicación del ciclo de carga como se puede apreciar en la Figura 3-24, estos sobre esfuerzos son los que hacen fallar la conexión, tal como se muestra en la Figura 3-26, Figura 3-29, Figura 3-34, fallas que coinciden con en el modelo analítico y que se muestran en la Figura 3-42, Figura 3-43, estas fallas de soldadura en la placa del anillo de refuerzo en la cara de la columna, así como las fallas por concentración de esfuerzos en las esquinas de los patines, son las que impiden que se forme la rótula plástica de la manera esperada, ya que al presentarse dicha concentración de esfuerzos y al seguir aplicándose el protocolo de carga la falla continua por estos sectores que están sobre esforzados.

3.2.4. Comparación de desplazamientos de la probeta 2.

Con la finalidad de validar el modelo realizado en SolidWorks, así como también comparar el desplazamiento experimental obtenido en la Probeta 2, se definió un modelo básico realizado en ETABS considerando la columna compuesta RCFT de dimensiones 350x350x8 mm y la Viga metálica Tipo I 150x10x400x6 mm, este modelo cuenta con las mismas dimensiones de la probeta ensayada, así como las restricciones en sus puntos de apoyo, en la conexión viga columna se colocó las características de una conexión RBS; además se realizó un modelo de la Probeta 2 en SAP2000, de similar forma que en el ETABS señalando que en este programa no se puede colocar la

conexión RBS, a estos modelos se le aplico la carga máxima que resistió la probeta ensayada a fin de obtener valores de desplazamiento, que junto al valor que se obtuvo en SolidWorks serán comparados con el desplazamiento experimental obtenido. Estos resultados se muestran en la TABLA 3-10.

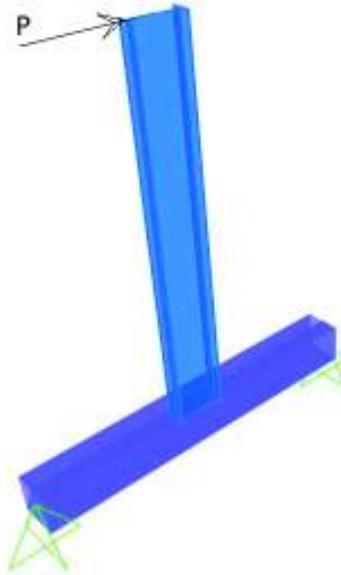


Figura 3-46.- Modelo de Probeta para obtener un desplazamiento Δ (mm) debido a una carga P(Tn)

TABLA 3-10.- Resultados de desplazamientos obtenidos en la Probeta 2

PROBETA 2			
	Carga P (Tn)	Desplazamiento Δ (mm)	Diferencia %
Probeta Ensayada	4.818	133.909	100.000
Modelo en ETABS RBS	4.818	20.361	15.205
Modelo SAP2000	4.818	19.624	14.655
Modelo SolidWorks	4.818	21.817	16.292

3.2.4.1 Análisis de los resultados de desplazamiento obtenidos de la probeta 2.

De la comparación realizada a los desplazamientos obtenidos en los programas ETABS, SAP2000, SolidWorks y el desplazamiento que se obtuvo en el ensayo experimental, se puede notar que dicho desplazamiento es mucho mayor que lo obtenido en estos programas, tal como se observa en la TABLA 3-10, el valor de desplazamiento obtenido de los modelos realizados en estos programas solo llega alrededor del 15 % del desplazamiento del ensayo experimental, donde se observa que el modelo en ETABS

presenta un desplazamiento mayor al del SAP2000, esto debido a que en el ETABS se puede simular la conexión viga columna RBS, mientras que en el SAP2000 no se cuenta con dicha herramienta; el desplazamiento encontrado mediante el uso de estos programas es similar al desplazamiento encontrado mediante la aplicación del programa SolidWorks, lo que validaría los modelos realizados, sin embargo el hecho de que en el ensayo experimental se tenga un desplazamiento mayor con la misma carga se debe a que dichos programas no pueden predecir las fallas de materiales y soldaduras que se presentaron en el ensayo experimental.

3.3. Probeta 3:

La Probeta 3 se refiere al modelo de conexión con un anillo de placas colocadas alrededor de la columna compuesta RCFT de manera perpendicular a la cara de la columna en la zona de conexión con la viga metálica tipo I, estas placas están colocadas a continuación del patín superior e inferior mismas que se puede observar en la Figura 3-47.

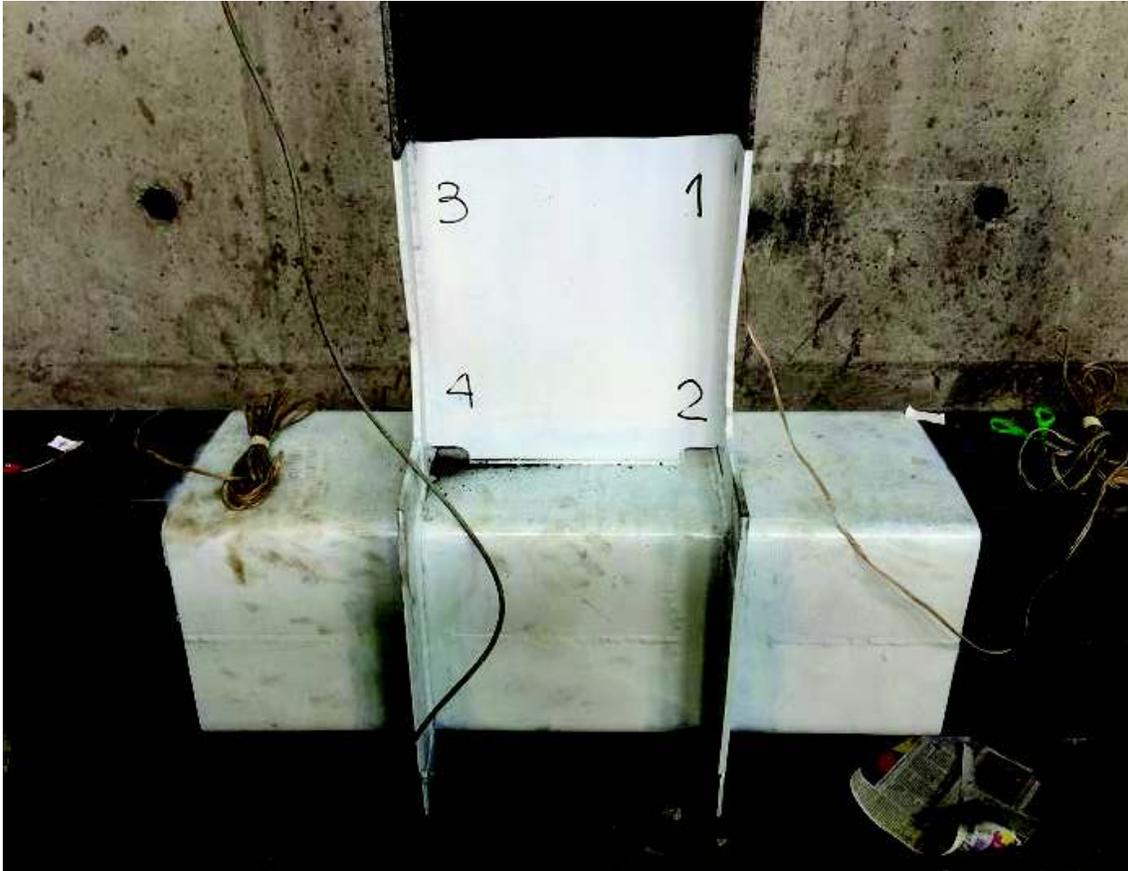


Figura 3-47.- Probeta 3 lista para ser ensayada

De los ensayos realizados a esta probeta, se pudo obtener los siguientes resultados siguiendo el protocolo de carga antes mencionado, mismos que se encuentran tabulados según la cantidad de carga dada a la probeta ensayada y el desplazamiento obtenido de acuerdo a cada ciclo del ensayo según lo indicado en la TABLA 3-11 y los Gráfico 3-19, Gráfico 3-20.

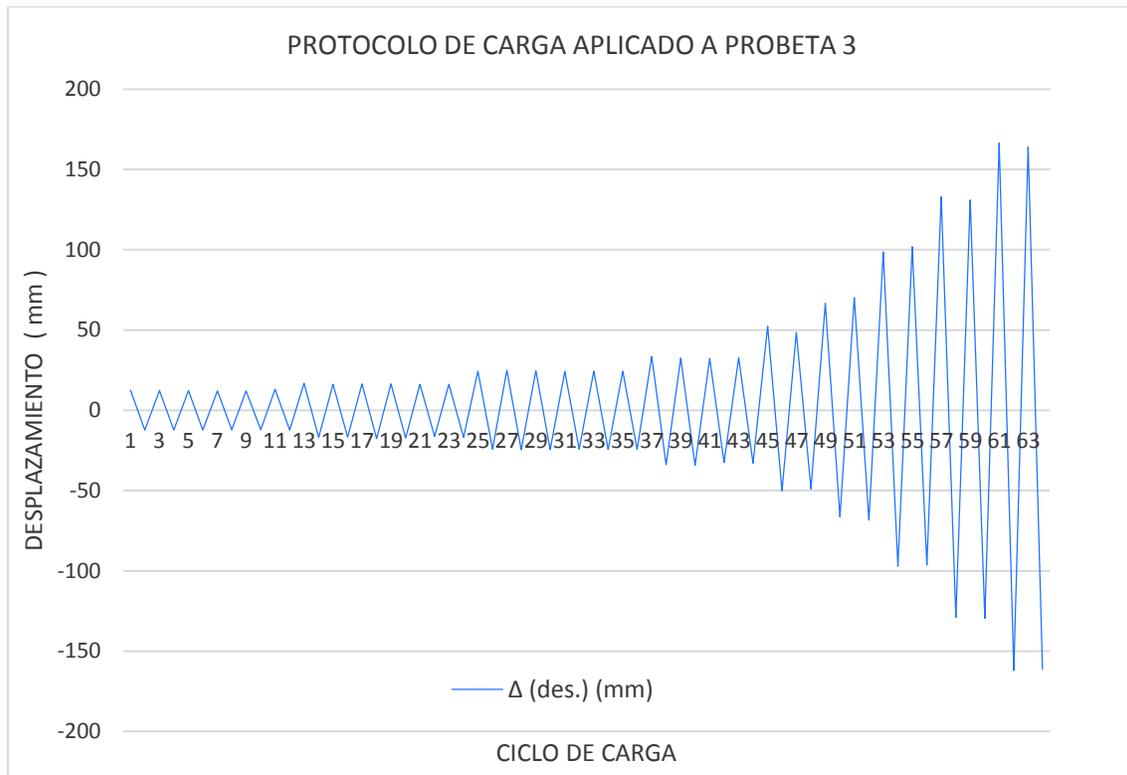


Gráfico 3-19.- Desplazamiento según protocolo de carga aplicado a Probeta 3

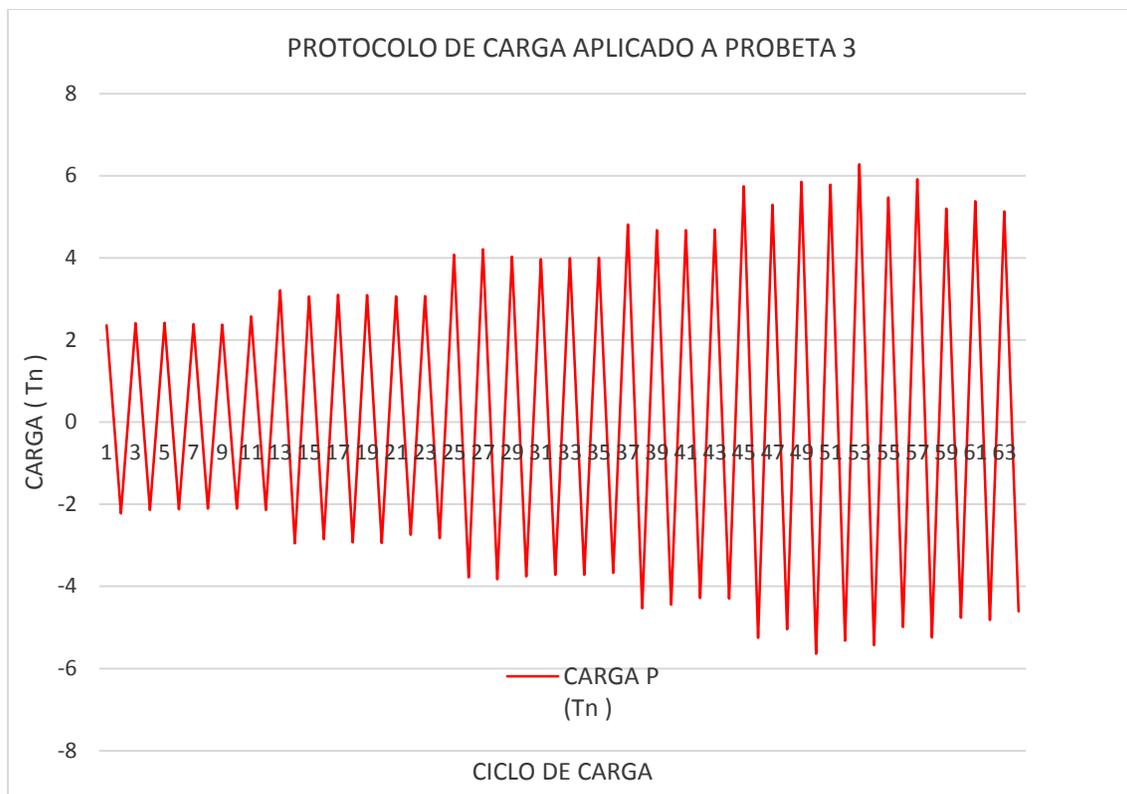


Gráfico 3-20.- Carga Aplicada según protocolo de carga a Probeta 3

TABLA 3-11.- Resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 3

		CARGA P (Tn)	Δ (des.) (mm)			CARGA P (Tn)	Δ (des.) (mm)			CARGA P (Tn)	Δ (des.) (mm)
CICLO 1	1.1	2.36	12.44	CICLO 3	3.1	4.08	24.39	C6	6.1	5.85	66.53
		-2.22	-12.29			-3.78	-24.20			-5.64	-66.32
	1.2	2.41	12.30		3.2	4.21	25.04		6.2	5.78	70.15
		-2.14	-12.26			-3.83	-24.48			-5.32	-68.38
	1.3	2.42	12.32		3.3	4.03	24.63		7.1	6.28	98.71
		-2.12	-12.30			-3.76	-24.44			-5.43	-97.03
	1.4	2.39	12.18		3.4	3.97	24.21		7.2	5.47	101.90
		-2.11	-12.14			-3.72	-24.20			-4.99	-96.40
	1.5	2.37	12.13		3.5	3.99	24.39		8.1	5.91	133.04
		-2.11	-12.12			-3.72	-24.29			-5.24	-129.00
	1.6	2.57	13.12		3.6	4.00	24.43		8.2	5.20	131.00
		-2.14	-12.24			-3.67	-24.33			-4.76	-129.69
CICLO 2	2.1	3.21	16.84	CICLO 4	4.1	4.81	33.56	C7	9.1	5.38	166.42
		-2.95	-16.84			-4.53	-33.89			-4.82	-162.19
	2.2	3.06	16.24		4.2	4.67	32.41		9.2	5.13	164.00
		-2.85	-16.59			-4.45	-34.31			-4.61	-161.40
	2.3	3.10	16.50		4.3	4.67	32.39				
		-2.93	-17.60			-4.28	-32.43				
	2.4	3.09	16.46		4.4	4.69	32.66				
		-2.94	-17.17			-4.30	-32.94				
	2.5	3.06	16.27		5.1	5.74	52.35				
		-2.74	-16.25			-5.25	-50.07				
	2.6	3.07	16.33		5.2	5.29	48.50				
		-2.83	-16.76			-5.04	-49.04				

Una vez aplicado el protocolo de carga se pudo obtener los resultados que se observan en la TABLA 3-11, a continuación en la TABLA 3-12 se puede visualizar la descripción de los daños en la Probeta ensayada de acuerdo al ciclo de carga.

TABLA 3-12.- Descripción de daños obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 3

C6	6.1	5.85	66.53	En este ciclo se aprecia una falla en las soldaduras de las esquinas en el sector del inicio de la sección reducida y la placa de refuerzo del patín inferior Figura 3-48, Figura 3-49, Figura 3-50
		-5.64	-66.32	
	6.2	5.78	70.15	En este ciclo se aprecia una falla mayor en las soldaduras de las esquinas en el sector del inicio de la sección reducida y la placa de refuerzo del patín inferior Figura 3-51
		-5.32	-68.38	En este ciclo se aprecia una falla en las soldaduras de las esquinas en el sector del inicio de la sección reducida y la placa de refuerzo del patín superior Figura 3-52
C7	7.1	6.28	98.71	En este ciclo se nota falla de material en la unión del patín inferior de la viga con la placa de refuerzo Figura 3-53
		-5.43	-97.03	En este ciclo se nota falla de material en la unión del patín superior de la viga con la placa de refuerzo Figura 3-54
	7.2	5.47	101.9	En este ciclo se nota una falla de material mayor en la unión del patín inferior de la viga con la placa de refuerzo así como un pandeo en la cara de la columna Figura 3-55
		-4.99	-96.4	En este ciclo se nota falla mayor de material en la unión del patín superior de la viga con la placa de refuerzo Figura 3-56
C8	8.1	5.91	133.04	
		-5.244	-129	En este ciclo se aprecia falla de material en el patín superior Figura 3-57
	8.2	5.2	131	En este ciclo se aprecia una falla de material en toda el área de soldadura con placa de refuerzo y falla de material en zona de soldadura con la cara de la columna en patín superior Figura 3-58, Figura 3-59
		-4.76	-129.69	
C9	9.1	5.38	166.42	En este ciclo se nota una falla total en el cordón de soldadura entre en el patín inferior y la placa de refuerzo así como falla de material en la cara de la columna Figura 3-60
		-4.82	-162.19	En este ciclo se nota una falla total en el cordón de soldadura entre en el patín superior y la placa de refuerzo así como falla de material en la cara de la columna Figura 3-61
	9.2	5.13	164	En este ciclo se nota desgarró del patín inferior Figura 3-62
		-4.61	-161.4	En este ciclo se nota desgarró del patín superior Figura 3-64, Figura 3-64



Figura 3-48.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 3



Figura 3-49.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 3



Figura 3-50.- Falla en ciclo 6.1 Probeta 3

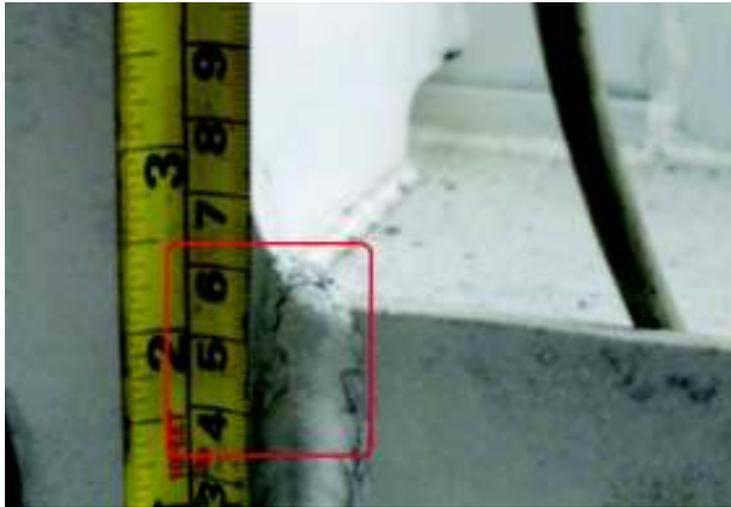


Figura 3-51.- Falla en ciclo 6.2 Probeta 3

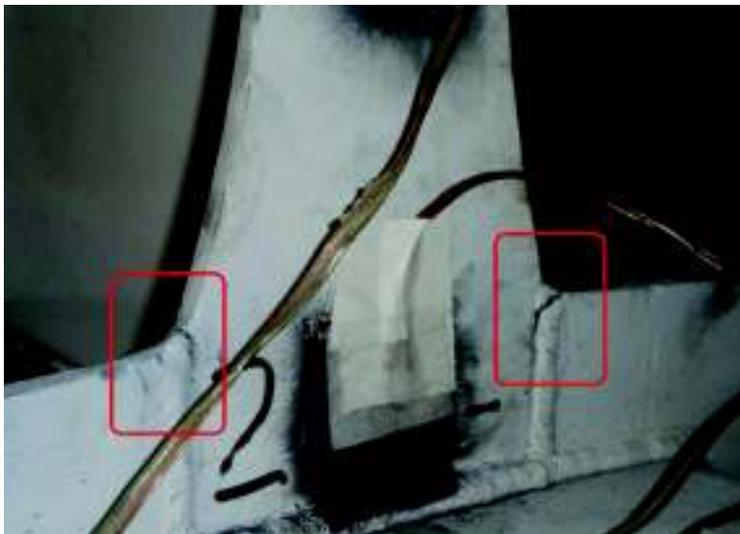


Figura 3-52.- Falla en ciclo 6.2 Probeta 3



Figura 3-53.- Falla en ciclo 7.1 Probeta 3



Figura 3-54.- Falla en ciclo 7.1 Probeta 3



Figura 3-55.- Falla en ciclo 7.2 Probeta 3



Figura 3-56.- Falla en ciclo 7.2 Probeta 3



Figura 3-57.- Falla en ciclo 8.1 Probeta 3

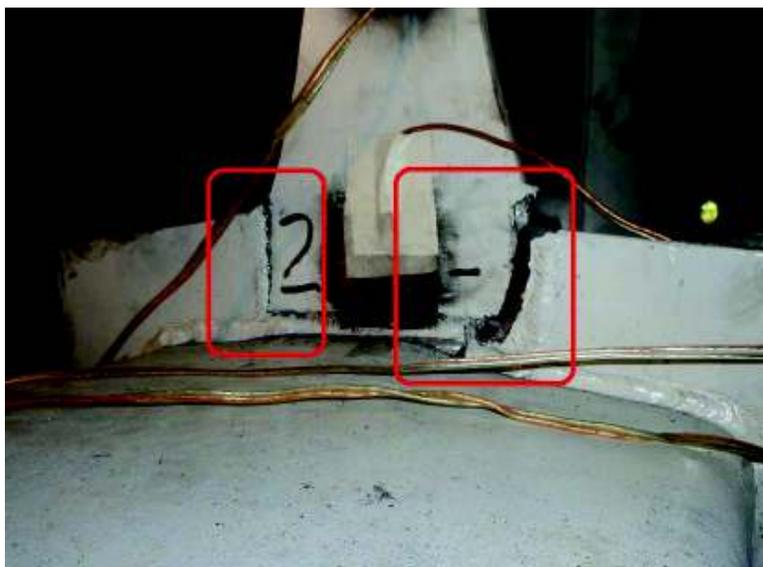


Figura 3-58.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 3



Figura 3-59.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 3



Figura 3-60.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 3

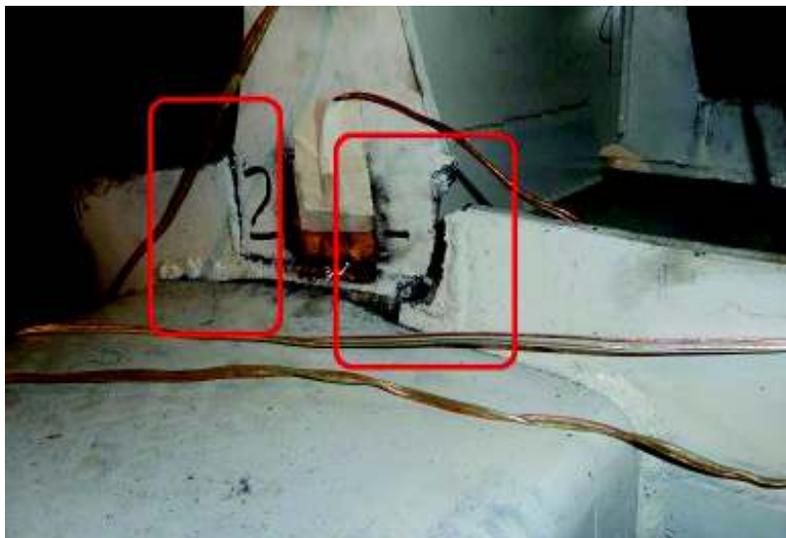


Figura 3-61.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 3



Figura 3-62.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 3



Figura 3-63.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 3

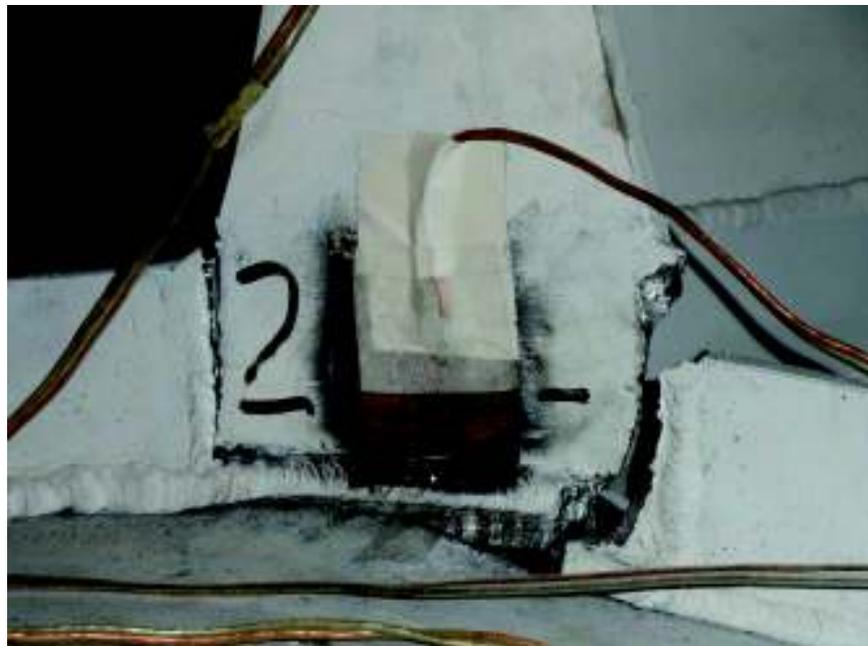


Figura 3-64.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 3

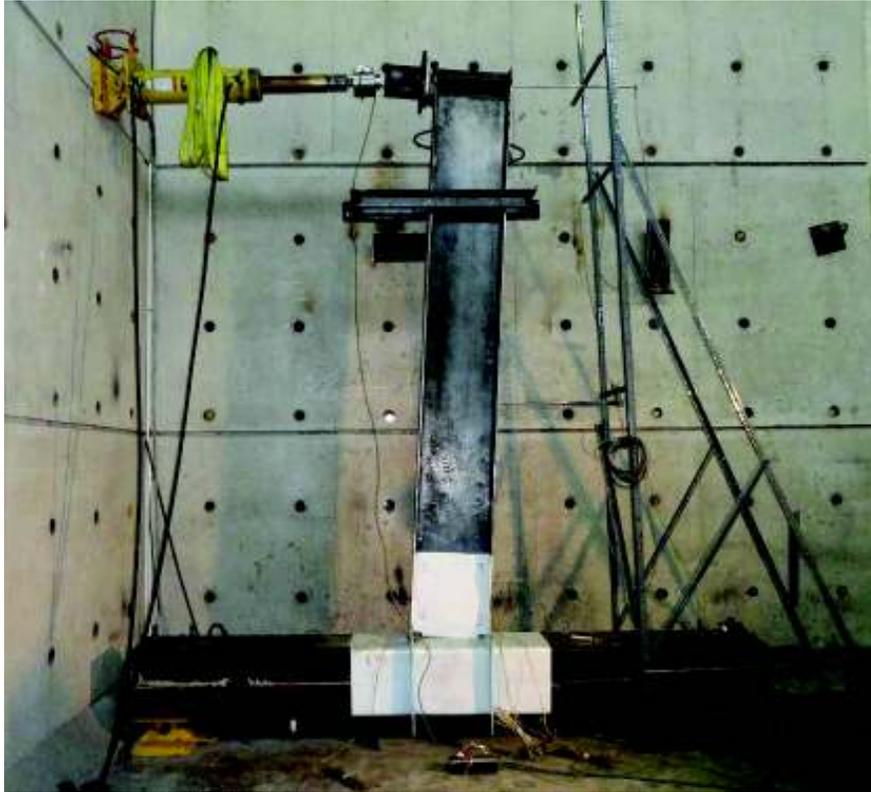


Figura 3-65.- Desplazamiento de la viga de la Probeta 3 en ciclo 9.2

3.3.1. Histéresis de Probeta 3.-

Una vez obtenidos todos los datos del ensayo realizado a la Probeta 3, se procede a procesarlos y a corregirlos obteniendo las Histéresis de Carga vs Desplazamiento que se muestra en el Gráfico 3-21, y la Histéresis de Momento vs Giro que se muestra en el Gráfico 3-22.

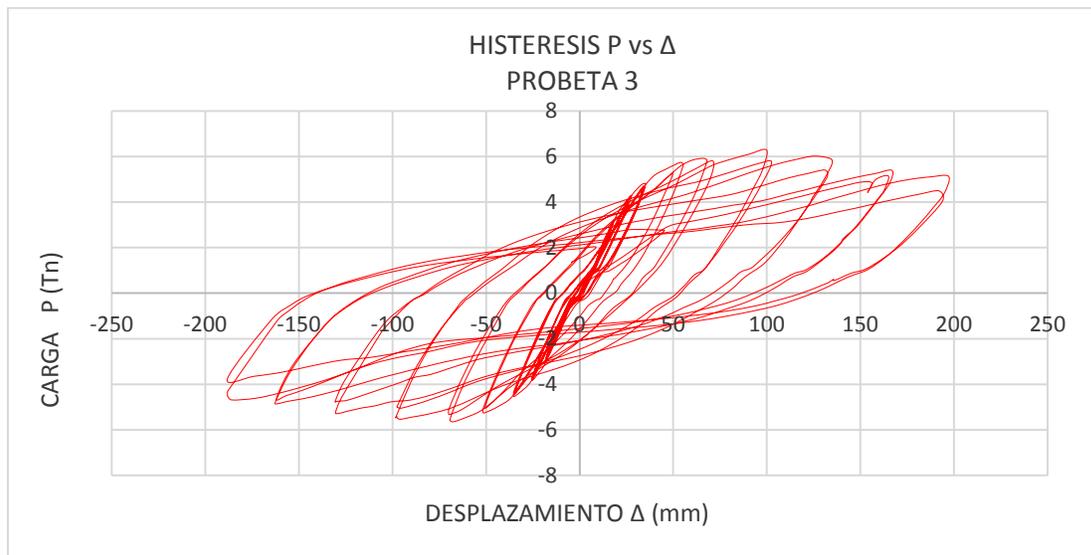


Gráfico 3-21.- Histéresis P vs Δ de la Probeta 3

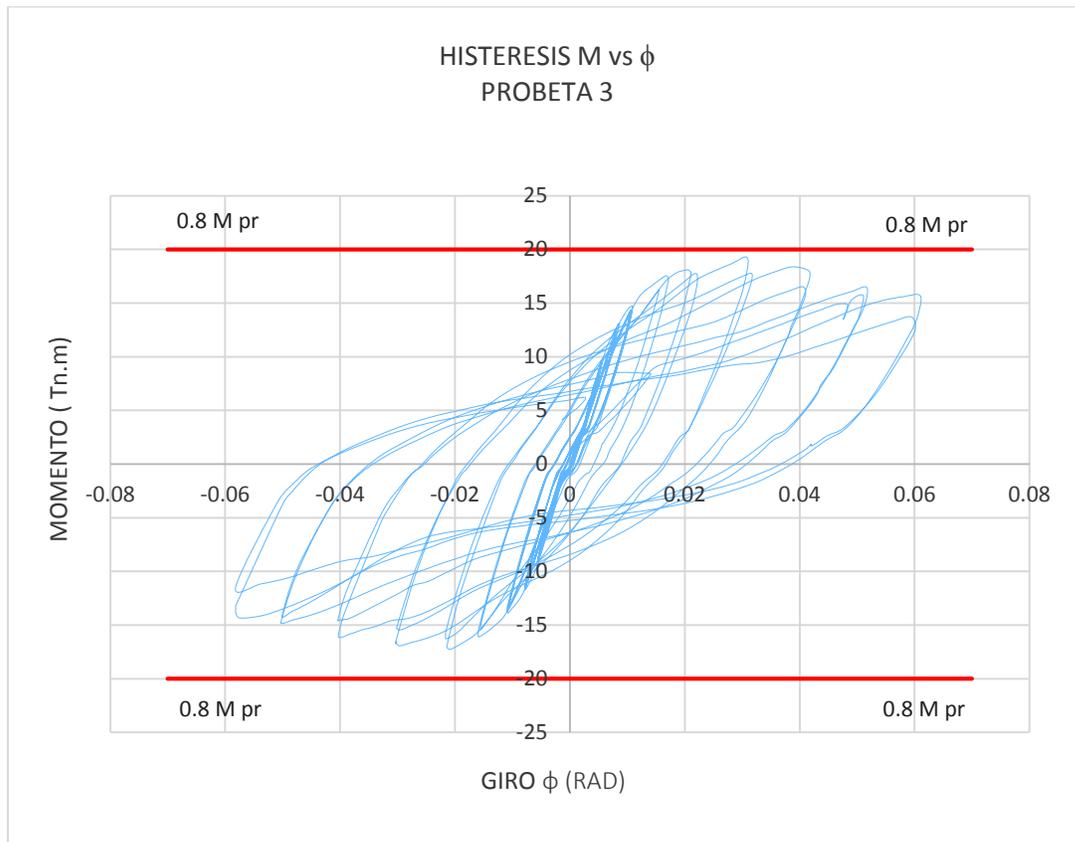


Gráfico 3-22.- Histéresis M vs ϕ de la Probeta 3

De los datos con los que se obtuvo la Histéresis, mostradas en los gráficos anteriores se obtiene el siguiente resumen de datos mismos que se pueden observar en la TABLA 3-13, y el Gráfico 3-23.

TABLA 3-13.- Resumen de resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 3

PROBETA 3				
	Carga P (Tn)	Desplazamiento Δ (mm)	Momento M (Tn.m)	Giro ϕ (Rad)
	5.906	133.938	18.060	0.040
Max(+)	6.282	99.906	19.211	0.031
	5.918	65.877	18.096	0.020
	0	0	0	0
	-5.134	-63.534	-15.699	-0.020
Max(-)	-5.645	-67.590	-17.262	-0.021
	-5.245	-130.464	-16.039	-0.040

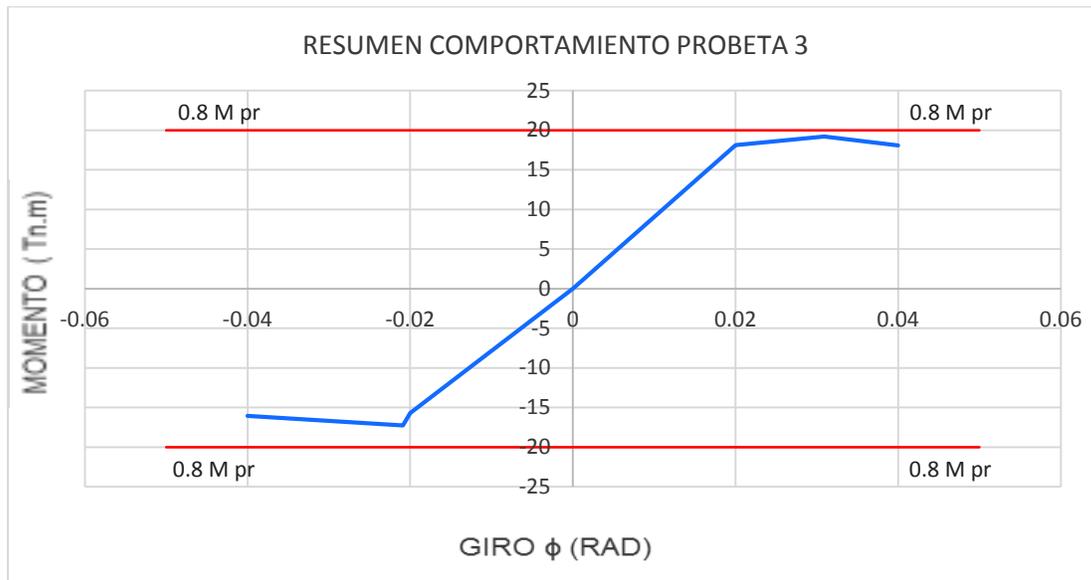


Gráfico 3-23.- Resumen del comportamiento de la Probeta 3 M vs ϕ

3.3.1.1 Discusión de los Resultados obtenidos de las Histéresis de la Probeta 3

Según se indicó anteriormente la probeta ensayada debe soportar un momento flector en la cara de la columna superior al 80% del momento de plastificación de la viga, para una rotación de 0.02 radianes para calificar como Conexión a Momento Parcialmente Restringida (PR) y 0.04 radianes, para calificar como una Conexión a Momento Completamente Restringida (FR), de acuerdo a lo que señala (ANSI/AISC 341-10, 2012).

Según (ANSI/AISC 358-16, 2016) se tiene que el momento probable plástico (M_{pr}) en la rótula plástica para una conexión RBS, es el calculado en la sección 2.3.2, valor que se señala a continuación; en el Gráfico 3-22 y en el Gráfico 3-23 se ha incluido el 80 % de ese valor (línea roja).

$$M_{pr} = 25.02 \text{ Tn.m} \quad 0.8 * M_{pr} = 20.02 \text{ Tn.m}$$

De lo observado en las curvas de histéresis de esta probeta se puede notar que existe un comportamiento casi simétrico en la misma, con un laso amplio denotando una buena disipación de energía, sin embargo esta conexión al no contar con elementos dentro de la columna presenta un pandeo local en la zona de la cara de la columna, así como fallas en la soldadura de los patines con la placa de refuerzo, mismos que se pueden apreciar en las figuras anteriores, este tipo de fallas hace que la resistencia de la conexión baje y no llegue a formarse la rótula plástica esperada, sin embargo su

resistencia máxima llega al orden de las 19 Tn.m es decir un 77 % del momento probable plástico de la viga (0.77 Mpr) pero para un giro de 0.03 Rad.

Visto el Gráfico 3-13, la TABLA 3-8 y el Gráfico 3-14, se puede decir que la Probeta 3 no califica como una conexión (FR) ni como una conexión (PR), dicho esto se puede deducir que el tipo de conexión utilizada en esta probeta no satisface las condiciones solicitados por la norma (ANSI/AISC 341-10).

3.3.2. Deformaciones Unitarias Ocurridas en Probeta 3

En la Probeta 3 se obtuvieron las deformaciones unitarias de los patines en la zona cercana a la soldadura con la columna y en el centro de la zona de sección reducida, medidos mediante la colocación de Straing Gauges mismos que se encuentran distribuidos como se indica en la Figura 3-66, mediante estos se pudo obtener las curvas de las histéresis de Carga vs. Deformación unitaria que se muestran en los Gráfico 3-24, Gráfico 3-25, Gráfico 3-26, Gráfico 3-27.

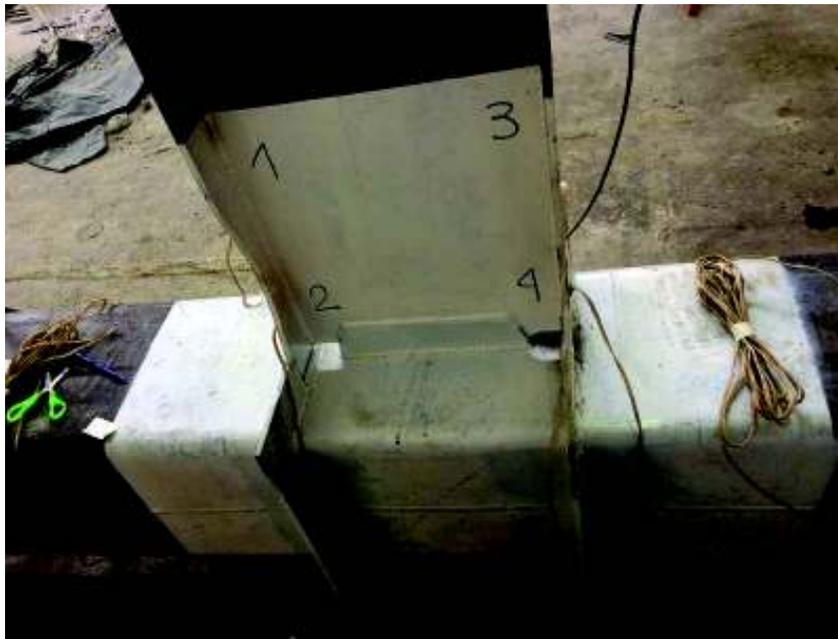


Figura 3-66.- Enumeración de Straing Gauges Probeta 3

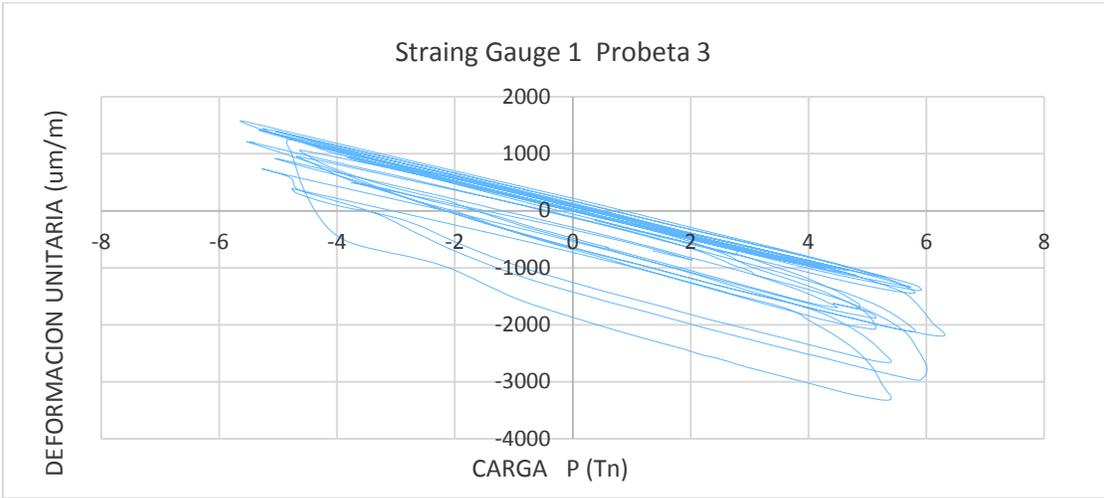


Gráfico 3-24.- Deformación unitaria en SG1 de Probeta 3

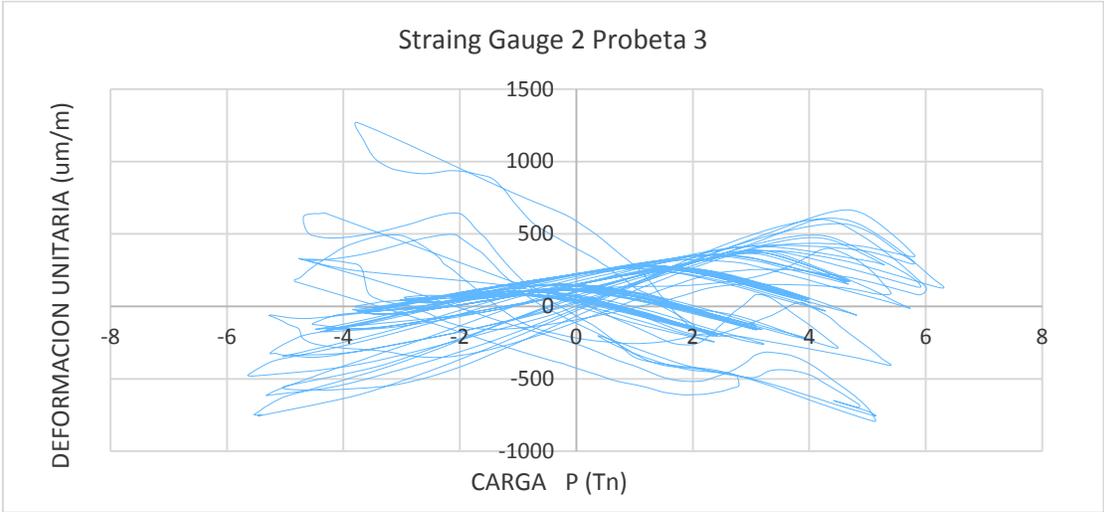


Gráfico 3-25.- Deformación unitaria en SG2 de Probeta 3

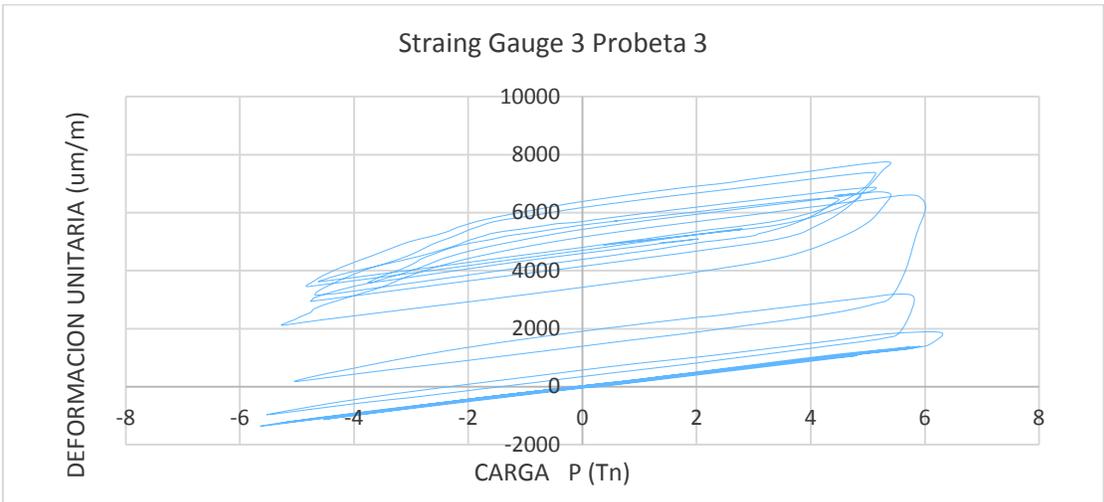


Gráfico 3-26.- Deformación unitaria en SG3 de Probeta 3

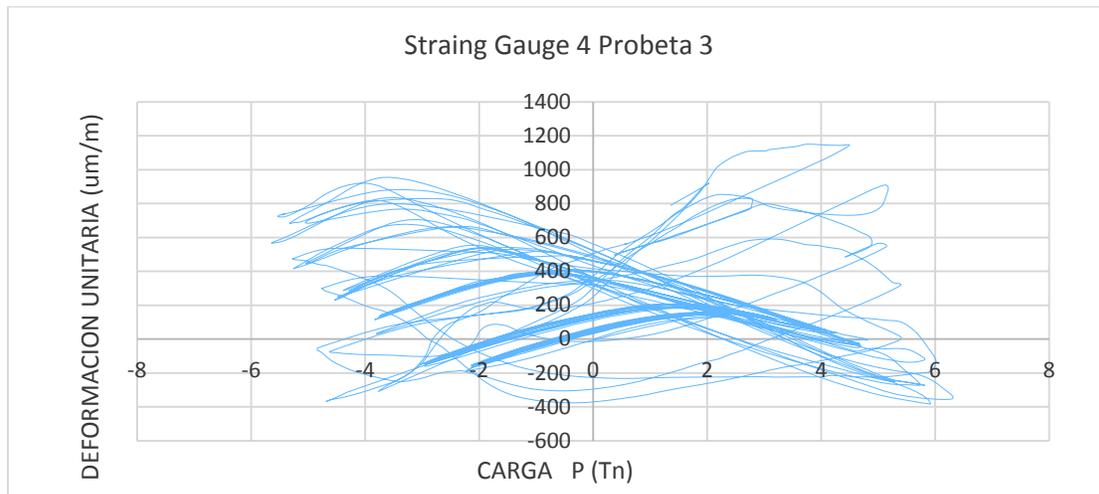


Gráfico 3-27.- Deformación unitaria en SG4 de Probeta 3

3.3.2.1 Discusión de los valores de deformaciones unitarias obtenidas en Probeta 3

En lo concerniente a las deformaciones unitarias, de las Curvas Histeréticas obtenidas se puede observar que existe un comportamiento plástico en la viga en las zonas de la sección reducida tal como se puede apreciar en el Gráfico 3-24 y el Gráfico 3-26, estas deformaciones unitarias están en el rango máximo de $\epsilon = 3300 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$ en el Straing Gauges 1 y de $\epsilon = 7700 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$ en el Straing Gauges 3, valores mayores que la deformación máxima unitaria en el rango elástico que es $\epsilon = 1512.93 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$, por lo que se presenta una deformación plástica residual, deformación que al ser pequeña no se puede apreciar visualmente en la viga, esto luego de haber hecho la inspección visual a la probeta. Las deformaciones unitarias que se presentan en la viga en la zona cercana a la soldadura entre la placa y la columna que se aprecian en el Gráfico 3-25 y en el Gráfico 3-27 están en el rango de $\epsilon = 1200 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$ deformación menor que la deformación máxima unitaria en el rango elástico que es $\epsilon = 1512.93 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$, dicho lo anterior hay que señalar que en estas partes de la viga es donde se observó la presencia de fallas de soldadura en las placas colocadas en la cara de la columna y la viga mismas que se pueden apreciar en las figuras correspondientes.

3.3.3. Resultados de Esfuerzos obtenidos en la Probeta 3 a partir del Uso de métodos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks

Mediante la modelación de la Probeta 3 utilizando elementos finitos (MEF), considerando las características de materiales, restricciones, así como sus dimensiones, al usar en el Programa SolidWorks la mayor carga obtenida del ensayo realizado, se obtuvo las siguientes figuras que ilustran el comportamiento de la conexión.

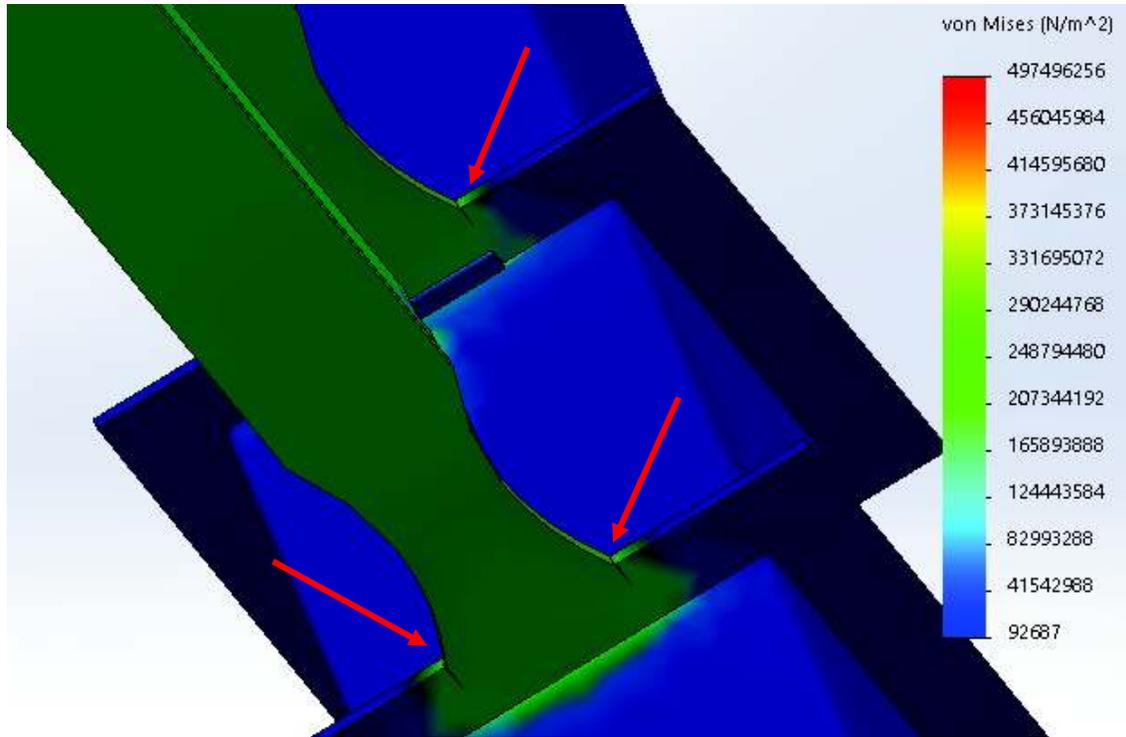


Figura 3-67.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista posterior Probeta 3

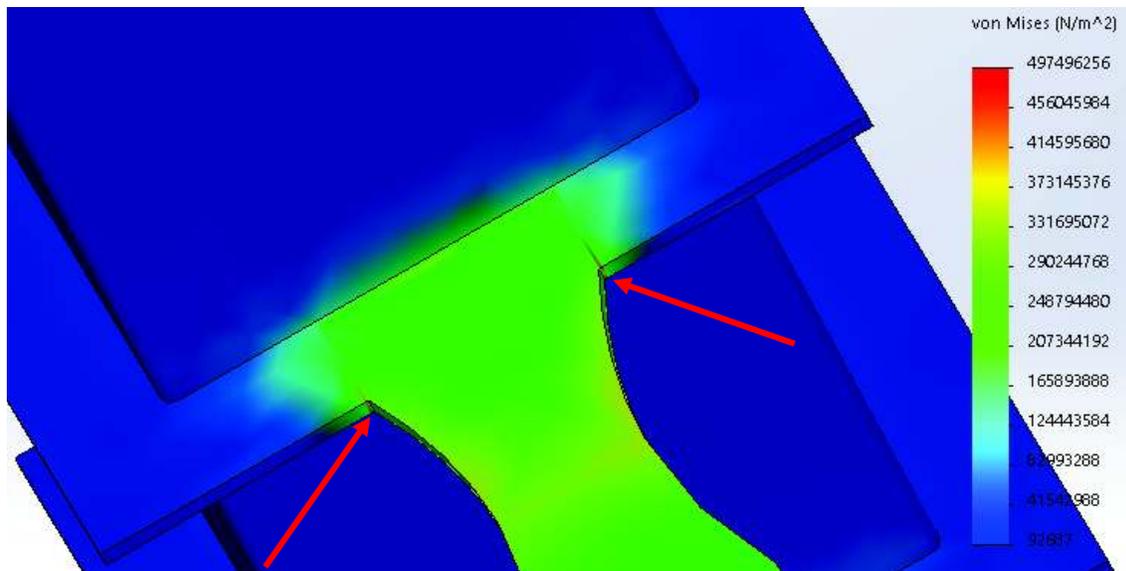


Figura 3-68.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista superior Probeta 3

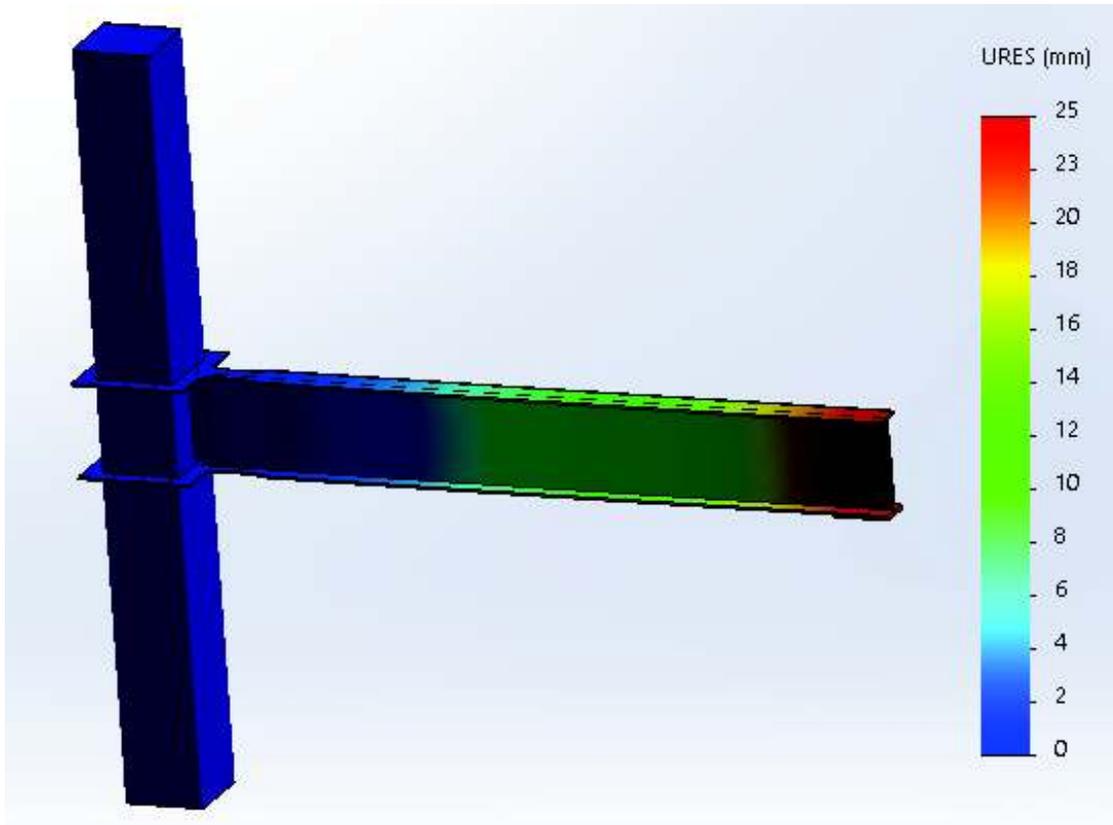


Figura 3-69.- Análisis No Lineal. Desplazamientos Probeta 3

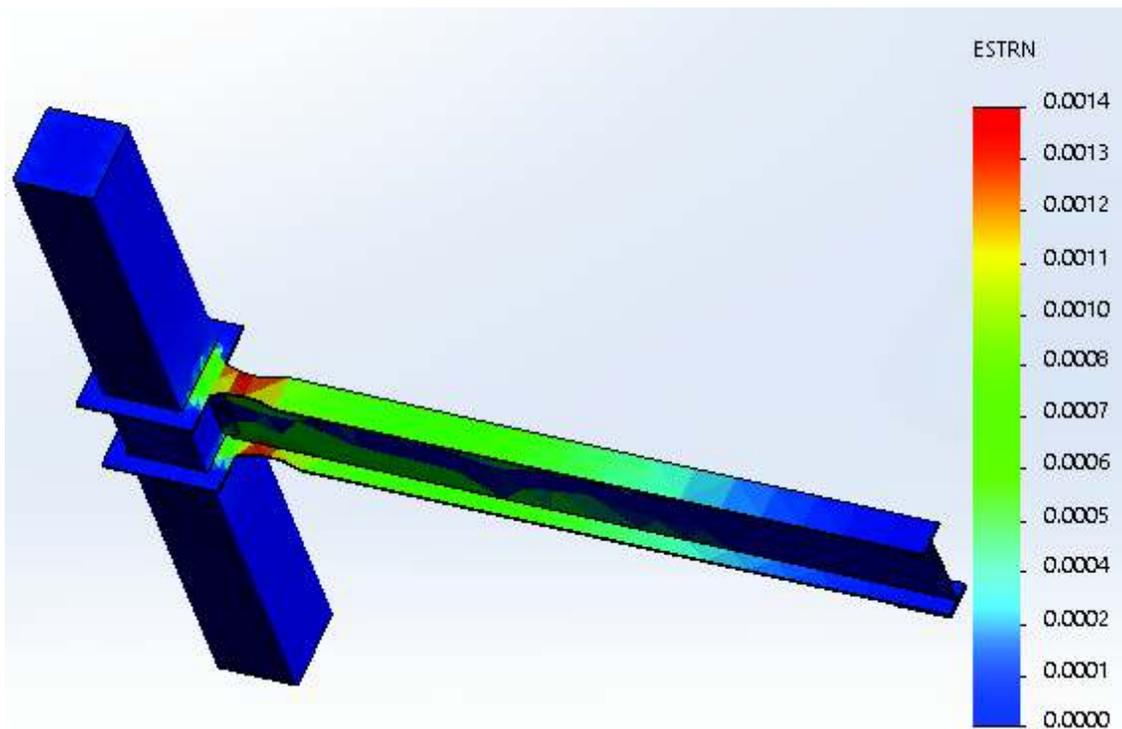


Figura 3-70.- Análisis No Lineal. Deformaciones Unitarias Probeta 3

3.3.3.1 Análisis de los esfuerzos obtenidos en la Probeta 3 a partir del Uso de métodos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks

De los resultados obtenidos a partir del uso de métodos finitos, mediante el programa SolidWorks de acuerdo a los esfuerzos de Von Mises del modelo de la Probeta 3, al igual que en las probetas anteriores, se puede observar que los mayores esfuerzos se presentan en las esquinas de los patines de la viga, esta vez en la zona junto a las placas de refuerzo sean estos superiores o inferiores, el esfuerzo máximo en estos sectores está en el orden de los $497.50 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ tal como se puede apreciar en la Figura 3-67 y en la Figura 3-68.

Los esfuerzos que se aprecian en el modelo de la probeta ensayada, son superiores al esfuerzo ultimo promedio del material base de acero A36 señalado en la Sección 2.3.3, y del esfuerzo ultimo del material de aporte dado por el cordón de soldadura con el electrodo E7018 que es de $F_u = 70 \text{ Ksi} = 482.63 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, valor tomado del catálogo de los electrodos West Arco (Soldarco, 2015), materiales que fueron utilizados en la elaboración de esta probeta; con los resultados antes mencionados se obtiene la relación de esfuerzos que se resume en la TABLA 3-14.

TABLA 3-14.- Comparación de los esfuerzos obtenidos a partir de MEF de la probeta 3 en relación a los esfuerzos últimos del material base A36 y el material de aporte E7018

PROBETA 3		
$\sigma \text{ max} =$	$4.98\text{E}+08 \text{ N/m}^2$	$\sigma \text{ max} / F_u$
(A36) $F_u =$	$4.78\text{E}+08 \text{ N/m}^2$	101.88 %
(E7018) $F_u =$	$4.82\text{E}+08 \text{ N/m}^2$	101.04 %

Según lo detallado en la TABLA 3-14 se nota que el esfuerzo que se produce en las esquinas de los patines es un 1.88% superior al F_u del material base A36, y un 1.04% superior al F_u del material de aporte dado por el electrodo E7018, razón por la cual la falla de la conexión empieza en estos sectores que se encuentran sobre esforzados, sectores donde se aprecian fallas en la soldadura y material base, tal como se muestra en las figuras anteriores respecto al ensayo realizado, estas fallas por concentración de esfuerzos es la que impide que se forme la rótula plástica de la manera esperada, ya que al presentarse dicha concentración de esfuerzos y al seguir aplicándose el protocolo de carga la falla continua por estos sectores sobre esforzados provocando las fallas antes mencionadas mismas que se pueden apreciar en las figuras anteriores.

3.3.4. Comparación de desplazamientos de la probeta 3.

Con la finalidad de validar el modelo realizado en SolidWorks, así como también comparar el desplazamiento experimental obtenido en la Probeta 3, se definió un modelo básico realizado en ETABS considerando la columna compuesta RCFT de dimensiones 350x350x8 mm y la Viga metálica Tipo I 150x10x400x6 mm, este modelo cuenta con las mismas dimensiones de la probeta ensayada, así como las restricciones en sus puntos de apoyo, en la conexión viga columna se colocó las características de una conexión RBS; además se realizó un modelo de la Probeta 3 en SAP2000, de similar forma que en el ETABS señalando que en este programa no se puede colocar la conexión RBS, a estos modelos se le aplico la carga máxima que resistió la probeta ensayada a fin de obtener valores de desplazamiento, que junto al valor que se obtuvo en SolidWorks serán comparados con el desplazamiento experimental obtenido. Estos resultados se muestran en la TABLA 3-15.

TABLA 3-15.- Resultados de desplazamientos obtenidos en la Probeta 3

PROBETA 3			
	Carga P (Tn)	Desplazamiento Δ (mm)	Diferencia %
Probeta Ensayada	6.282	99.906	100.000
Modelo en ETABS RBS	6.282	26.027	26.051
Modelo SAP2000	6.282	25.630	25.654
Modelo SolidWorks	6.282	25.000	25.024

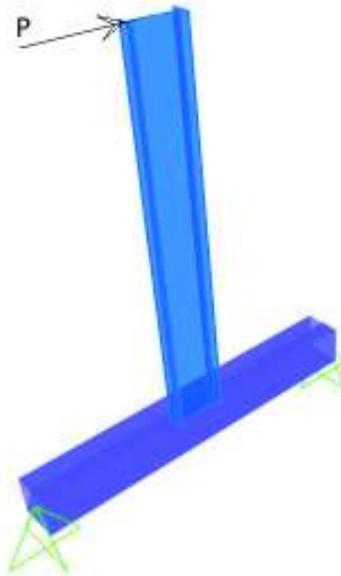


Figura 3-71.- Modelo de Probeta para obtener un desplazamiento Δ (mm) debido a una carga P(Tn)

3.3.4.1 Análisis de los resultados de desplazamiento obtenidos de la probeta 3.

De la comparación realizada de desplazamientos obtenidos entre ETABS, SAP2000, SolidWorks y lo obtenido en laboratorio se puede notar que el desplazamiento obtenido del ensayo a la carga señalada es mucho mayor que lo obtenido en estos programas tal como se indica en la TABLA 3-15, el valor de desplazamiento obtenido de los modelos antes señalados solo llegan alrededor del 25 % del desplazamiento real obtenido del desplazamiento de la probeta, encontrando que el desplazamiento del modelo en ETABS, es un poco superior al del SAP2000, esto debido a que en el ETABS se puede simular la conexión viga columna RBS, mientras que en el SAP2000 no cuenta con dicha herramienta, el desplazamiento encontrado mediante el uso de estos programas es similar al obtenido mediante el programa SolidWorks lo que validaría los modelos realizados, sin embargo el hecho de que en el ensayo se obtiene un desplazamiento mayor con la misma carga que en los programas mencionados se debe a que dichos programas no podrían predecir las fallas de materiales y soldaduras que se presentaron en el ensayo experimental de la probeta.

3.4. Probeta 4:

La probeta 4 se refiere al modelo que es la combinación del primer modelo (modelo con diagonales dentro de la columna) y el tercer modelo (modelo con anillo de placas de refuerzo colocadas de manera perpendicular a la cara de la columna), pero colocando la placas de refuerzo sobre el patín superior y debajo del patín inferior, modelo que se puede observar en la Figura 3-72.

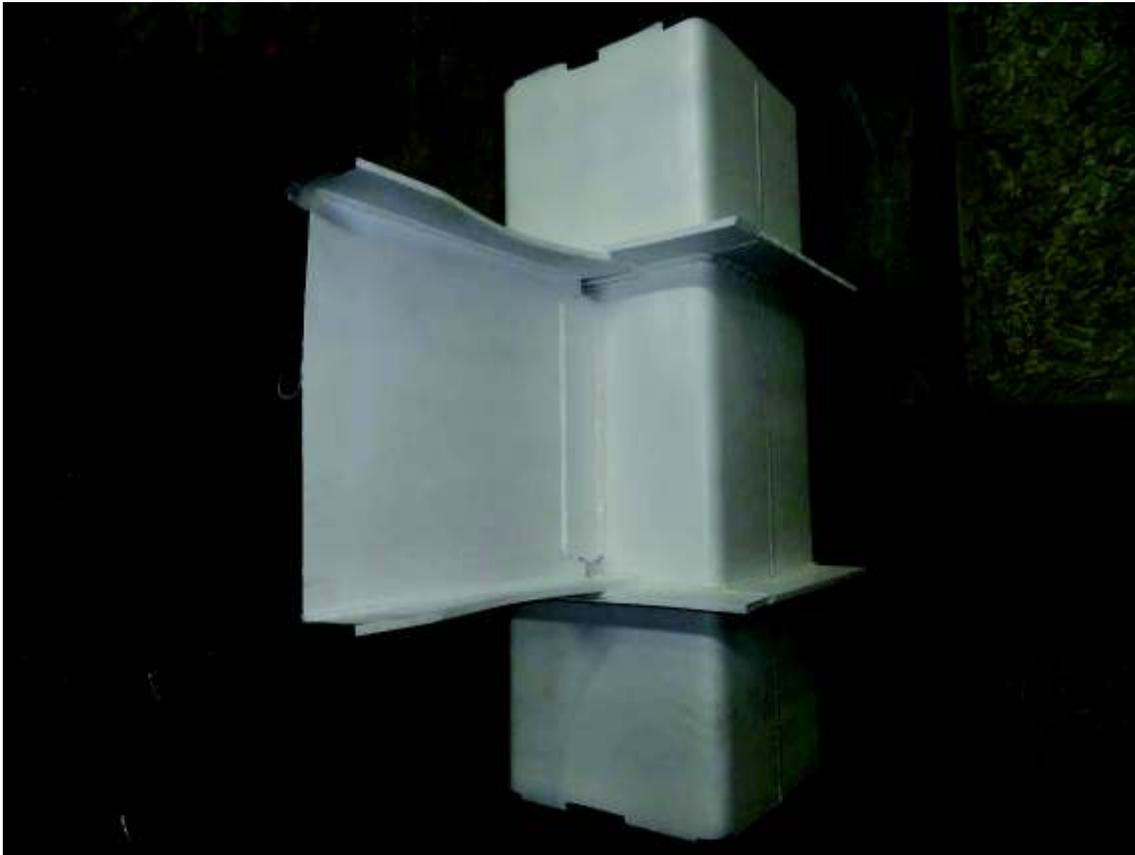


Figura 3-72.- Detalle de Probeta 4

De los ensayos realizados a esta probeta, se pudo obtener los siguientes resultados siguiendo el protocolo de carga antes mencionado, mismos que se encuentran tabulados según la cantidad de carga dada a la probeta ensayada y el desplazamiento obtenido de acuerdo a cada ciclo del ensayo, según lo indicado en la TABLA 3-16 y los Gráfico 3-28, Gráfico 3-29.

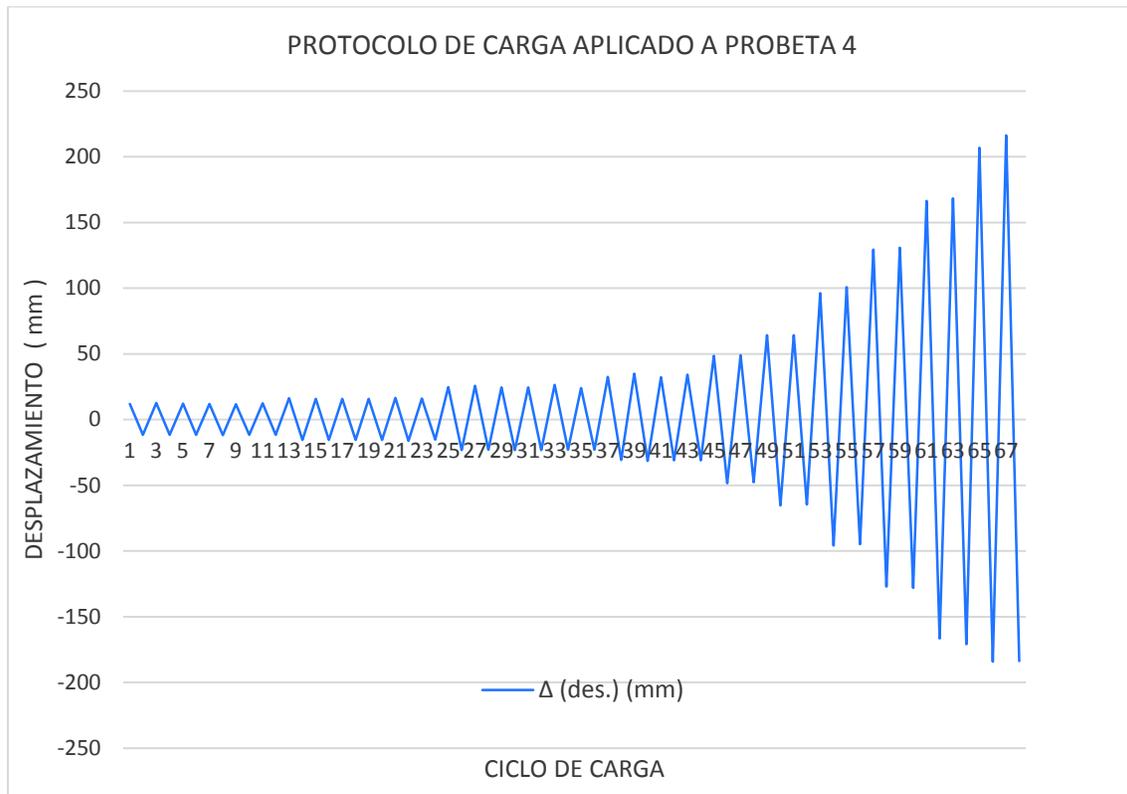


Gráfico 3-28.- Desplazamiento según protocolo de carga aplicado a Probeta 4

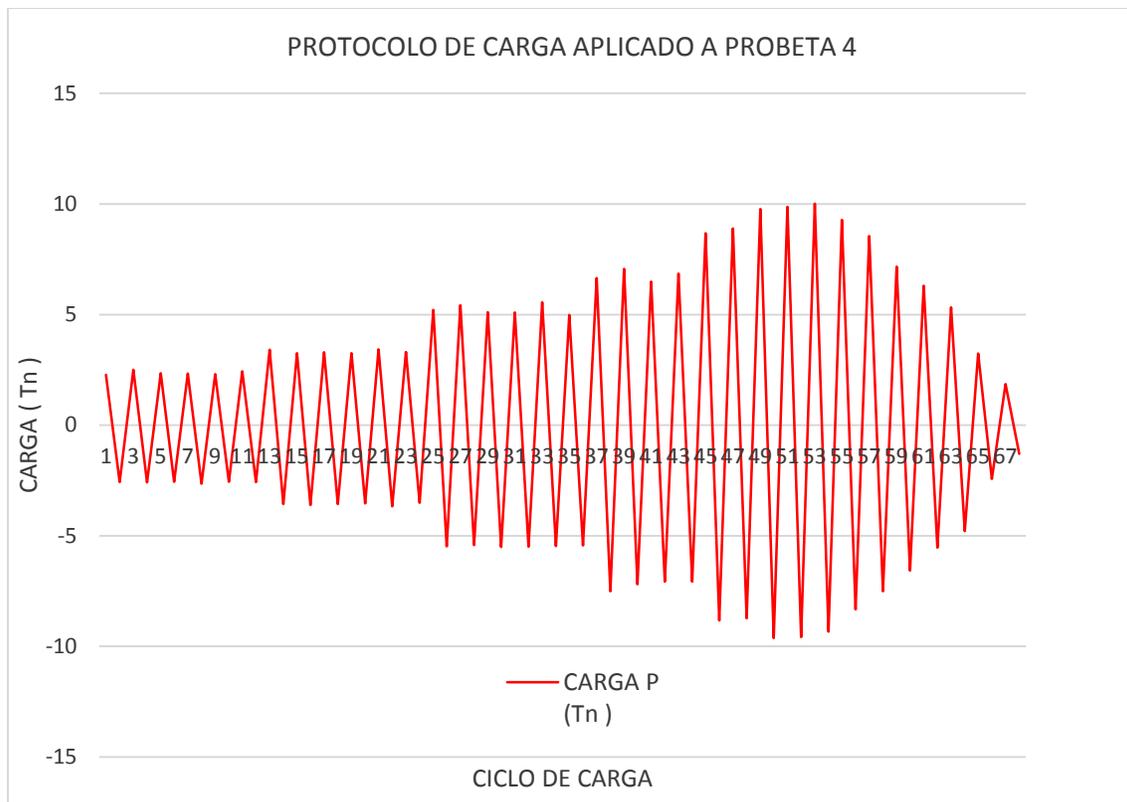


Gráfico 3-29.- Carga Aplicada según protocolo de carga a Probeta 4

TABLA 3-16.- Resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 4

		CARGA P (Tn)	Δ (des.) (mm)			CARGA P (Tn)	Δ (des.) (mm)			CARGA P (Tn)	Δ (des.) (mm)
CICLO 1	1.1	2.27	11.84	CICLO 3	3.1	5.21	24.67	C6	6.1	9.77	64.30
		-2.57	-11.59			-5.48	-23.18			-9.62	-65.29
	1.2	2.51	12.67		3.2	5.43	25.73		6.2	9.87	64.30
		-2.58	-11.54			-5.42	-22.84			-9.57	-64.58
	1.3	2.35	12.27		3.3	5.11	24.50		7.1	10.01	96.32
		-2.56	-11.47			-5.51	-23.21			-9.33	-95.74
	1.4	2.33	11.84		3.4	5.10	24.49		7.2	9.28	100.74
		-2.65	-11.81			-5.49	-23.15			-8.32	-94.84
	1.5	2.30	11.78		3.5	5.56	26.56		8.1	8.55	129.49
		-2.56	-11.46			-5.46	-23.00			-7.51	-127.10
	1.6	2.44	12.34		3.6	4.98	24.17		8.2	7.17	130.88
		-2.57	-11.48			-5.43	-22.92			-6.57	-128.12
CICLO 2	2.1	3.41	16.33	CICLO 4	4.1	6.65	32.51	C9	9.1	6.30	166.31
		-3.57	-15.51			-7.50	-30.68			-5.53	-166.55
	2.2	3.26	15.79		4.2	7.06	34.97		9.2	5.33	168.39
		-3.61	-15.42			-7.19	-31.34			-4.78	-170.76
	2.3	3.29	15.91		4.3	6.49	32.33		10.1	3.24	206.78
		-3.56	-15.43			-7.07	-30.86			-2.43	-184.11
	2.4	3.25	15.77		4.4	6.85	34.15		10.2	1.86	216.32
		-3.54	-15.38			-7.07	-30.94			-1.29	-183.67
	2.5	3.43	16.52		5.1	8.68	48.41				
		-3.66	-16.16			-8.83	-48.42				
	2.6	3.31	16.01		5.2	8.89	48.91				
		-3.50	-15.26			-8.73	-47.67				

Una vez aplicado el protocolo de carga se pudo obtener los resultados que se observan en la TABLA 3-16, a continuación en la TABLA 3-17 se puede visualizar la descripción de los daños en la Probeta ensayada de acuerdo al ciclo de carga.

TABLA 3-17.- Descripción de daños obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 4

		CARGA P (Tn)	Δ (des.) (mm)	COMENTARIOS
C6	6.2	9.87	64.30	
		-9.57	-64.58	En este ciclo se nota una leve deformación en el patín inferior de la viga Figura 3-73
C7	7.1	10.01	96.32	En este ciclo se nota una deformación mayor en el patín inferior de la viga Figura 3-74.
		-9.33	-95.74	En este ciclo se nota una pequeña deformación en el alma de la viga Figura 3-75 que es el comienzo de la formación de la rótula plástica
	7.2	9.28	100.74	En este ciclo se nota una deformación en el patín superior de la viga así como en el alma de la viga Figura 3-76.
		-8.32	-94.84	En este ciclo se nota una pequeña deformación en el alma de la viga Figura 3-77
C8	8.1	8.55	129.49	En este ciclo se aprecia una mayor deformación en el patín inferior Figura 3-78, Figura 3-79
		-7.51	-127.10	En este ciclo se aprecia una mayor deformación en el patín superior Figura 3-80
	8.2	7.17	130.88	En este ciclo se aprecia una mayor deformación en el patín superior en la zona de la sección reducida de la viga Figura 3-81, Figura 3-82
		-6.57	-128.12	En este ciclo se aprecia una mayor deformación en el patín superior en la zona de la sección reducida de la viga Figura 3-83, Figura 3-84
C9	9.1	6.30	166.31	En este ciclo se aprecia una creciente deformación en el patín superior en la zona de la sección reducida de la viga Figura 3-85, Figura 3-86
		-5.53	-166.55	En este ciclo se puede apreciar la deformación en el alma de la viga debido a la formación de la rótula plástica Figura 3-87, Figura 3-88
	9.2	5.33	168.39	En este ciclo se aprecia una creciente deformación en el patín inferior en la zona de la sección reducida de la viga Figura 3-89
		-4.78	-170.76	En este ciclo se puede apreciar de mejor manera la formación de la rótula plástica en la viga Figura 3-90
C10	10.1	3.24	206.78	En este ciclo se aprecia la deformación en la sección reducida de la viga en el patín superior Figura 3-91
		-2.43	-184.11	En este ciclo se aprecia la falla de material del patín inferior y del alma de la viga Figura 3-92, Figura 3-93
	10.2	1.86	216.32	En este ciclo se aprecia la falla de material del patín superior y el alma de la viga Figura 3-94
		-1.29	-183.67	En este ciclo se aprecia la falla total del material en el patín inferior Figura 3-95, Figura 3-96, así como la deformación total de la probeta Figura 3-97

Cabe destacar que luego de aplicado el protocolo de carga a esta probeta, se notó que no existió daño en la cara de la columna y que los daños en la probeta ocurrieron en la

viga, cumpliéndose con la filosofía de diseño columna fuerte viga débil, columna fuerte nudo fuerte viga débil.

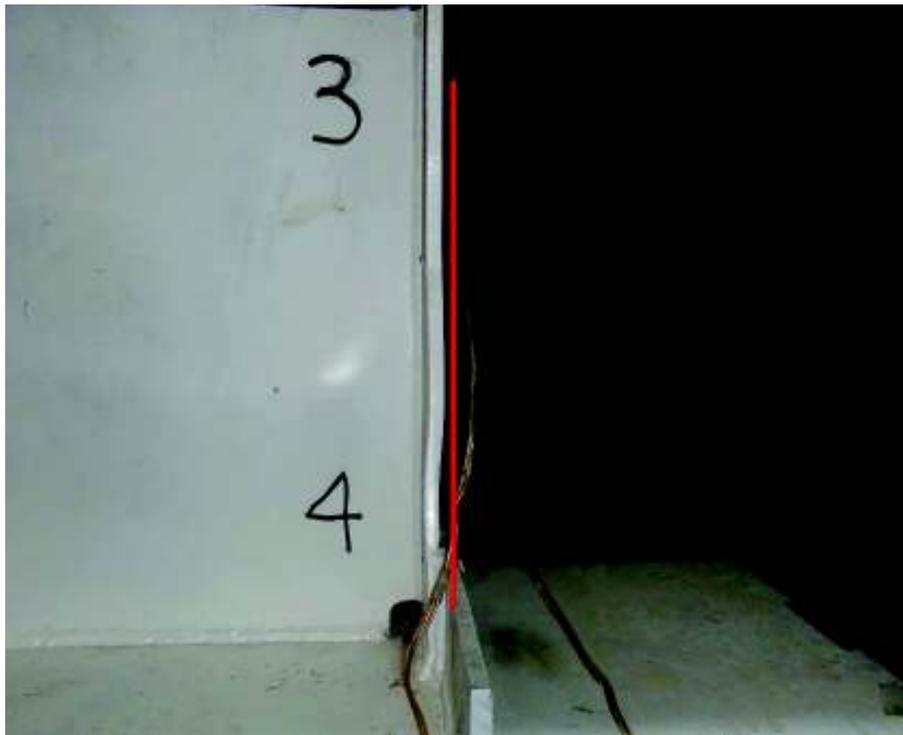


Figura 3-73.- Falla en ciclo 6.2 Probeta 4

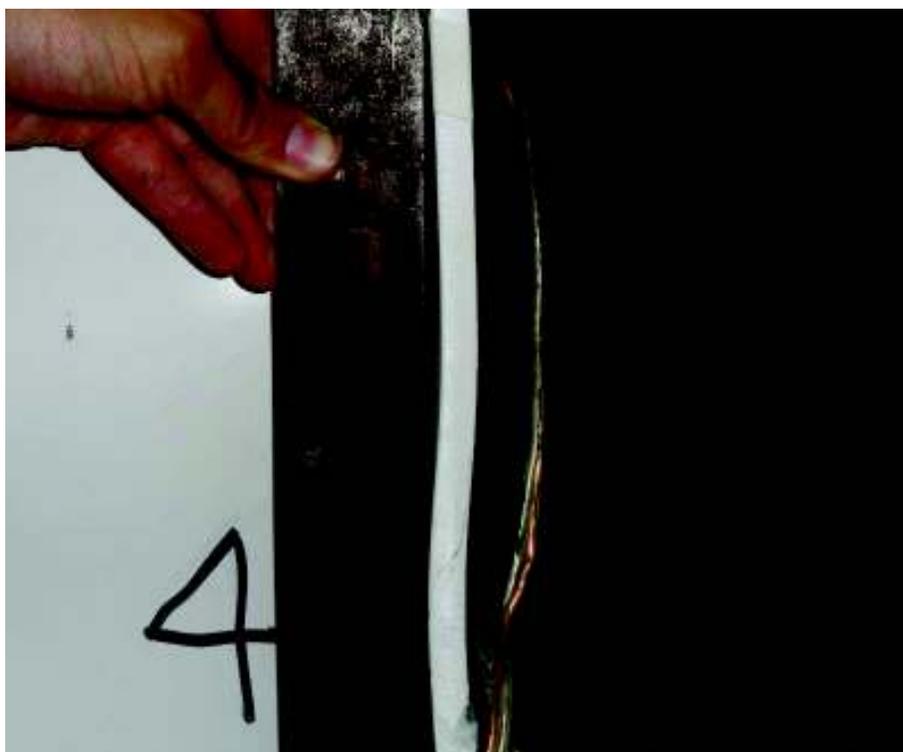


Figura 3-74 .- Falla en ciclo 7.1 Probeta 4

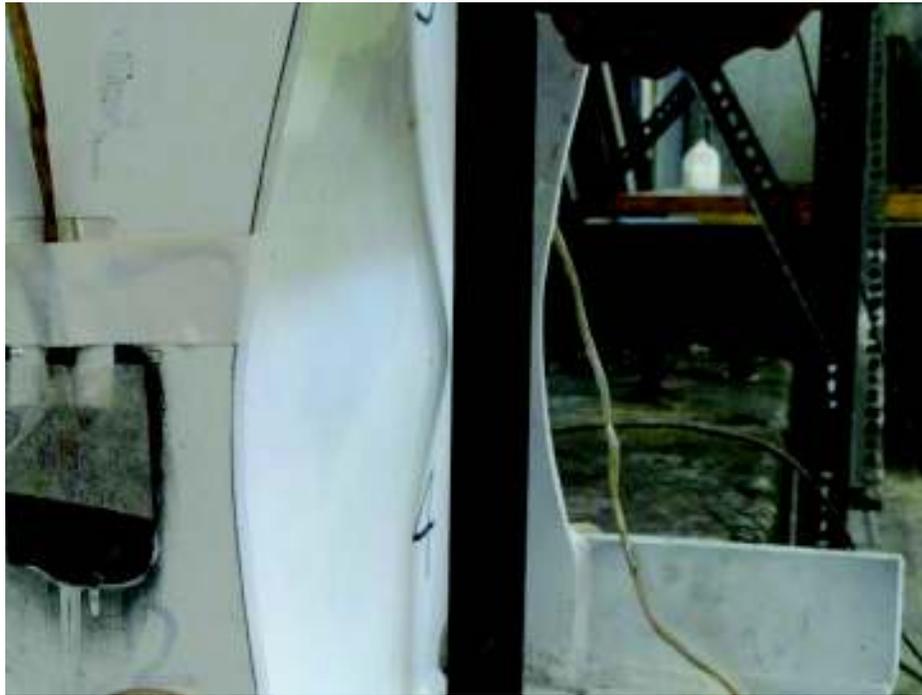


Figura 3-75.- Falla en ciclo 7.1 Probeta 4



Figura 3-76.- Falla en ciclo 7.2 Probeta 4



Figura 3-77.- Falla en ciclo 7.2 Probeta 4

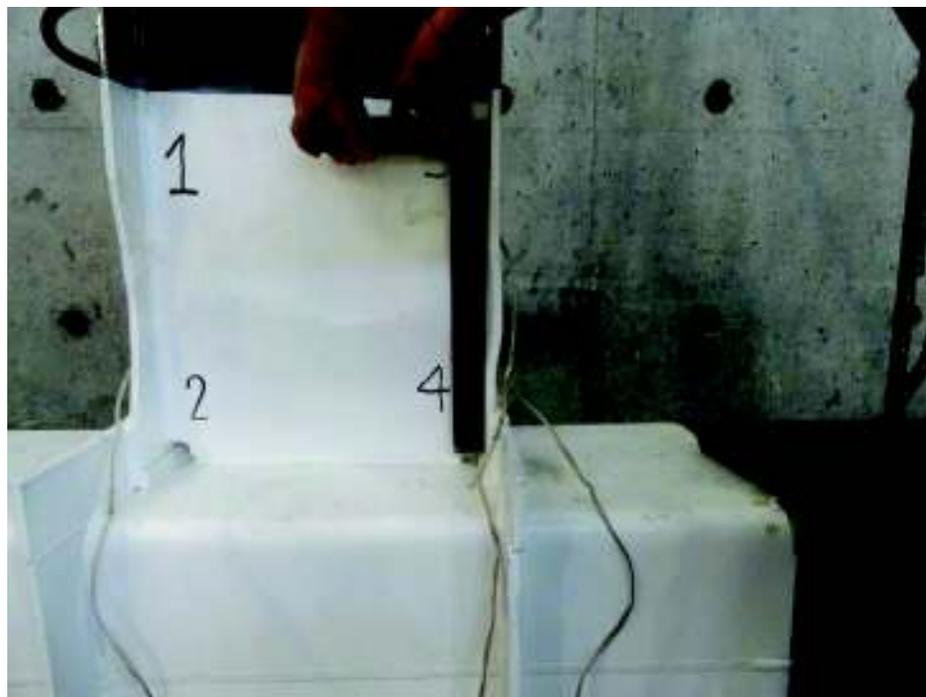


Figura 3-78.- Falla en ciclo 8.1 Probeta 4



Figura 3-79.- Falla en ciclo 8.1 Probeta 4



Figura 3-80.- Falla en ciclo 8.1 Probeta 4



Figura 3-81.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 4



Figura 3-82.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 4

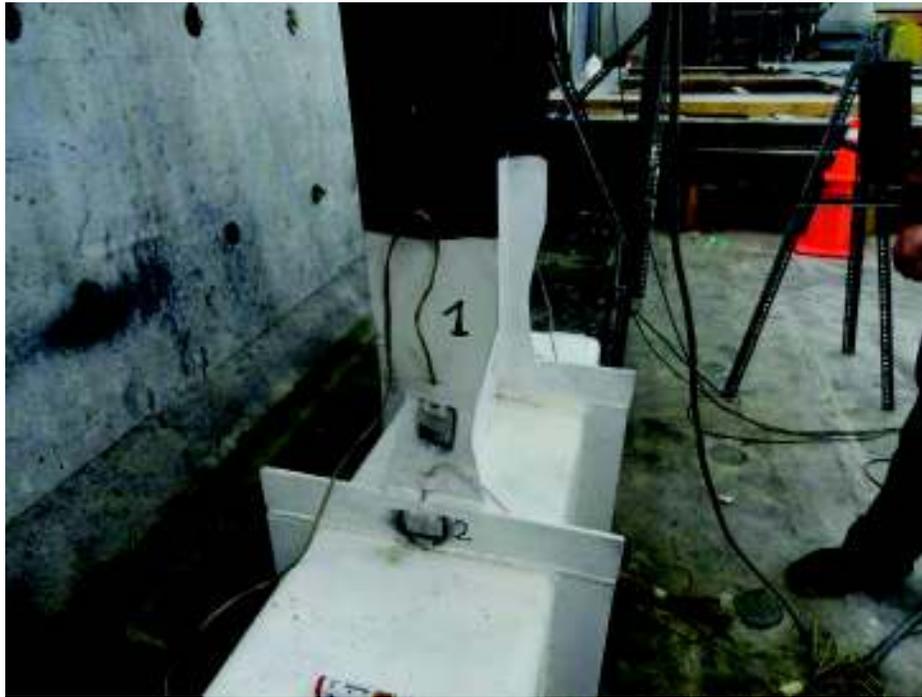


Figura 3-83.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 4



Figura 3-84.- Falla en ciclo 8.2 Probeta 4



Figura 3-85.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 4



Figura 3-86.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 4



Figura 3-87.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 4

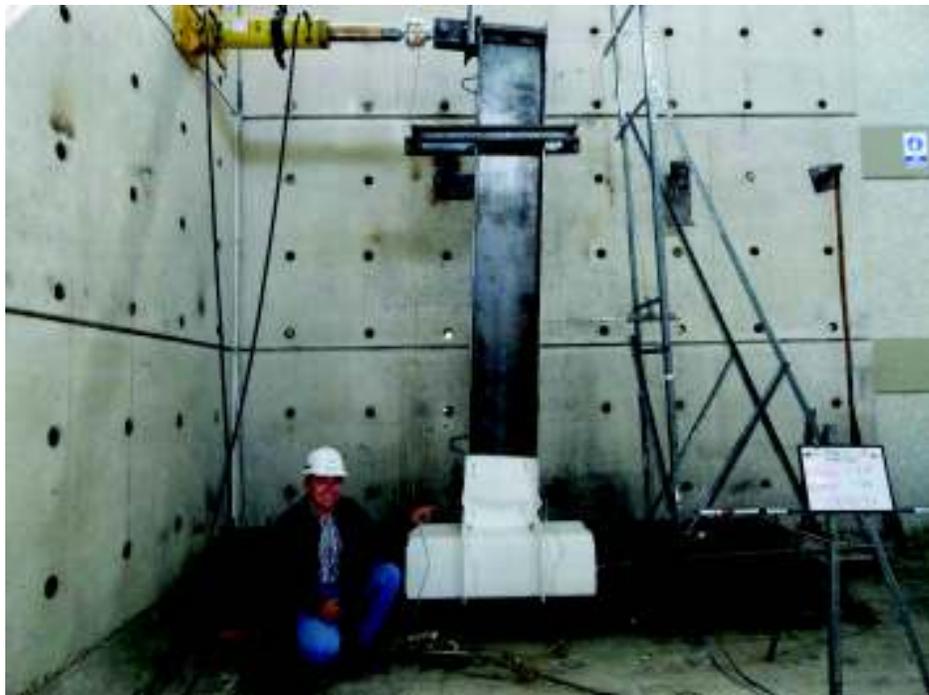


Figura 3-88.- Falla en ciclo 9.1 Probeta 4



Figura 3-89.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 4



Figura 3-90.- Falla en ciclo 9.2 Probeta 4



Figura 3-91.- Falla en ciclo 10.1 Probeta 4

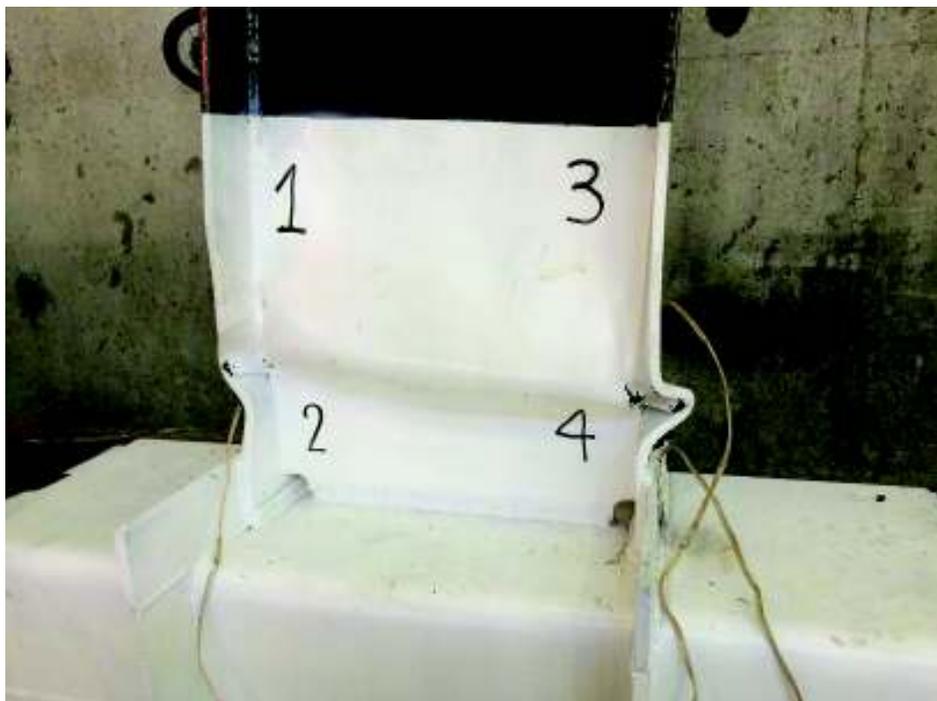


Figura 3-92.- Falla en ciclo 10.1 Probeta 4



Figura 3-93.- Falla en ciclo 10.1 Probeta 4



Figura 3-94.- Falla en ciclo 10.1 Probeta 4



Figura 3-95.- Falla en ciclo 10.2 Probeta 4



Figura 3-96.- Falla en ciclo 10.2 Probeta 4



Figura 3-97.- Falla en ciclo 10.2 Probeta 4

3.4.1. Histéresis de Probeta 4.-

Una vez obtenidos todos los datos del ensayo realizado a la Probeta 4, se procedió a procesarlos y a corregirlos obteniendo las Histéresis de Carga vs Desplazamiento que se muestra en el Gráfico 3-30, y la Histéresis de Momento vs Giro que se muestra en el Gráfico 3-31.

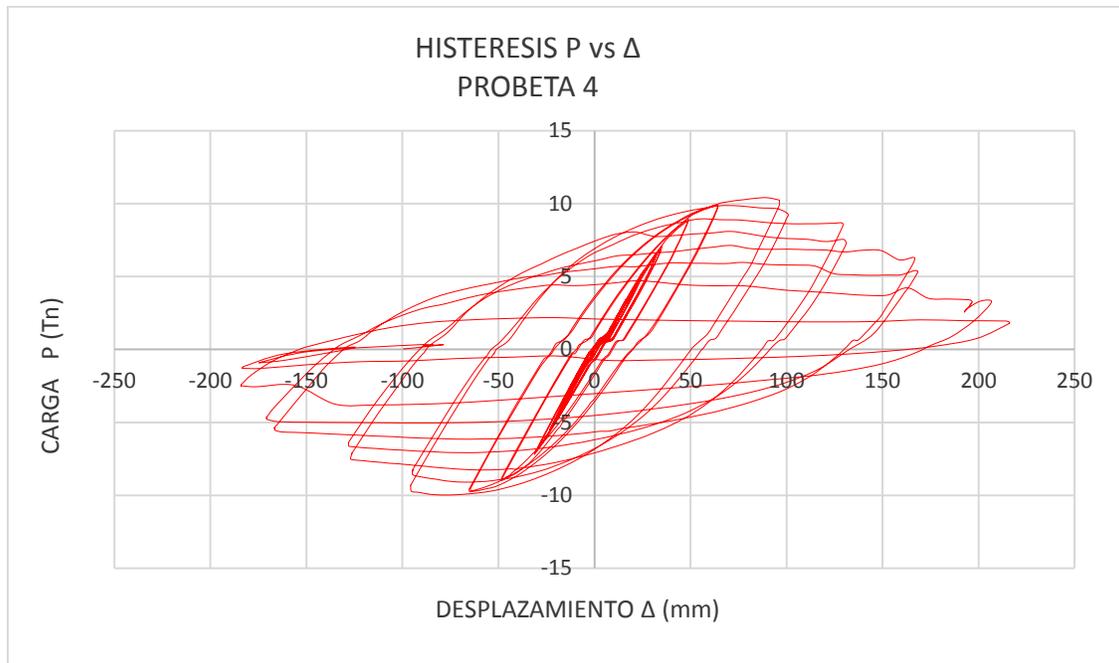


Gráfico 3-30.- Histéresis P vs Δ de la Probeta 4

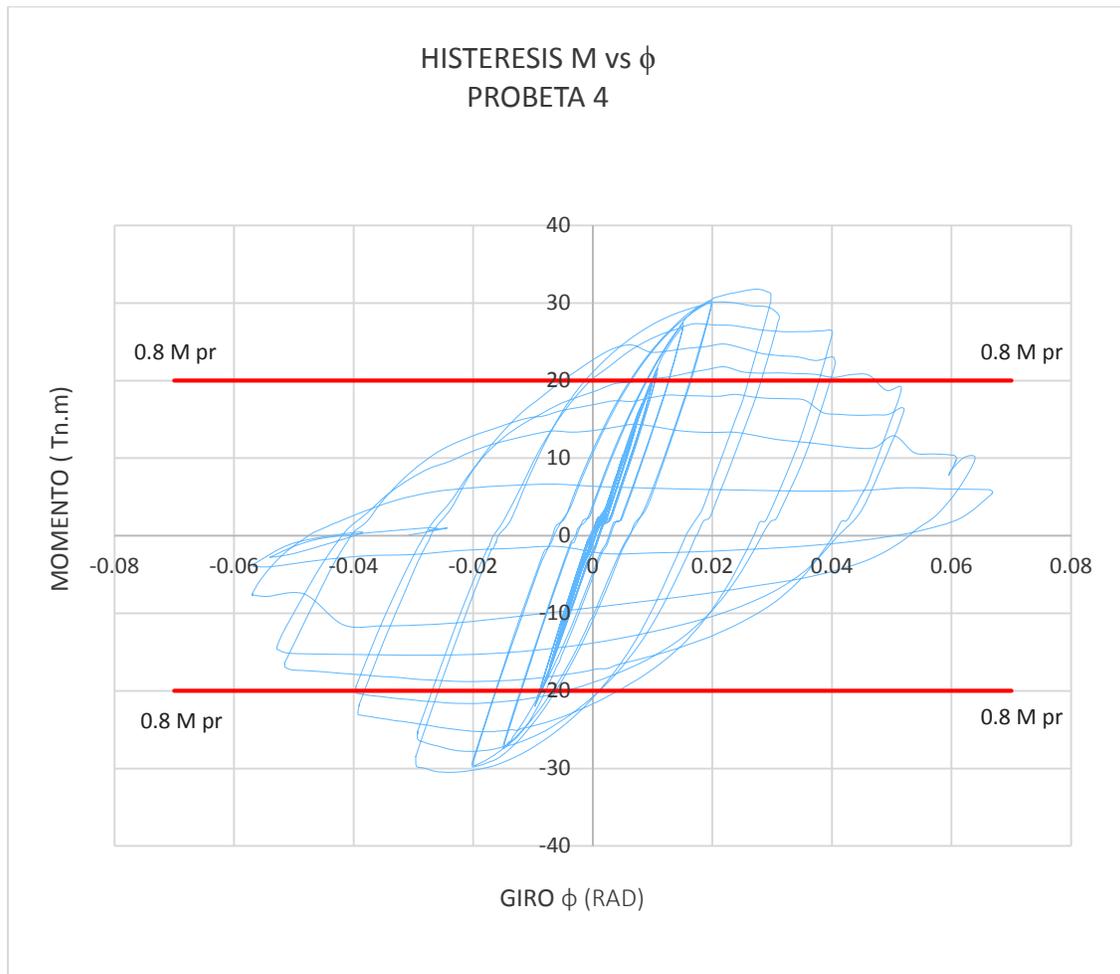


Gráfico 3-31.- Histéresis M vs ϕ de la Probeta 4

De los datos con los que se obtuvo la Histéresis, mostradas en los gráficos anteriores se obtiene el siguiente resumen de datos mismos que se pueden observar en la TABLA 3-18, y el Gráfico 3-32.

TABLA 3-18.- Resumen de resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 4

PROBETA 4				
	Carga P (Tn)	Desplazamiento Δ (mm)	Momento M (Tn.m)	Giro ϕ (Rad)
	8.546	129.489	26.133	0.040
Max (+)	10.399	88.804	31.800	0.027
	9.873	64.302	30.192	0.020
	0	0	0	0
	-9.625	-65.289	-29.433	-0.020
Max (-)	-9.973	-78.974	-30.497	-0.024
	-7.507	-127.005	-22.956	-0.040

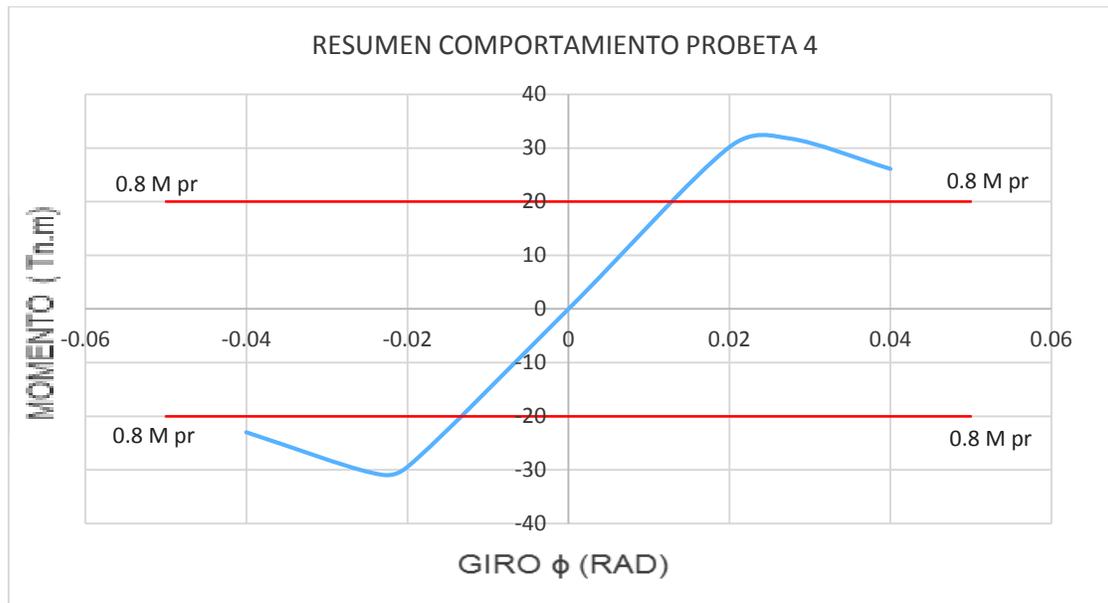


Gráfico 3-32.- Resumen del comportamiento de la Probeta 4 M vs ϕ

3.4.1.1 Discusión de los Resultados obtenidos de las Histéresis de la Probeta 4

Según se indicó anteriormente la probeta ensayada debe soportar un momento flector en la cara de la columna superior al 80% del momento de plastificación de la viga, para una rotación de 0.02 radianes para calificar como Conexión a Momento Parcialmente Restringida (PR) y 0.04 radianes, para calificar como una Conexión a Momento Completamente Restringida (FR), de acuerdo a lo que señala (ANSI/AISC 341-10, 2012).

Según (ANSI/AISC 358-16, 2016) se tiene que el momento probable plástico (M_{pr}) en la rótula plástica para una conexión RBS, es el calculado en la sección 2.3.2, valor que se señala a continuación; en el Gráfico 3-31 y en el Gráfico 3-32 se ha incluido el 80 % de ese valor (línea roja).

$$M_{pr} = 25.02 \text{ Tn.m} \quad 0.8 * M_{pr} = 20.02 \text{ Tn.m}$$

De lo observado en las curvas de histéresis de esta probeta, se puede notar que existe un comportamiento simétrico en la misma, con un lazo amplio que denota una buena disipación de energía, para un giro de 0.02 rad se puede ver que la probeta resiste momentos máximos del orden de 30 Tn.m ($1.2 M_{pr}$), y para giros de 0.04 rad resiste un momento máximo positivo del orden de las 26 Tn.m ($1.04 M_{pr}$) y un momento

máximo negativo del orden de las 23 Tn.m ($0.92 M_{pr}$) según se puede apreciar en la TABLA 3-18.

Visto el Gráfico 3-31, la TABLA 3-18 y el Gráfico 3-32, se puede decir que la Probeta 4 califica como una conexión (FR), dicho esto y ya que el comportamiento de la Probeta es casi simétrico se puede deducir que el tipo de conexión utilizada en esta probeta satisface las condiciones solicitados por la norma (ANSI/AISC 341-10).

3.4.2. Deformaciones Unitarias Ocurridas en Probeta 4

En la Probeta 4 se obtuvieron las deformaciones unitarias de las placas de refuerzo en la zona cercana a la soldadura con la columna y en el centro de la zona de sección reducida, medidos mediante la colocación de Straing Gauges mismos que se encuentran distribuidos como se indica en la Figura 3-98, mediante estos se pudo obtener las curvas de las histéresis de Carga vs. Deformación unitaria que se muestran en los Gráfico 3-33, Gráfico 3-34, Gráfico 3-35, Gráfico 3-36.

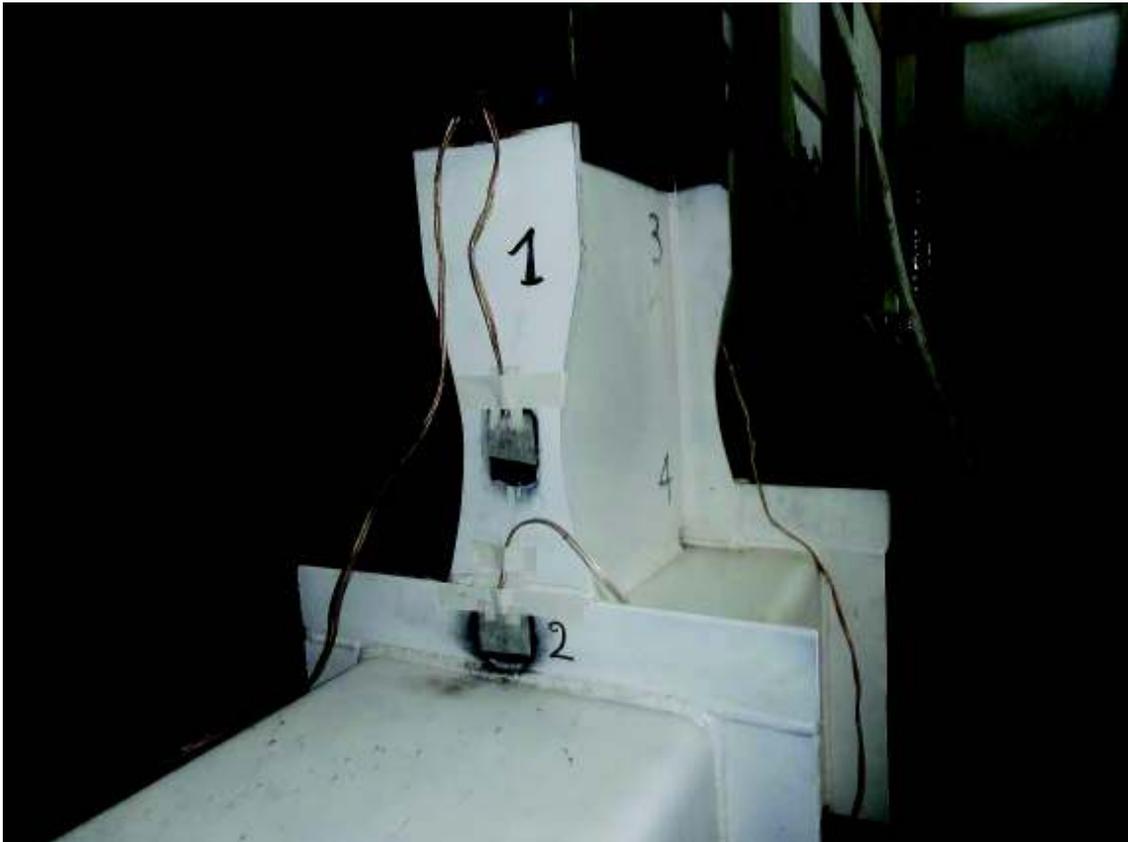


Figura 3-98.- Enumeración de Straing Gauges Probeta 4

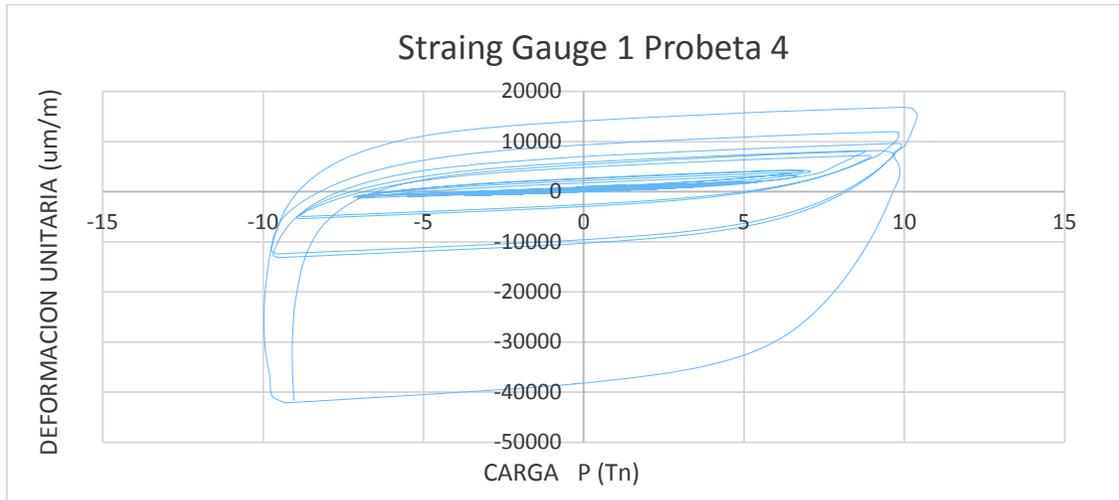


Gráfico 3-33.- Deformación unitaria en SG1 de Probeta 4

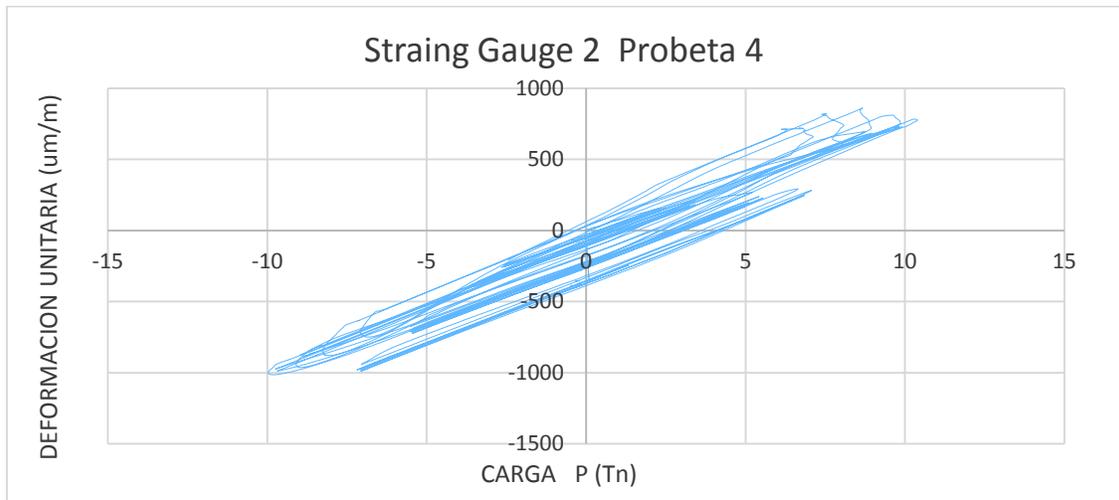


Gráfico 3-34.- Deformación unitaria en SG2 de Probeta 4

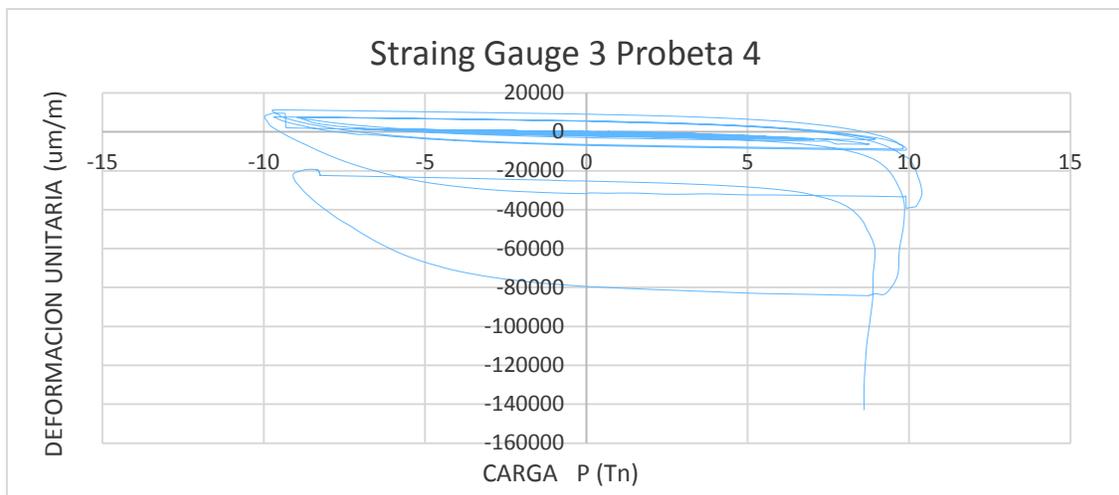


Gráfico 3-35.- Deformación unitaria en SG3 de Probeta 4

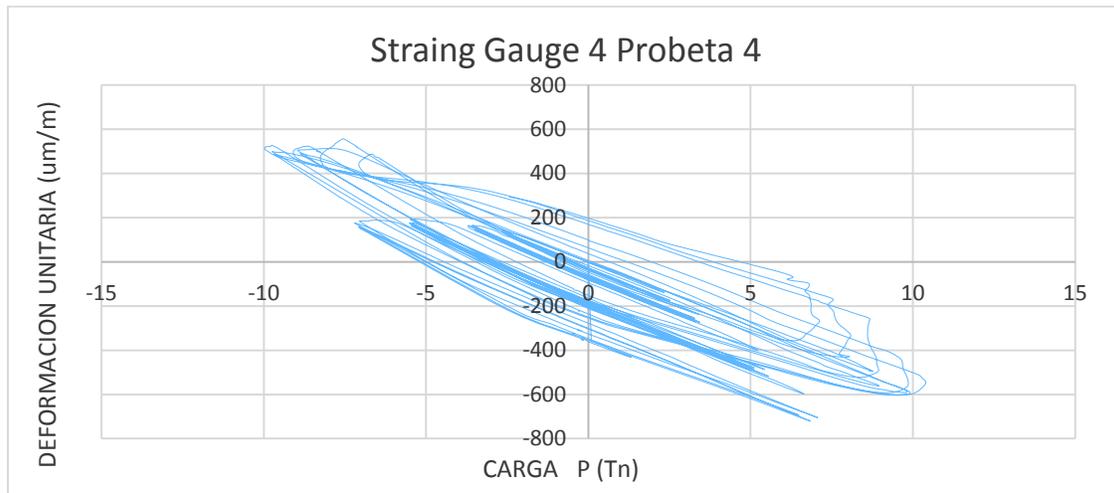


Gráfico 3-36.- Deformación unitaria en SG4 de Probeta 4

3.4.2.1 Discusión de los valores de deformaciones unitarias obtenidas en Probeta 4

En lo concerniente a las deformaciones unitarias, de las Curvas Histeréticas obtenidas se puede notar que existe un comportamiento plástico en la viga en las partes de la sección reducida de la viga tal como se puede apreciar en el Gráfico 3-33 y el Gráfico 3-35, comportamiento que se puede apreciar visualmente en la viga y que corresponden a los Straing Gauges colocados en el centro de la sección reducida, mismos que presentan un comportamiento plástico con una deformación unitaria máxima para el Straing Gauges 1 en el orden de los $\epsilon = 4200 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$ y para el Straing Gauges 3 en el orden de los $\epsilon = 8300 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$ valores que difieren entre sí ya que al realizar el ensayo el Straing Gauges 1 falló de manera temprana por lo que no se registró más valores a partir de la falla del mismo. Las deformaciones unitarias que se aprecian en el Gráfico 3-34 y en el Gráfico 3-36, mismas que corresponden a los Straing Gauges colocados en las placas de refuerzo en la viga en la zona cercana a la soldadura entre la placa y la columna, presentan un comportamiento prácticamente elástico con valores de deformación unitaria máxima en el orden de los $\epsilon = 1000 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$ teniendo en cuenta que la deformación máxima unitaria en el rango elástico es $\epsilon = 1512.93 \text{ } \mu\text{m}/\text{m}$.

3.4.3. Resultados de Esfuerzos obtenidos en la Probeta 4 a partir del Uso de métodos finitos mediante el uso del Programa SolidWorks

Mediante la modelación de la Probeta 4 utilizando elementos finitos (MEF), considerando las características de materiales, restricciones, así como sus dimensiones, al usar en el Programa SolidWorks la mayor carga obtenida del ensayo realizado, se obtuvo las siguientes figuras que ilustran el comportamiento de la conexión.

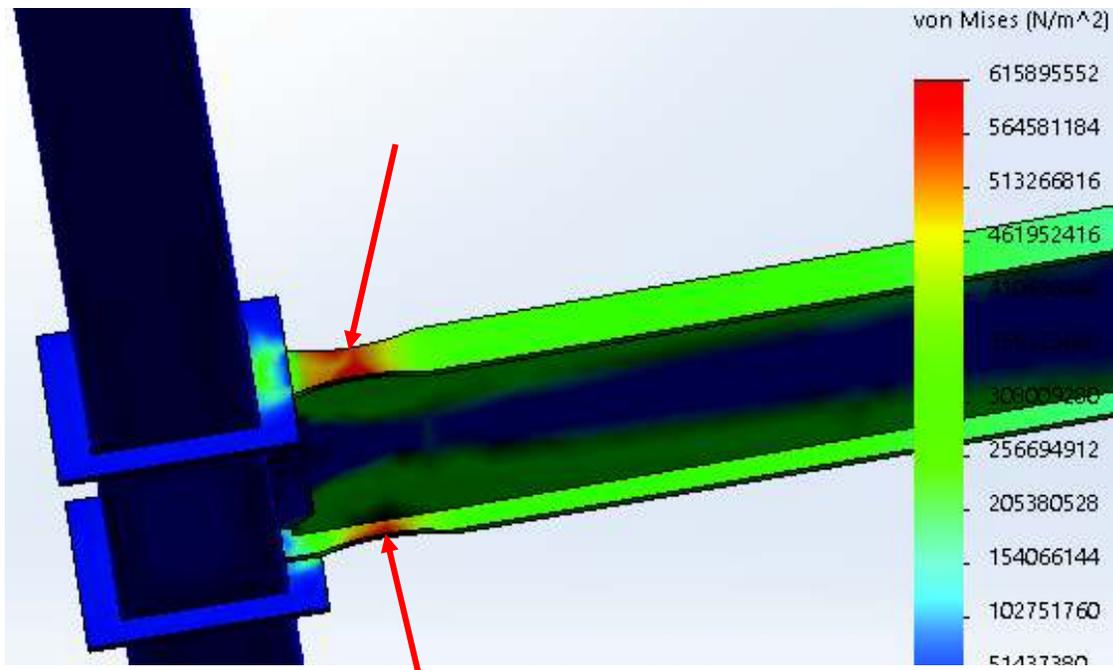


Figura 3-99.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista alzado Probeta 4

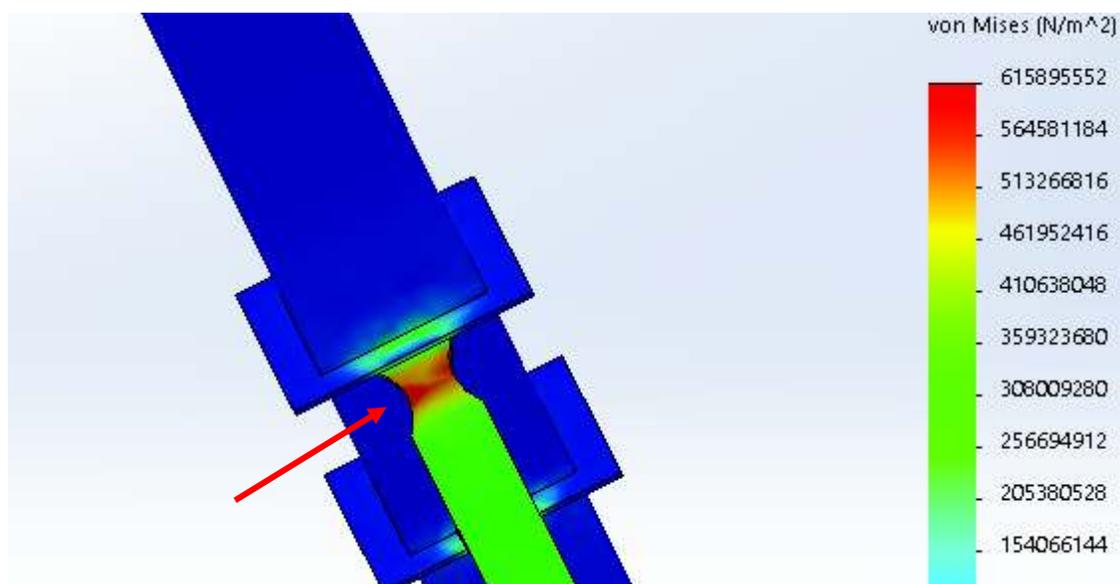


Figura 3-100.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista lateral Probeta 4

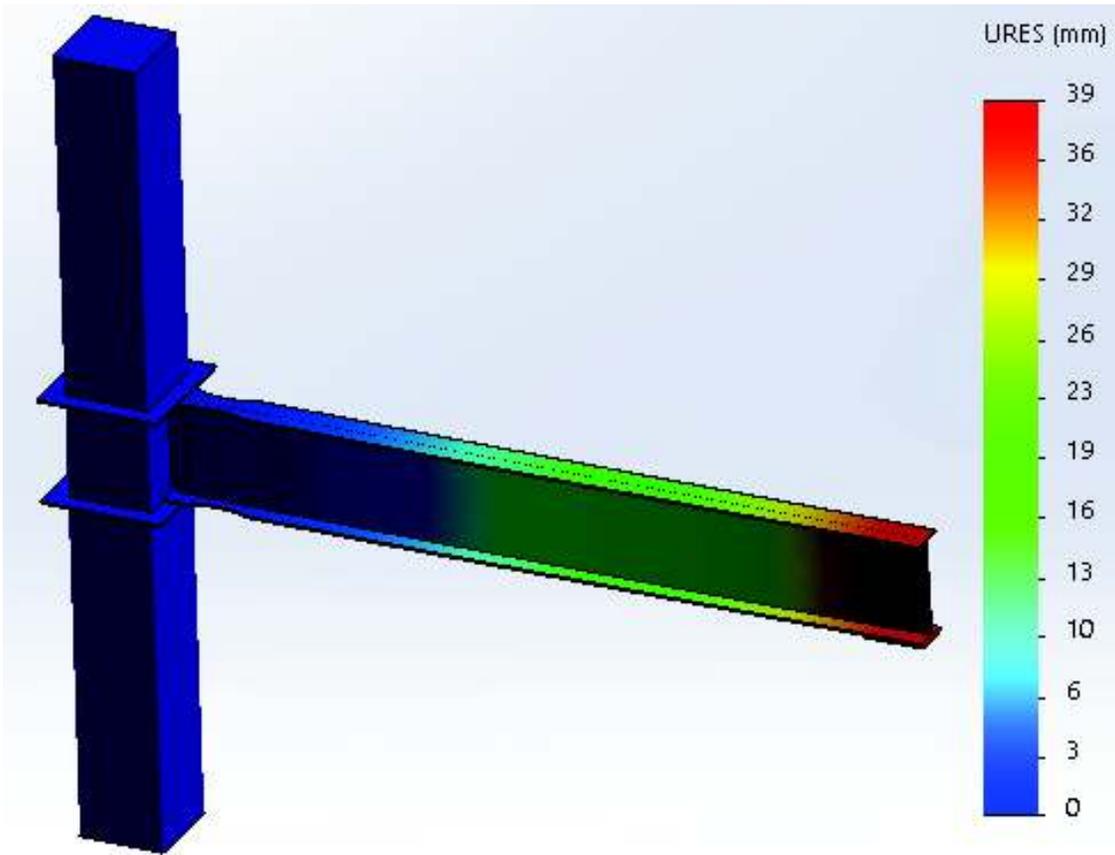


Figura 3-101.- Análisis No Lineal. Desplazamientos Probeta 4

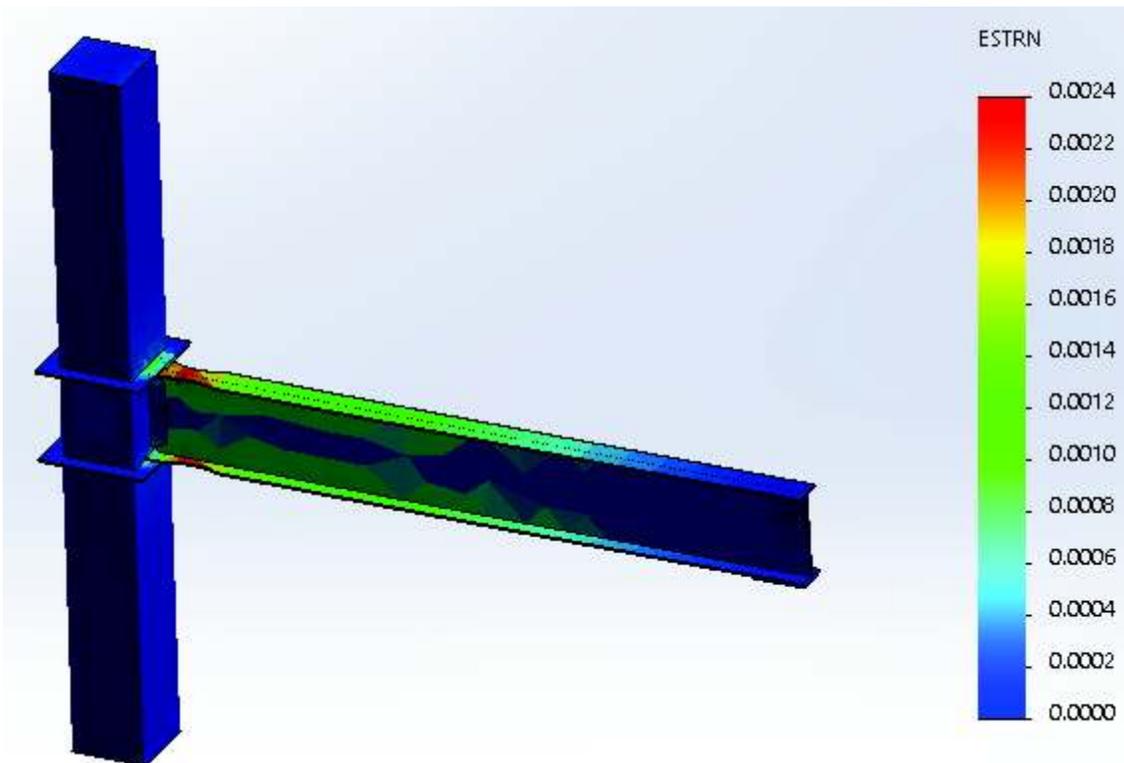


Figura 3-102.- Análisis No Lineal. Deformaciones Unitarias Probeta 4

3.4.3.1 Análisis de los esfuerzos obtenidos en la Probeta 4 a partir del Uso de métodos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks

De los resultados obtenidos a partir del uso de métodos finitos, mediante el programa SolidWorks de acuerdo a los esfuerzos de Von Mises del modelo de la Probeta 4, se observa que los mayores esfuerzos se presentan en la zona de la sección reducida de la viga tanto en el patín superior como en el patín inferior estos esfuerzos están en el orden de los $615.90 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ tal como se puede apreciar en la Figura 3-99, Figura 3-100.

Los esfuerzos que se aprecian en el modelo de la probeta ensayada, son superiores al esfuerzo ultimo promedio del material base de acero A36 señalado en la Sección 2.3.3, y del esfuerzo ultimo del material de aporte dado por el cordón de soldadura con el electrodo E7018 que es de $F_u = 70 \text{ Ksi} = 482.63 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, valor tomado del catálogo de los electrodos West Arco (Soldarco, 2015), mismos que fueron utilizados en la elaboración de esta probeta, hay que notar que en esta probeta a diferencia de las anteriores no existe una concentración de esfuerzos en ninguna zona determinada, sino más bien se puede apreciar que los esfuerzos mayores ocurren en casi toda la zona de la sección reducida lo que hace que la falla sea la esperada dando lugar a la formación de la rótula plástica, como se puede apreciar en las figuras anteriores. La relación de esfuerzos obtenidos la resumimos en la TABLA 3-19

TABLA 3-19.- Comparación de los esfuerzos obtenidos a partir de MEF de la probeta 4 en relación a los esfuerzos últimos del material base A36 y el material de aporte E7018

PROBETA 1		
$\sigma \text{ max} =$	$6.16\text{E}+08 \text{ N/m}^2$	$\sigma \text{ max} / F_u$
(A36) $F_u =$	$4.78\text{E}+08 \text{ N/m}^2$	128.87 %
(E7018) $F_u =$	$4.82\text{E}+08 \text{ N/m}^2$	127.80 %

Según lo detallado en la TABLA 3-19 se nota que el esfuerzo que se produce en la zona de la sección reducida de la viga tanto en el patín superior como inferior es un 28.87% superior al F_u del material base A36, y un 27.80% superior al F_u del material de aporte dado por el electrodo E7018, razón por la cual la falla de la conexión empieza en estos sectores dando como resultado la aparición de la rótula plástica esperada y provocando los daños posteriores en la soldadura y el material base de la viga tal como se muestra en las figuras anteriores respecto al ensayo realizado, notando que en este caso no se presentaron daños en la columna ni en las placas del anillo de refuerzo.

3.4.4. Comparación de desplazamientos de la probeta 4.

Con la finalidad de validar el modelo realizado en SolidWorks, así como también comparar el desplazamiento experimental obtenido en la Probeta 4, se definió un modelo básico realizado en ETABS considerando la columna compuesta RCFT de dimensiones 350x350x8 mm y la Viga metálica Tipo I 150x10x400x6 mm, este modelo cuenta con las mismas dimensiones de la probeta ensayada, así como las restricciones en sus puntos de apoyo, en la conexión viga columna se colocó las características de una conexión RBS; además se realizó un modelo de la Probeta 4 en SAP2000, de similar forma que en el ETABS señalando que en este programa no se puede colocar la conexión RBS, a estos modelos se le aplicó la carga máxima que resistió la probeta ensayada a fin de obtener valores de desplazamiento, que junto al valor que se obtuvo en SolidWorks serán comparados con el desplazamiento experimental obtenido. Estos resultados se muestran en la TABLA 3-20

TABLA 3-20.- Resultados de desplazamientos obtenidos en la Probeta 4

PROBETA 4			
	Carga P (Tn)	Desplazamiento Δ (mm)	Diferencia %
Probeta Ensayada	10.399	88.804	100.000
Modelo en ETABS RBS	10.399	43.229	48.679
Modelo SAP2000	10.399	42.427	47.776
Modelo SolidWorks	10.399	39.000	43.917

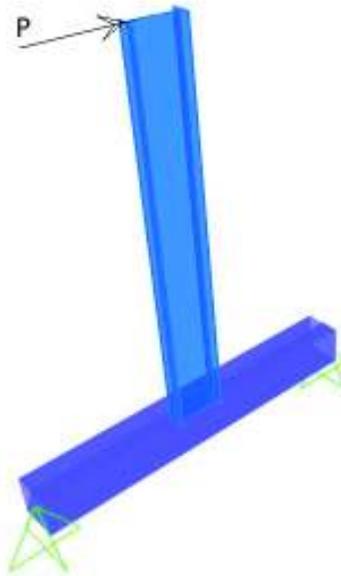


Figura 3-103.- Modelo de Probeta para obtener un desplazamiento Δ (mm) debido a una carga P(Tn)

3.4.4.1 Análisis de los resultados de desplazamiento obtenidos de la probeta 4.

De la comparación realizada de desplazamientos obtenidos en los programas ETABS, SAP2000, SolidWorks y lo obtenido en laboratorio se puede notar que el desplazamiento obtenido del ensayo a la carga señalada es mucho mayor que lo obtenido en estos programas tal como se indica en la TABLA 3-20, el valor de desplazamiento obtenido de los modelos antes señalados solo llegan alrededor del 47 % del desplazamiento real obtenido en el ensayo experimental de la probeta, encontrando que el desplazamiento del modelo en ETABS, es un poco superior al del SAP2000, esto debido a que en el ETABS se puede simular la conexión viga columna RBS, mientras que en el SAP2000 no cuenta con dicha herramienta, el desplazamiento encontrado mediante el uso de estos programas es similar al obtenido mediante el uso del programa SolidWorks lo que validaría los modelos realizados, sin embargo el hecho de que en el ensayo se obtiene un desplazamiento mayor con la misma carga que en los programas mencionados se debe a que dichos programas no podrían predecir las fallas de materiales y soldaduras que se presentaron en el ensayo experimental de la probeta.

3.5. Probeta 5:

La probeta 5 se refiere al modelo de conexión en el cual se colocaron placas de continuidad prolongando los patines de las vigas dentro de la columna RCFT. Probeta realizada en el trabajo de investigación desarrollado por (Ing. Hugo Pillajo).



Figura 3-104.- Placas de Continuidad dentro de columna RCFT en Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)

De los ensayos realizados a esta probeta que se desprende del trabajo de investigación realizado por el (Ing. Hugo Pillajo), se pudo obtener los siguientes resultados siguiendo el protocolo de carga antes mencionado mismos que se encuentran tabulados según la cantidad de carga dada a la probeta ensayada y el desplazamiento obtenido de acuerdo a cada ciclo del ensayo según lo indicado en la TABLA 3-21 y los Gráfico 3-37, Gráfico 3-38.

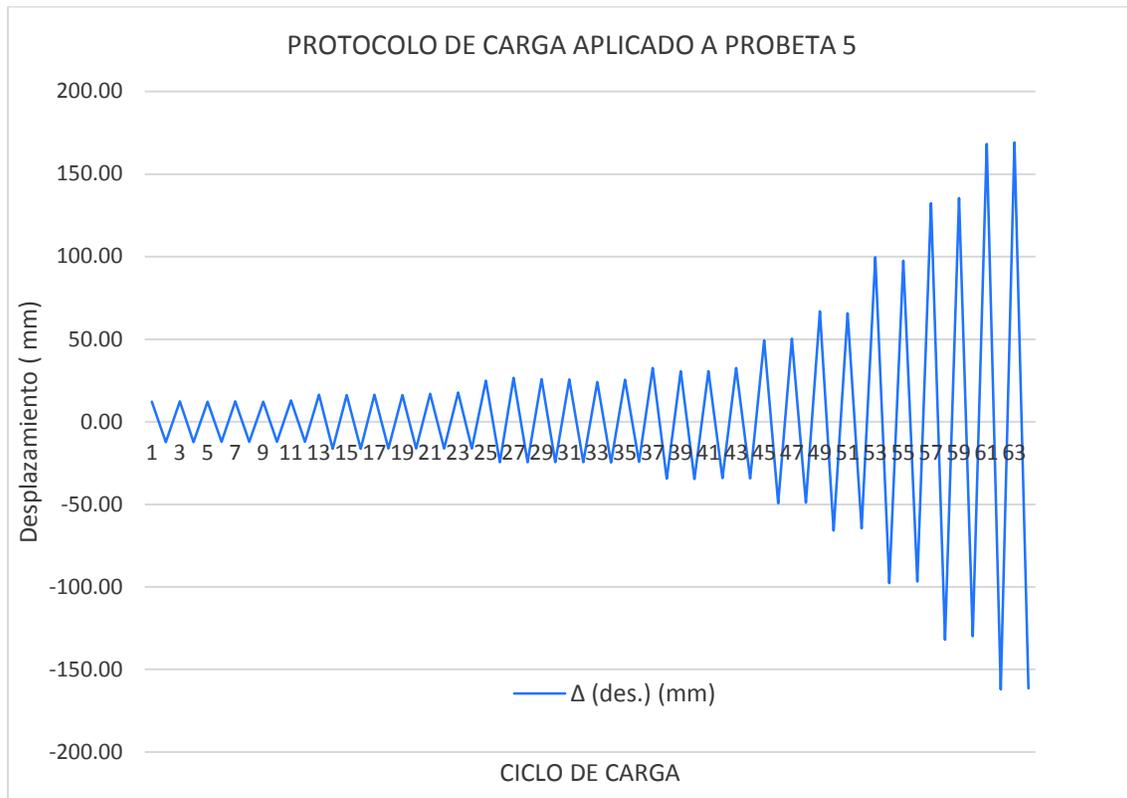


Gráfico 3-37.- Desplazamiento según protocolo de carga aplicado a Probeta 5

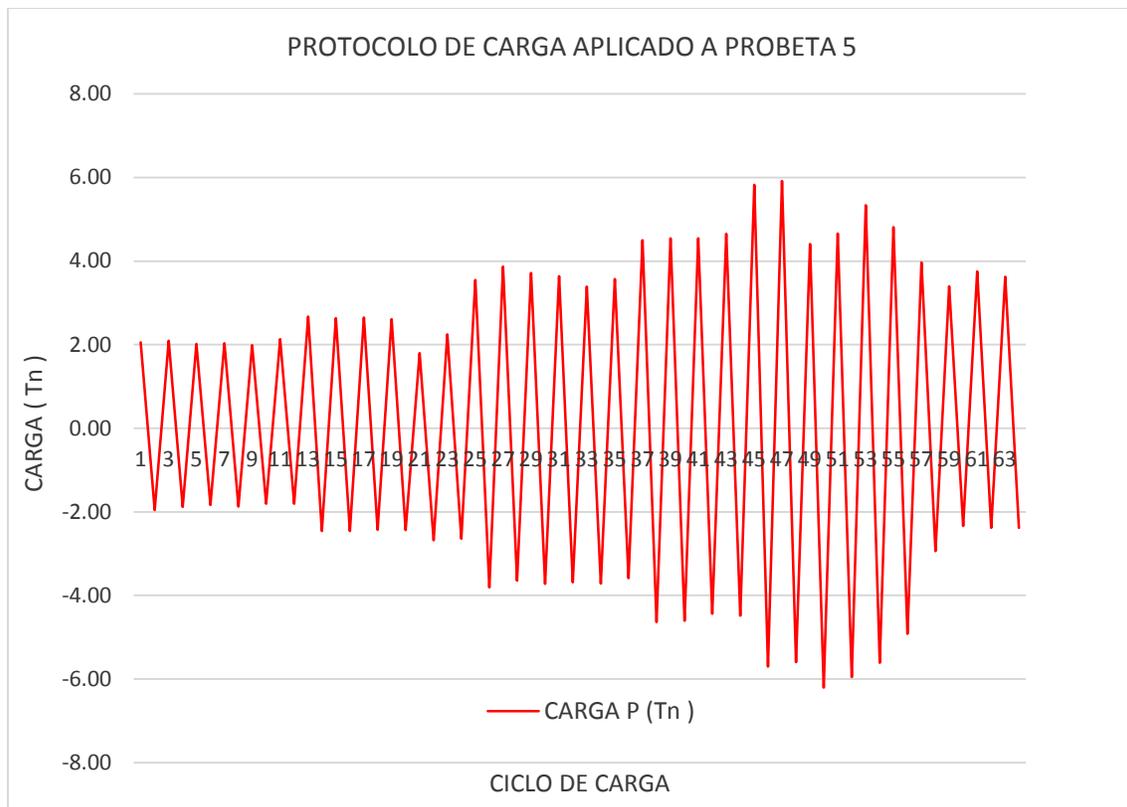


Gráfico 3-38.- Carga Aplicada según protocolo de carga a Probeta 5

TABLA 3-21.- Resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 5

		Δ (des.) (mm)	CARGA P (Tn)			Δ (des.) (mm)	CARGA P (Tn)			Δ (des.) (mm)	CARGA P (Tn)			
CICLO 1	1.1	12.22	2.05	CICLO 3	3.1	24.81	3.55	C6	6.1	66.86	4.41			
		-12.24	-1.96			-24.39	-3.81			-65.80	-6.20			
	1.2	12.38	2.09		3.2	26.55	3.87		6.2	65.67	4.66			
		-12.39	-1.88			-24.44	-3.65			-64.45	-5.95			
	1.3	12.15	2.02		3.3	25.76	3.71		C7	7.1	99.56	5.33		
		-12.22	-1.83			-24.52	-3.72				-97.78	-5.61		
	1.4	12.31	2.04		3.4	25.60	3.64		7.2	97.52	4.81			
		-12.14	-1.87			-24.44	-3.68			-96.65	-4.92			
	1.5	12.12	1.99		3.5	24.07	3.39		C8	8.1	132.42	3.96		
		-12.17	-1.80			-24.63	-3.71				-131.98	-2.94		
	1.6	12.97	2.13		3.6	25.49	3.57		8.2	135.50	3.40			
		-12.21	-1.80			-24.35	-3.59			-129.91	-2.33			
CICLO 2	2.1	16.41	2.67	CICLO 4	4.1	32.50	4.50	C9	9.1	168.34	3.75			
		-16.35	-2.46			-34.50	-4.64			-162.03	-2.38			
	2.2	16.22	2.63		4.2	30.56	4.54		9.2	169.18	3.63			
		-16.34	-2.46			-34.58	-4.61			-161.38	-2.38			
	2.3	16.36	2.65		4.3	30.72	4.54		C5	5.1	49.25	5.83		
		-16.21	-2.43			-34.00	-4.44				-49.23	-5.70		
	2.4	16.23	2.61		4.4	32.49	4.65		5.2	50.27	5.91			
		-16.24	-2.44			-34.24	-4.48			-48.85	-5.59			
	2.5	16.99	1.79											
		-16.24	-2.68											
	2.6	17.67	2.25											
		-16.23	-2.64											

Una vez aplicado el protocolo de carga se pudieron visualizar los siguientes daños mismos que se muestran en las figuras a continuación:

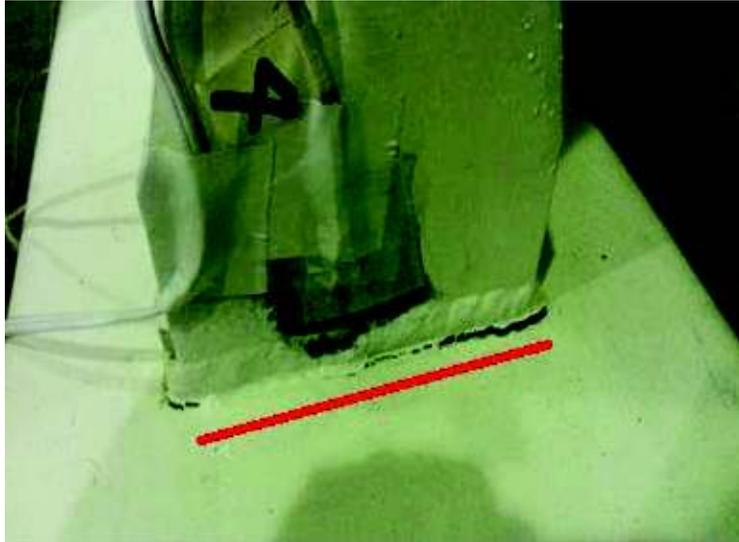


Figura 3-105.- Falla de material base en zona de soldadura de patín superior de viga a una rotación de 0.04 rad. Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)



Figura 3-106.- Falla de material base en zona de soldadura de patín inferior de viga a una rotación de 0.05 (rad) Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)



Figura 3-107.- Falla de material base en esquinas de patín superior e inferior de la viga a una rotación de 0.05 (rad) Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)



Figura 3-108.- Deformación plástica en patín superior de la viga en la zona de la sección reducida Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)



Figura 3-109.- Deformación plástica en patín superior de la viga en la zona de la sección reducida vista en planta Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)



Figura 3-110.- Deformación plástica en patín inferior de la viga en la zona de la sección reducida Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)



Figura 3-111.- Deformación plástica en patín inferior de la viga en la zona de la sección reducida vista en planta Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)

3.5.1. Histéresis de Probeta 5.-

Una vez obtenidos todos los datos del ensayo realizado a la Probeta 5, se procedió a procesarlos y a corregirlos obteniendo las Histéresis de Carga vs Desplazamiento que se muestra en el Gráfico 3-39, y la Histéresis de Momento vs Giro que se muestra en el Gráfico 3-40.

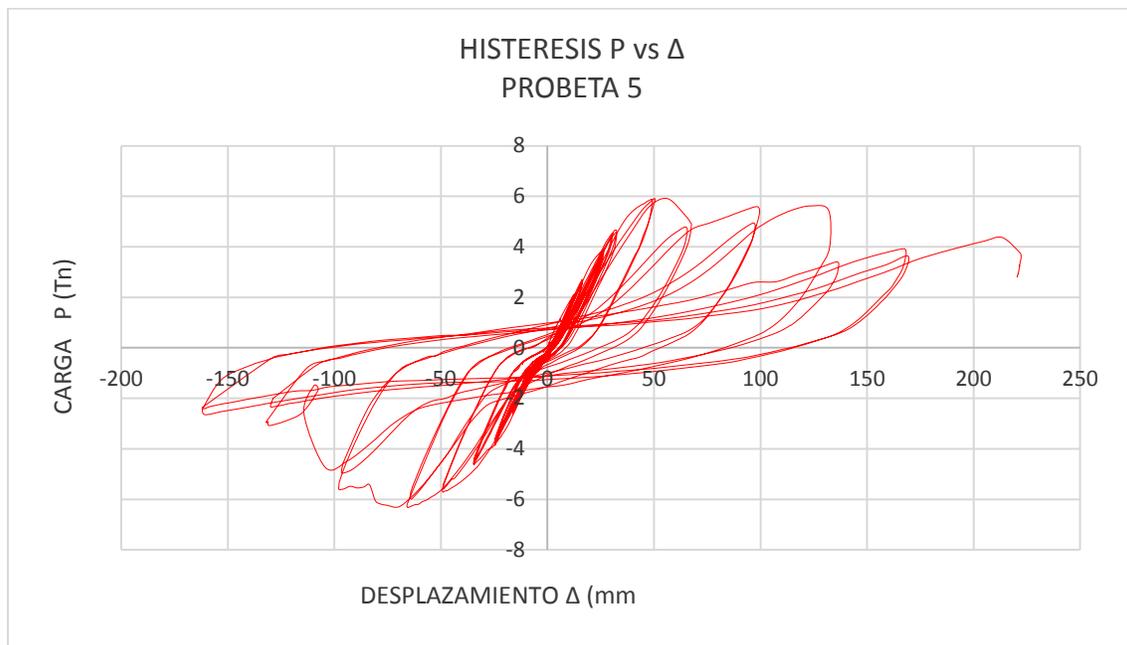


Gráfico 3-39.- Histéresis P vs Δ de la Probeta 5

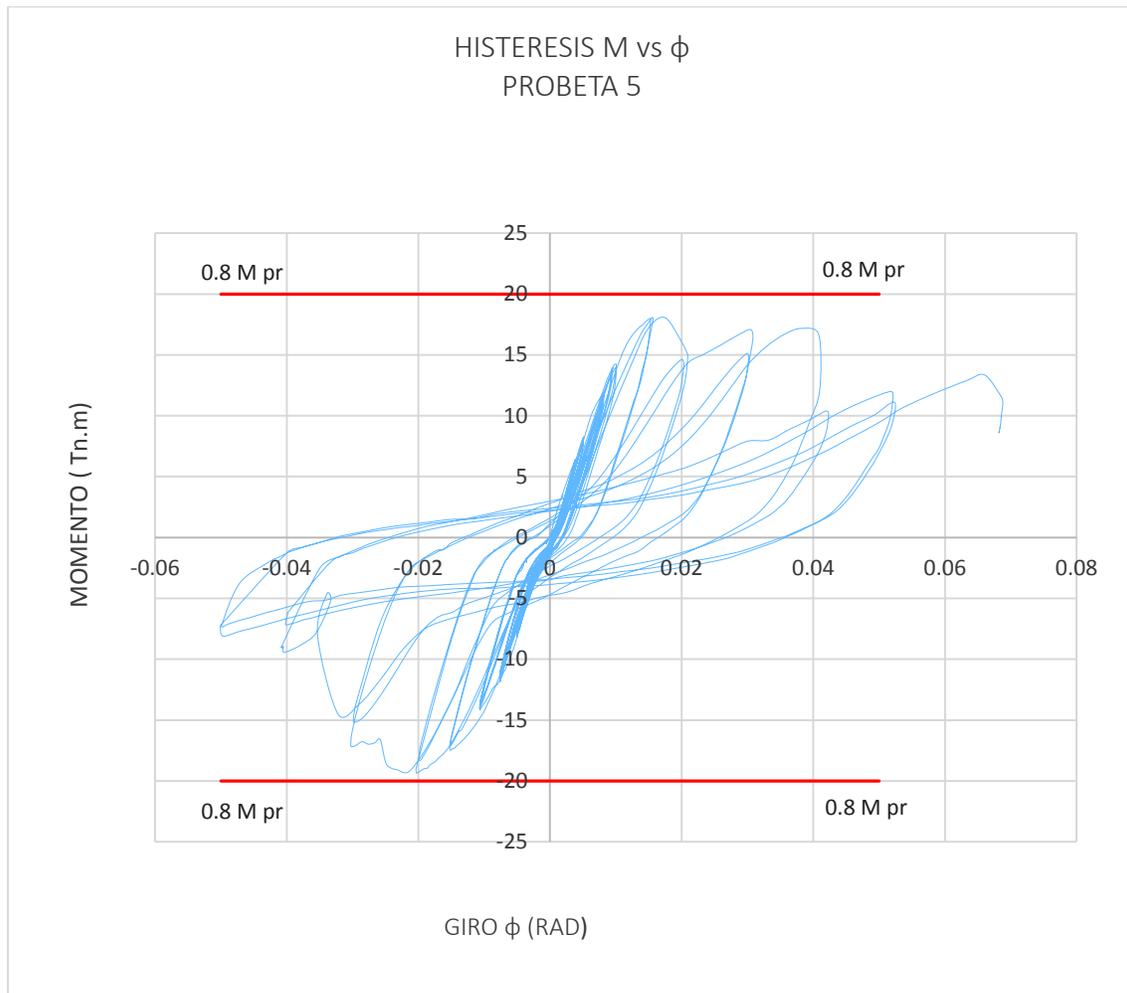


Gráfico 3-40.- Histéresis M vs ϕ de la Probeta 5

De los datos con los que se obtuvo la Histéresis, mostradas en los gráficos anteriores se obtiene el siguiente resumen de datos mismos que se pueden observar en la TABLA 3-22, y el Gráfico 3-41.

TABLA 3-22.- Resumen de resultados obtenidos según protocolo de carga aplicado a la Probeta 5

PROBETA 5				
	Carga P (Tn)	Desplazamiento Δ (mm)	Momento M (Tn.m)	Giro ϕ (Rad)
	3.9645	132.4177	12.1234	0.0400
	4.6590	65.6732	14.2473	0.0200
Max (+)	5.9130	50.2672	18.0819	0.0155
	0	0	0	0
	-6.2024	-65.7987	-18.9669	-0.0200
Max (-)	-6.3278	-65.6816	-19.3503	-0.0203
	-2.9426	-131.9773	-8.9985	-0.0400

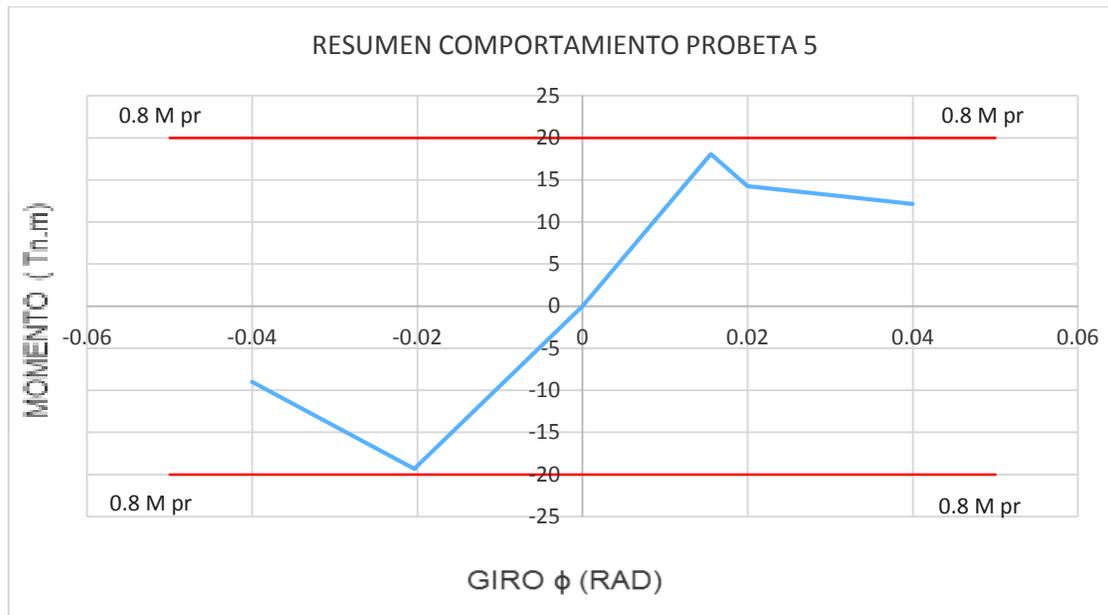


Gráfico 3-41.- Resumen del comportamiento de la Probeta 5 M vs ϕ

3.5.1.1 Discusión de los Resultados obtenidos de las Histéresis de la Probeta 5

Según se indicó anteriormente la probeta ensayada debe soportar un momento flector en la cara de la columna superior al 80% del momento de plastificación de la viga, para una rotación de 0.02 radianes para calificar como Conexión a Momento Parcialmente Restringida (PR) y 0.04 radianes, para calificar como una Conexión a Momento Completamente Restringida (FR), de acuerdo a lo que señala (ANSI/AISC 341-10, 2012).

Según (ANSI/AISC 358-16, 2016) se tiene que el momento probable plástico (M_{pr}) en la rótula plástica para una conexión RBS, es el calculado en la sección 2.3.2, valor que se señala a continuación; en el Gráfico 3-40 y en el Gráfico 3-41 se ha incluido el 80 % de ese valor (línea roja).

$$M_{pr} = 25.02 \text{ Tn.m} \quad 0.8 * M_{pr} = 20.02 \text{ Tn.m}$$

De lo observado en las curvas de histéresis de esta probeta, se puede notar que existe un comportamiento asimétrico en la misma con un lazo estrecho que denota una poca disipación de energía, esto debido posiblemente a la falla de material en la zona de soldadura en la cara de la columna en el sector del patín superior e inferior falla que se puede observar con mayor precisión en la Figura 3-105, Figura 3-106, este tipo de falla

hace que la viga no pueda plastificar de la manera esperada sin embargo existe una pequeña deformación plástica misma que se puede apreciar en la Figura 3-108, Figura 3-109, Figura 3-110, Figura 3-111, dicho lo anterior la viga no forma la rótula plástica esperada.

Visto el Gráfico 3-40, la TABLA 3-22 y el Gráfico 3-41, se puede decir que la Probeta 5 no satisface las condiciones solicitados por la norma (ANSI/AISC 341-10), ya que se aprecia que el momento máximo que resistió esta probeta se encuentra por debajo del 80% del Momento Plástico Probable de la viga en la RBS por lo que este tipo de conexión no califica ni como conexión (FR) ni conexión (PR).

3.5.2. Deformaciones Unitarias Ocurridas en Probeta 1

En la Probeta 5 se obtuvieron las deformaciones unitarias de los patines en la zona cercana a la soldadura con la columna y en el centro de la zona de sección reducida, medidos mediante la colocación de Straing Gauges mismos que se encuentran distribuidos como se indica en la Figura 3-112, Figura 3-113, mediante estos se pudo obtener las curvas de las histéresis de Carga vs. Deformación unitaria que se muestran en los Gráfico 3-42, Gráfico 3-43, Gráfico 3-44, Gráfico 3-45



Figura 3-112.- Enumeración de Straing Gauges Patín Inferior Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)



Figura 3-113.- Enumeración de Straing Gauges Patín Superior Probeta 5 cortesía (Ing. Hugo Pillajo)

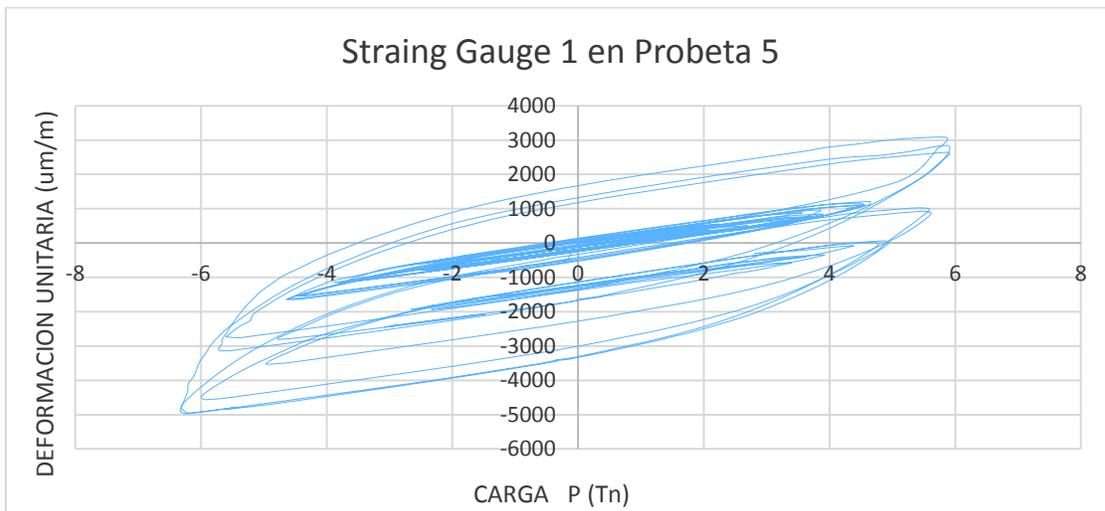


Gráfico 3-42.- Deformación unitaria en SG1 de Probeta 5

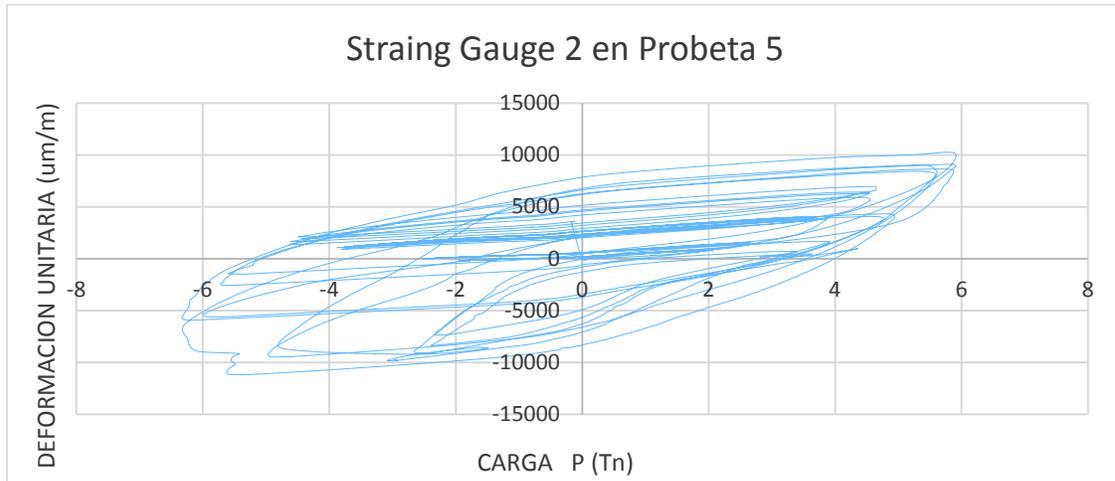


Gráfico 3-43.- Deformación unitaria en SG2 de Probeta 5

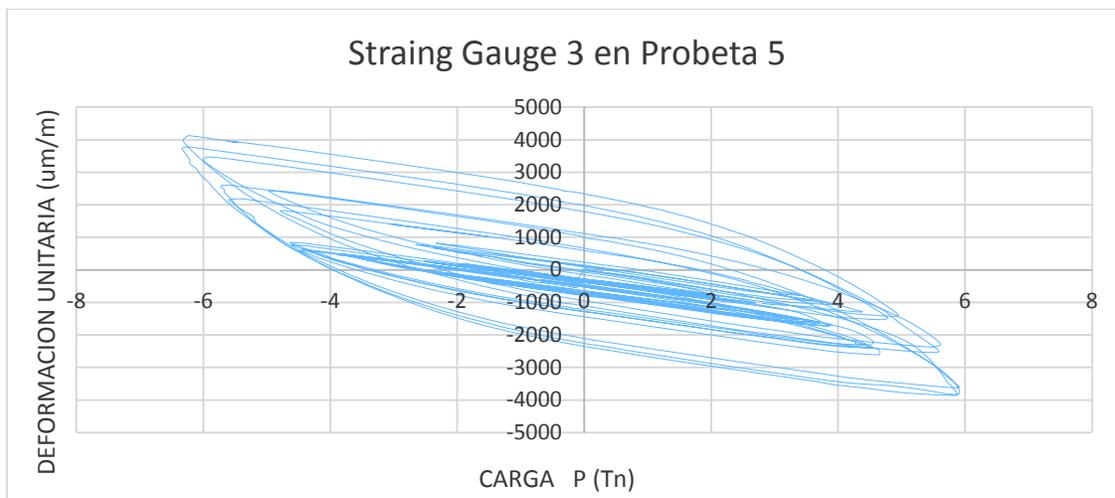


Gráfico 3-44.- Deformación unitaria en SG3 de Probeta 5

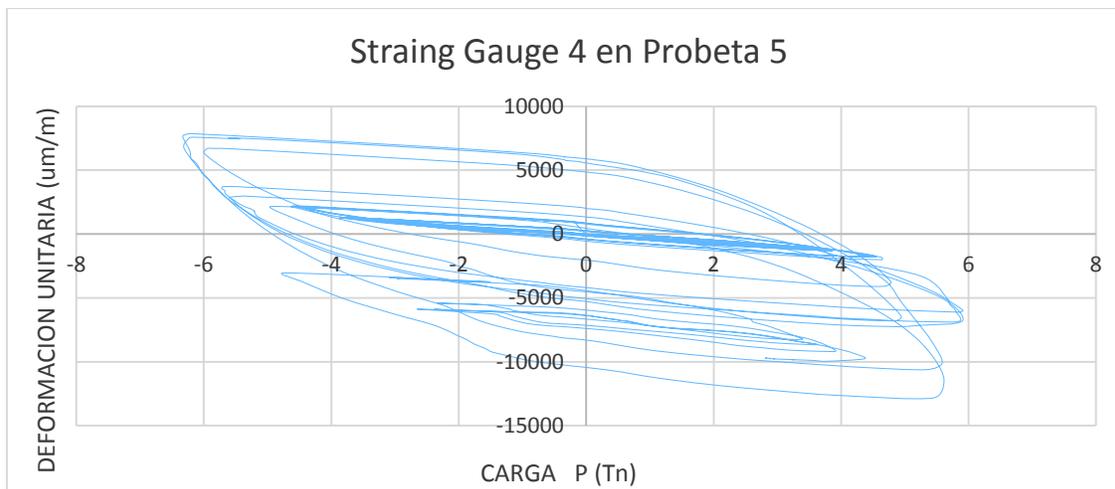


Gráfico 3-45.- Deformación unitaria en SG4 de Probeta 5

3.5.2.1 Discusión de los valores de deformaciones unitarias obtenidas en Probeta 5

De las deformaciones unitarias medidas mediante el uso de Straing Gauges, los cuales fueron colocados como se señaló anteriormente, se obtuvo las respectivas Curvas Histeréticas, en el Gráfico 3-42 y en el Gráfico 3-44 gráficos que corresponden a las zonas de la sección reducida de la viga, se puede apreciar un comportamiento plástico donde se obtiene una deformación unitaria alrededor de $\epsilon = 5000 \text{ um/m}$ para el Straing Gauges 1 y $\epsilon = 4100 \text{ um/m}$ para el Straing Gauges 3, deformaciones superiores a la deformación máxima en el rango elástico que es de $\epsilon = 1512.93 \text{ um/m.}$, donde se puede apreciar un pequeño comportamiento plástico que es visible en la viga, esto según la inspección visual que se realizó, donde se observó una deformación plástica residual aunque no se aprecia la formación de la rótula plástica esperada. En las zonas cercanas a la soldadura entre los patines y la cara de la columna, correspondientes al Gráfico 3-43 y Gráfico 3-45, se tiene también un comportamiento plástico con deformaciones unitarias alrededor de $\epsilon = 11000 \text{ um/m}$ para el Straing Gauges 2 y $\epsilon = 13000 \text{ um/m}$ para el Straing Gauges 4, deformaciones unitarias que son mayores debido a las fallas de material y soldaduras que ocurrieron en dichas zonas.

3.5.3. Resultados de Esfuerzos obtenidos en la Probeta 5 a partir del Uso de métodos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks

Mediante la modelación de la Probeta 5 utilizando elementos finitos (MEF), considerando las características de materiales, restricciones, así como sus dimensiones, al usar en el Programa SolidWorks la mayor carga obtenida del ensayo realizado, se obtuvo las siguientes figuras que ilustran el comportamiento de la conexión.

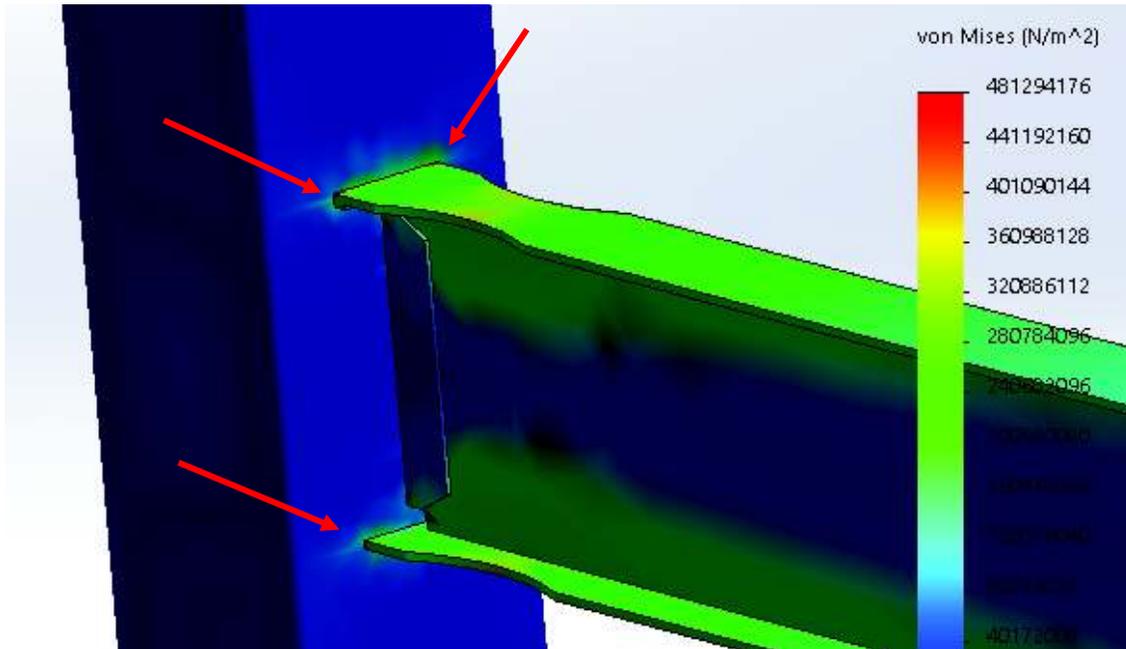


Figura 3-114.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista frontal Probeta 5

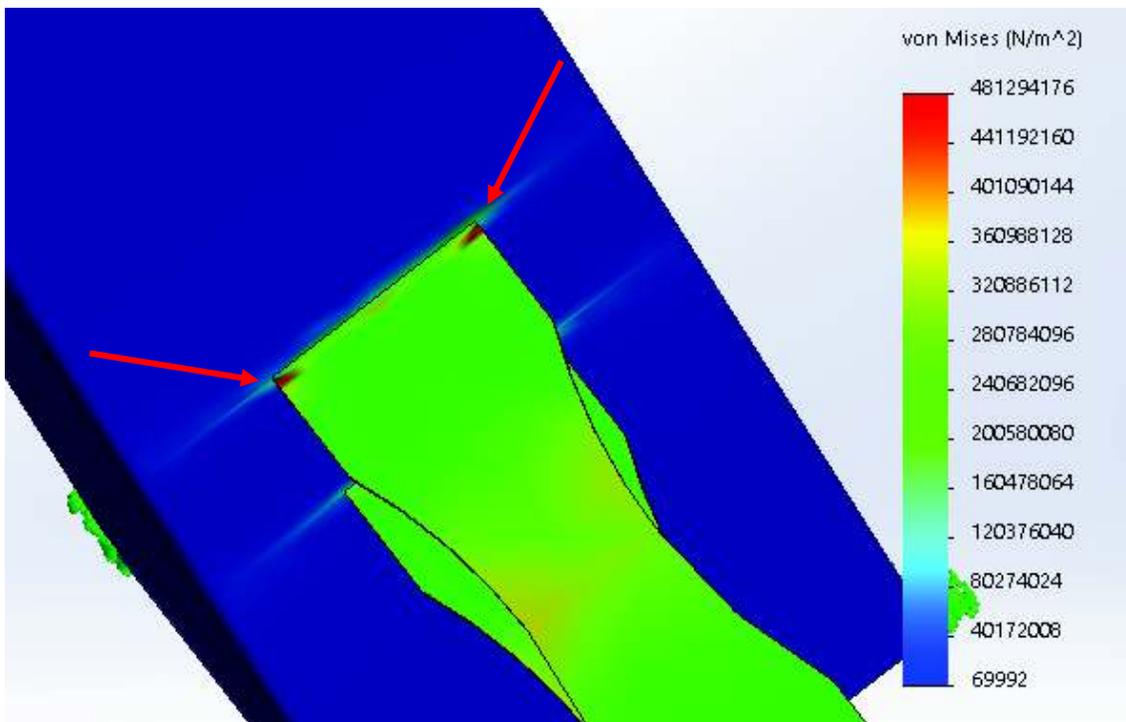


Figura 3-115.- Análisis No Lineal. Esfuerzos de Von Mises, vista en planta Probeta 5

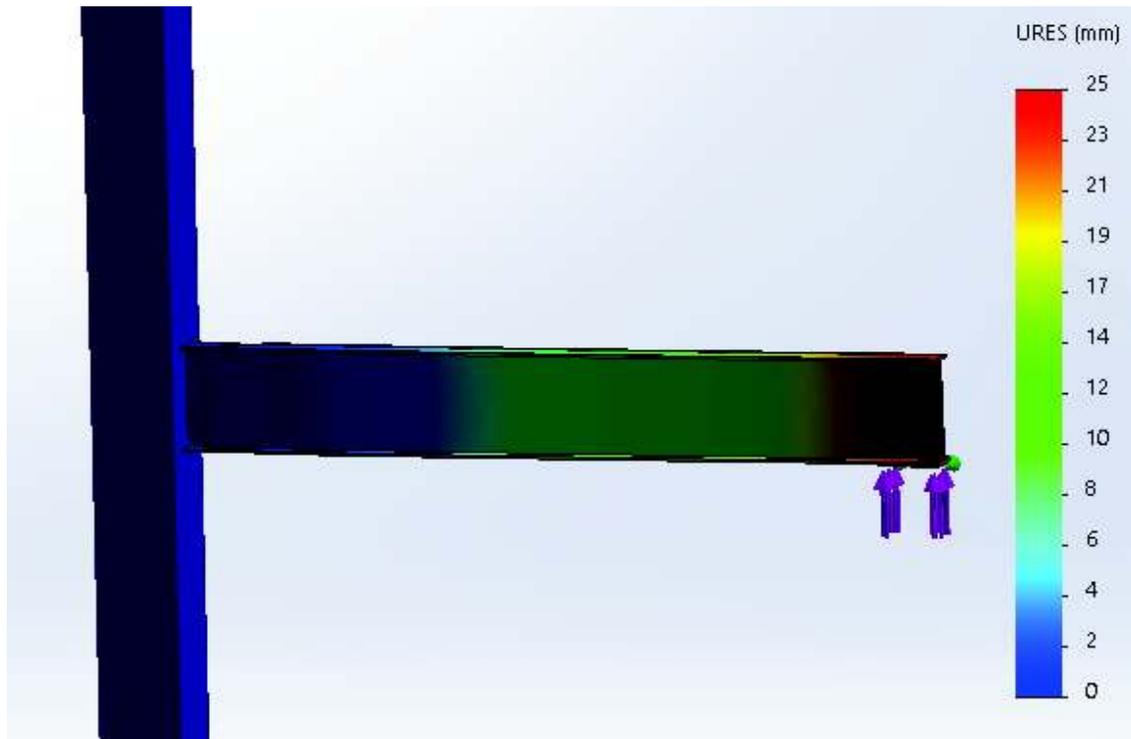


Figura 3-116.- Análisis No Lineal. Desplazamientos Probeta 5

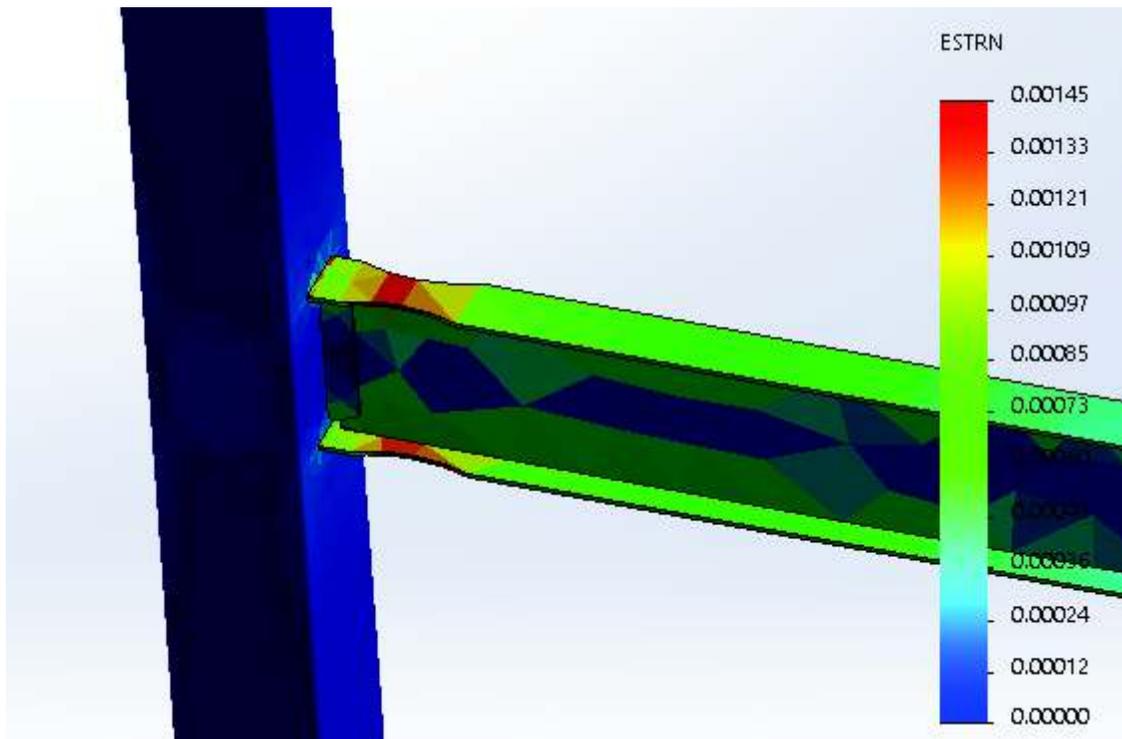


Figura 3-117.- Análisis No Lineal. Deformaciones Unitarias Probeta 5

3.5.3.1 Análisis de los esfuerzos obtenidos en la Probeta 1 a partir del Uso de métodos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks

De los resultados obtenidos a partir del uso de métodos finitos, mediante el programa SolidWorks de acuerdo a los esfuerzos de Von Mises, se puede observar en el modelo de la Probeta 5, que los mayores esfuerzos se presentan en las esquinas de los patines de la viga sean estos superiores o inferiores, esfuerzos que están en el orden de los $481.29 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, tal como se observa en la Figura 3-114 y Figura 3-115.

Los esfuerzos que se aprecian en el modelo de la probeta ensayada, son superiores al esfuerzo ultimo promedio del material base de acero A36 señalado en la Sección 2.3.3, y es apenas inferior que el esfuerzo ultimo del material de aporte dado por el cordón de soldadura con el electrodo E7018 que es de $F_u = 70 \text{ Ksi} = 482.63 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, valor tomado del catálogo de los electrodos West Arco (Soldarco, 2015), materiales que fueron utilizados en la elaboración de esta probeta; con los resultados antes mencionados se obtiene la relación de esfuerzos que se resume en la TABLA 3-23.

TABLA 3-23.- Comparación de los esfuerzos obtenidos a partir de MEF de la probeta 1 en relación a los esfuerzos últimos del material base A36 y el material de aporte E7018

PROBETA 5		
$\sigma \text{ max} =$	$4.81\text{E}+08 \text{ N/m}^2$	$\sigma \text{ max} / F_u$
(A36) $F_u =$	$4.78\text{E}+08 \text{ N/m}^2$	100.62 %
(E7018) $F_u =$	$4.82\text{E}+08 \text{ N/m}^2$	99.80%

Según lo detallado en la TABLA 3-23 se nota que el esfuerzo que se produce en las esquinas de los patines es un 0.62% superior al F_u del material base A36, y un 0.20% inferior al F_u del material de aporte dado por el electrodo E7018, razón por la cual la falla de la conexión empieza en estos sectores provocando daños en la soldadura y el material base tal como se muestra en las figuras anteriores respecto al ensayo realizado, está falla dada por la concentración de esfuerzos en las esquinas de los patines es la que impide que se forme la rótula plástica de la manera esperada, ya que al seguir aplicando el protocolo de carga se aprecia que la falla continua por estos sectores ya que están mucho más esforzados, provocando la falla total en soldaduras y en el material base en la cara de la columna como se pudo apreciar en las figuras anteriores.

3.5.4. Comparación de desplazamientos de la probeta 5.

Con la finalidad de validar el modelo realizado en SolidWorks, así como también comparar el desplazamiento experimental obtenido en la Probeta 5, se definió un modelo básico realizado en ETABS considerando la columna compuesta RCFT de dimensiones 350x350x8 mm y la Viga metálica Tipo I 150x10x400x6 mm, este modelo cuenta con las mismas dimensiones de la probeta ensayada, así como las restricciones en sus puntos de apoyo, en la conexión viga columna se colocó las características de una conexión RBS; además se realizó un modelo de la Probeta 5 en SAP2000, de similar forma que en el ETABS señalando que en este programa no se puede colocar la conexión RBS, a estos modelos se le aplicó la carga máxima que resistió la probeta ensayada a fin de obtener valores de desplazamiento, que junto al valor que se obtuvo en SolidWorks serán comparados con el desplazamiento experimental obtenido. Estos resultados se muestran en la TABLA 3-24.

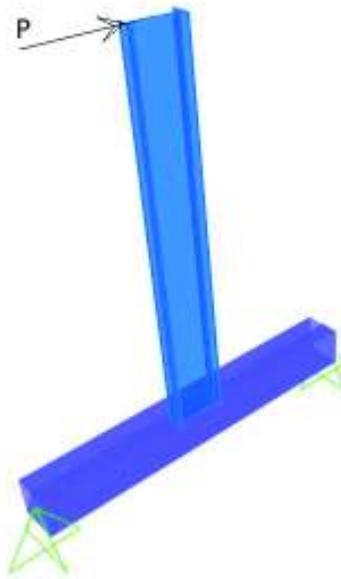


Figura 3-118.- Modelo Básico (Etabs, Sap2000) para obtener un desplazamiento Δ (mm) debido a una carga P(Tn)

TABLA 3-24.- Resultados de desplazamientos obtenidos en la Probeta 5

PROBETA 5			
	Carga P (Tn)	Desplazamiento Δ (mm)	Diferencia %
Probeta Ensayada	6.328	65.682	100.000
Modelo en ETABS RBS	6.328	26.135	39.790
Modelo SAP2000	6.328	25.304	38.525
Modelo SolidWorks	6.328	25.000	38.062

3.5.4.1 Análisis de los resultados de desplazamiento obtenidos de la probeta 5.

De la comparación realizada a los desplazamientos obtenidos en los programas ETABS, SAP2000, SolidWorks y el desplazamiento que se obtuvo en el ensayo experimental, se puede notar que dicho desplazamiento es mucho mayor que lo obtenido en estos programas, tal como se observa en la TABLA 3-24, el valor de desplazamiento obtenido de los modelos realizados en estos programas solo llega alrededor del 38 % del desplazamiento del ensayo experimental, donde se observa que el modelo en ETABS presenta un desplazamiento mayor al del SAP2000, esto debido a que en el ETABS se puede simular la conexión viga columna RBS, mientras que en el SAP2000 no se cuenta con dicha herramienta; el desplazamiento encontrado mediante el uso de estos programas es similar al desplazamiento encontrado mediante la aplicación del programa SolidWorks, lo que validaría los modelos realizados, sin embargo el hecho de que en el ensayo experimental se tenga un desplazamiento mayor con la misma carga se debe a que dichos programas no pueden predecir las fallas de materiales y soldaduras que se presentaron en el ensayo experimental.

3.6. Comparación del comportamiento de las Probetas ensayadas

Una vez que se han ensayado las cuatro probetas propuestas en esta investigación, mismas que fueron construidas de manera similar tanto en la parte de materiales, dimensiones, procesos constructivos y procesos de soldaduras en vigas, columnas y conexiones, cumpliendo con todos los parámetros revisados anteriormente, y que además se cuenta con los datos experimentales de la probeta elaborada dentro del trabajo de investigación del (Ing. Hugo Pillajo) construida también con los parámetros antes mencionados, se procede a realizar la comparación de estas cinco probetas, las cuales solo presentan variación en lo concerniente a la conexión Viga-Columna, siendo esta la única variable a comparar.

3.6.1. Comparación de las Curvas Momento vs Giro de las probetas ensayadas

Como se indicó anteriormente una vez aplicado el protocolo de carga, de acuerdo a lo señalado en la sección K2-4b de la norma (ANSI/AISC 341-10), la probeta ensayada debe soportar un momento flector en la cara de la columna superior al 80% del momento de plastificación de la viga para una rotación de 0.02 radianes, para calificar como Conexión a Momento Parcialmente Restringida (PR) y 0.04 radianes para calificar como una Conexión a Momento Completamente Restringida (FR), según lo que señala (ANSI/AISC 341-10, 2012).

En la norma (ANSI/AISC 360-16, 2016) se tiene que el momento probable plástico en la rótula plástica para una conexión RBS, es el calculado según se indicó en la sección 2.3.2 de este trabajo de investigación, teniendo como resultado los valores que se muestran a continuación:

$$M_{pr} = 25.02 \text{ Tn.m} \quad 0.8 * M_{pr} = 20.02 \text{ Tn.m}$$

Con los datos de laboratorio obtenidos de los ensayos de las probetas antes mencionadas se obtuvo las curvas de histéresis Momento vs Giro, de las cuales se realizó un resumen comparativo mismo que esta descrito en la TABLA 3-25 y el Gráfico 3-46, donde además se incluyó el valor del 80% del Momento Probable de la Viga que está señalado con una línea roja.

TABLA 3-25.- Resumen comparativo del comportamiento de las Probetas ensayadas una vez aplicado el protocolo de carga descrito en la norma (ANSI/AISC 341-10)

	Giro ϕ (Rad)	Momento M (Tn.m)	Momento % Mpr	Observación	
PROBETA 1	0.04	1.47	0.06 Mpr	M < 0.80 Mpr	No califica ya que el momento máximo que resistió la probeta para giros positivos es menor a 0.8 Mpr
	0.02	16.41	0.66 Mpr	M < 0.80 Mpr	
	-0.02	-26.89	1.07 Mpr	M > 0.80 Mpr	
	-0.04	-27.95	1.12 Mpr	M > 0.80 Mpr	
PROBETA 2	0.04	14.46	0.58 Mpr	M < 0.80 Mpr	No Califica ya que el momento máximo que resistió la probeta es menor a 0.8 Mpr tanto para giros positivos como negativos
	0.02	9.64	0.39 Mpr	M < 0.80 Mpr	
	-0.02	-9.69	0.39 Mpr	M < 0.80 Mpr	
	-0.04	-12.22	0.49 Mpr	M < 0.80 Mpr	
PROBETA 3	0.04	18.06	0.72 Mpr	M < 0.80 Mpr	No Califica ya que el momento máximo que resistió la probeta es menor a 0.8 Mpr tanto para giros positivos como negativos
	0.02	18.10	0.72 Mpr	M < 0.80 Mpr	
	-0.02	-15.70	0.63 Mpr	M < 0.80 Mpr	
	-0.04	-16.04	0.64 Mpr	M < 0.80 Mpr	
PROBETA 4	0.04	26.13	1.04 Mpr	M > 0.80 Mpr	Califica como conexión FR ya que para un giro de 0.04 (rad) la probeta soporta un momento máximo superior a 0.8 Mpr, tanto para giros positivos como negativos
	0.02	30.19	1.21 Mpr	M > 0.80 Mpr	
	-0.02	-29.43	1.18 Mpr	M > 0.80 Mpr	
	-0.04	-22.96	0.92 Mpr	M > 0.80 Mpr	
PROBETA 5	0.04	12.12	0.48 Mpr	M < 0.80 Mpr	No Califica ya que el momento máximo que resistió la probeta es menor a 0.8 Mpr tanto para giros positivos como negativos
	0.02	14.25	0.57 Mpr	M < 0.80 Mpr	
	-0.02	-18.97	0.76 Mpr	M < 0.80 Mpr	
	-0.04	-9.00	0.36 Mpr	M < 0.80 Mpr	

Probeta 1 .- Modelo utilizando platinas diagonales dentro de la columna RCFT

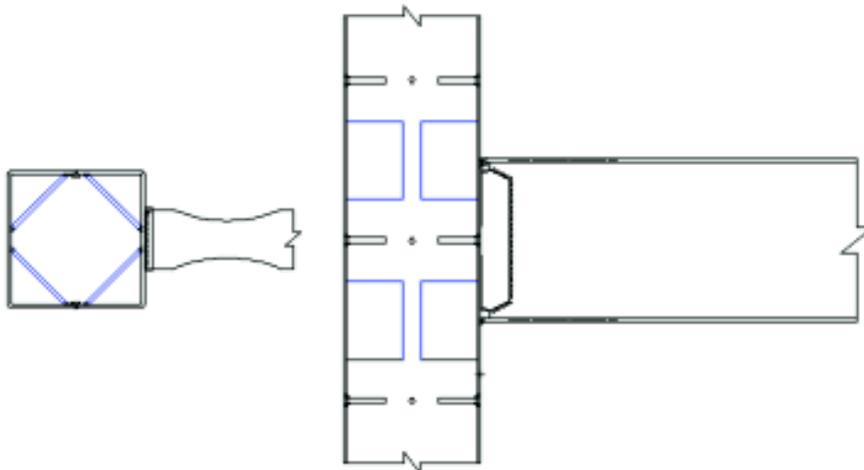


Figura 3-119.- Vista en planta y en elevación de Probeta 1

Probeta 2 .- Modelo con un anillo de placas colocadas alrededor de la columna compuesta RCFT de manera paralela a la cara de la columna en la zona de conexión con la viga metálica tipo I

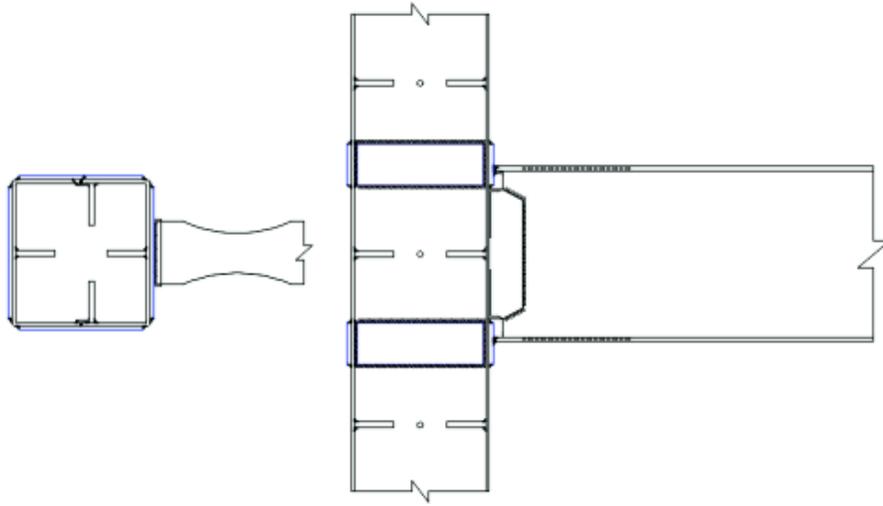


Figura 3-120.- Vista en planta y en elevación de Probeta 2

Probeta 3 .- Modelo con un anillo de placas colocadas alrededor de la columna compuesta RCFT de manera perpendicular a la cara de la columna en la zona de conexión con la viga metálica tipo I, estas placas se colocan a continuación de los patines superior e inferior.

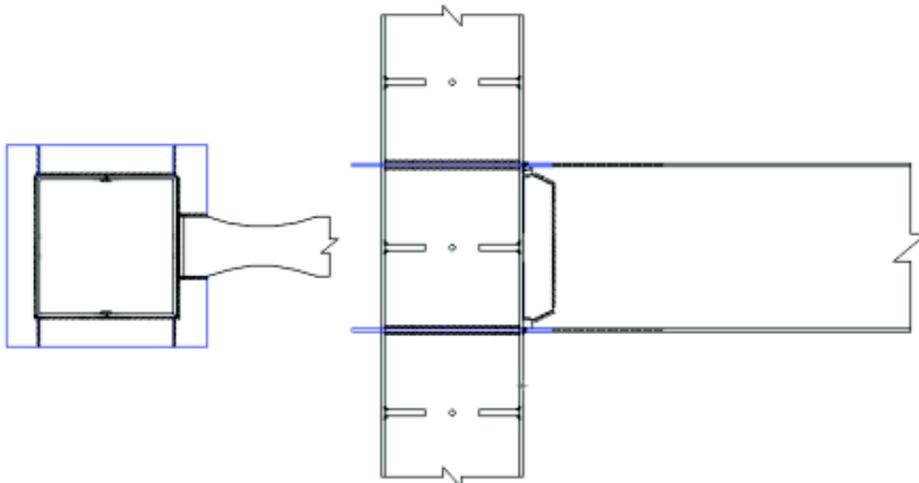


Figura 3-121 .- Vista en planta y en elevación de Probeta 3

Probeta 4 .- Modelo que será la combinación del primer modelo y el tercer modelo, pero colocando la placas de refuerzo sobre el patín superior y debajo del patín inferior

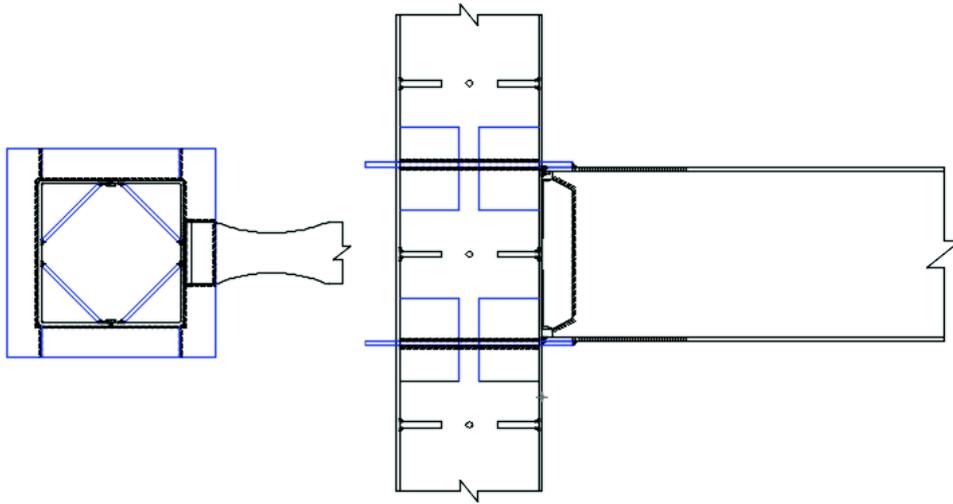


Figura 3-122.- Vista en planta y en elevación de Probeta 4

Probeta 5 .- Modelo prolongando los patines de las vigas dentro de la columna RCFT

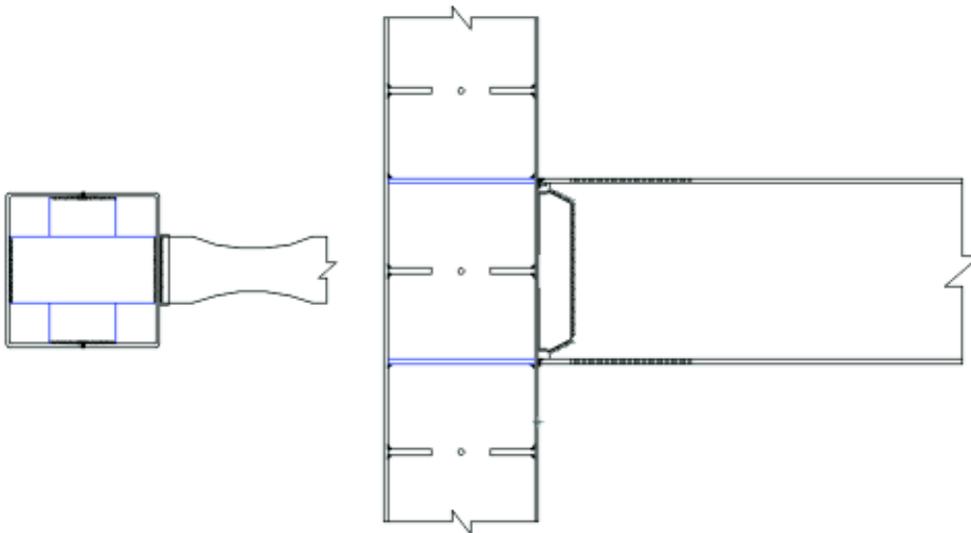


Figura 3-123.- Vista en planta y en elevación de Probeta 5

RESUMEN COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROBETAS ENSAYADAS EN LABORATORIO

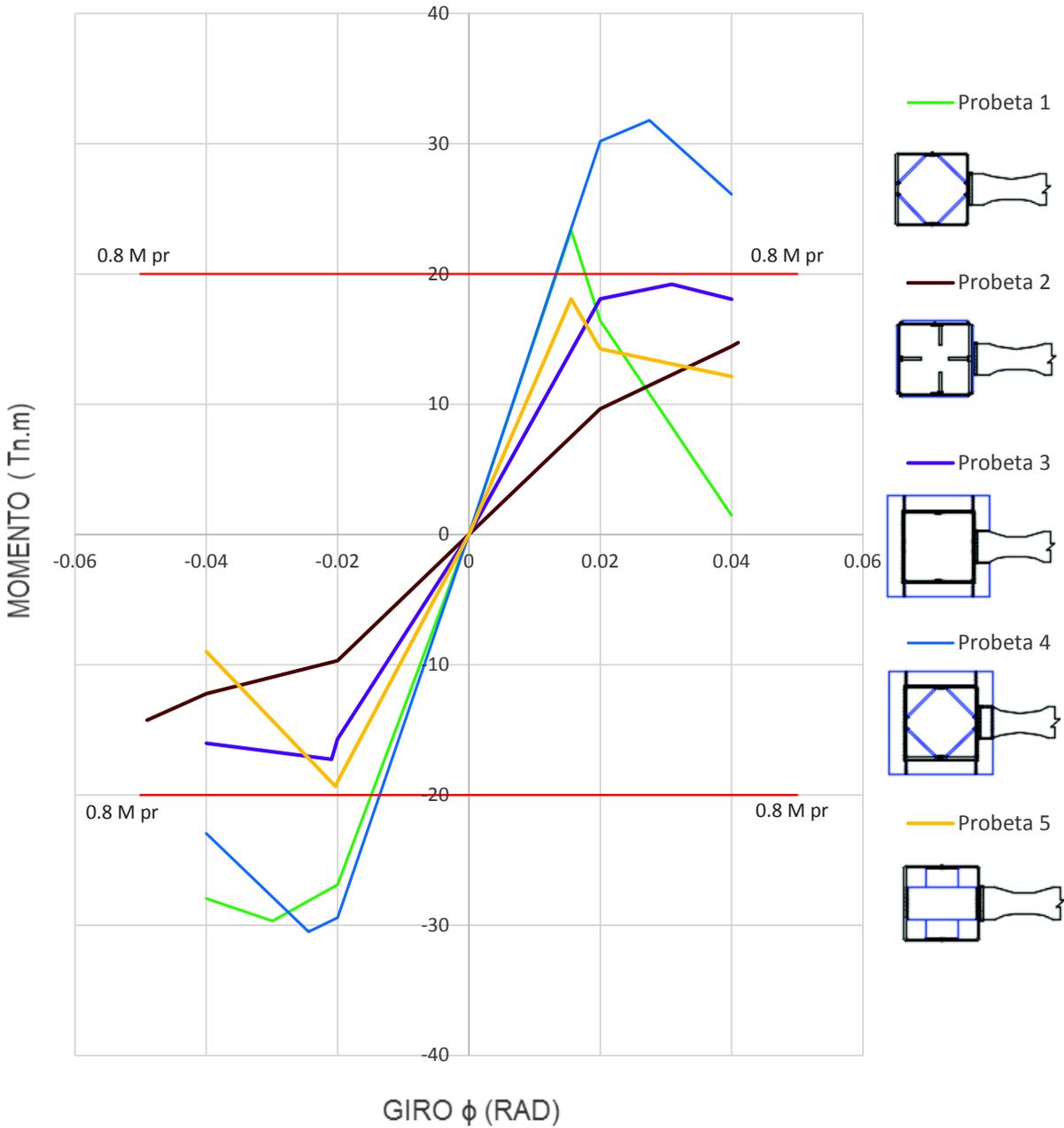


Gráfico 3-46 .- Resumen comparativo del comportamiento de las Probetas ensayadas una vez aplicado el protocolo de carga descrito en la norma (ANSI/AISC 341-10)

Del Gráfico 3-46, se puede notar que el modelo que presentó el mejor comportamiento una vez aplicado el protocolo de carga es el de la Probeta 4 (Línea Azul), modelo donde se pudo observar la formación de la Rotula plástica tal como se señaló anteriormente. De los resultados obtenidos en laboratorio, mismos que se resumen en la TABLA 3-25,

se puede apreciar que los momentos máximos que resiste el modelo de la Probeta 4 para giros de 0.02 Rad y 0.04 Rad tanto positivos como negativos son superiores a 0.8 Mpr por lo que esta conexión califica como FR, situación que no ocurre con las demás probetas ensayadas, a excepción de la Probeta 1 que para giros negativos de 0.02 Rad y 0.04 Rad presenta momentos máximos superiores a 0.8 Mpr, sin embargo para giros positivos los valores de momentos obtenidos en la Probeta 1 son inferiores a 0.8 Mpr presentándose un comportamiento asimétrico en esta conexión, motivo por el cual no califica ni como conexión PR ni como conexión FR .

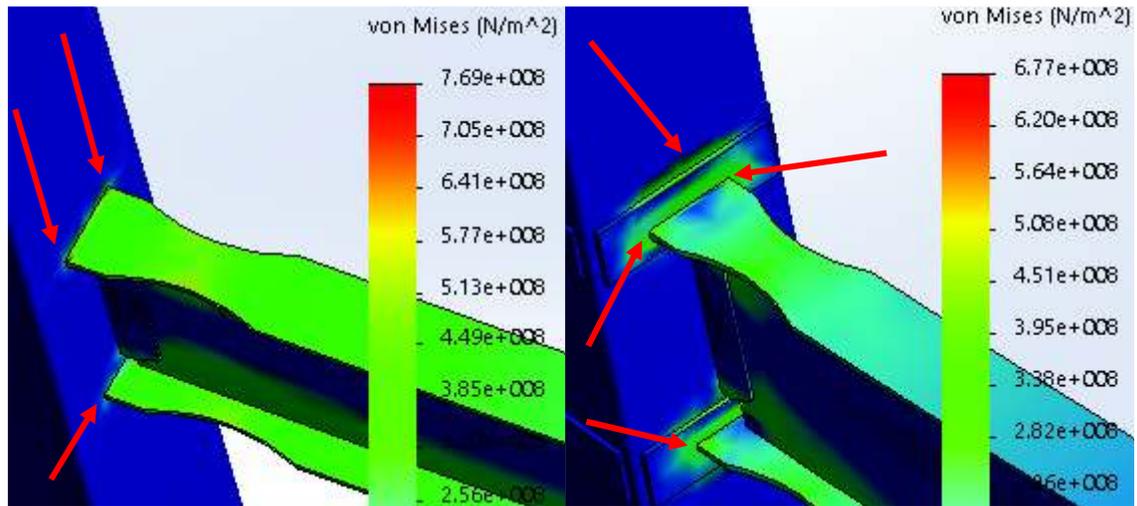
3.6.2. Comparación de los esfuerzos obtenidos en las probetas ensayadas a partir del uso de elementos finitos mediante la aplicación del Programa SolidWorks

Mediante la modelación de las probetas ensayadas utilizando elementos finitos MEF, considerando las características de los materiales, restricciones así como las características geométricas de las mismas, al usar la mayor carga obtenida del ensayo realizado a cada probeta en el Programa SolidWorks, se obtuvo los esfuerzos máximos que muestran el comportamiento de las conexiones ensayadas, las cuales se pueden observar en la Figura 3-124, donde se ha señalado mediante el uso de flechas rojas los puntos más esforzados en cada modelo.

Las cargas aplicadas a cada modelo así como los esfuerzos encontrados, han sido tabulados en la TABLA 3-27, donde se puede apreciar además los esfuerzos máximos en relación al esfuerzo ultimo promedio del material base de acero A36 y los esfuerzos máximos en relación al esfuerzo ultimo del material de aporte dado por el cordón de soldadura con electrodo E7018, así como el porcentaje de sobreesfuerzo respecto de estos.

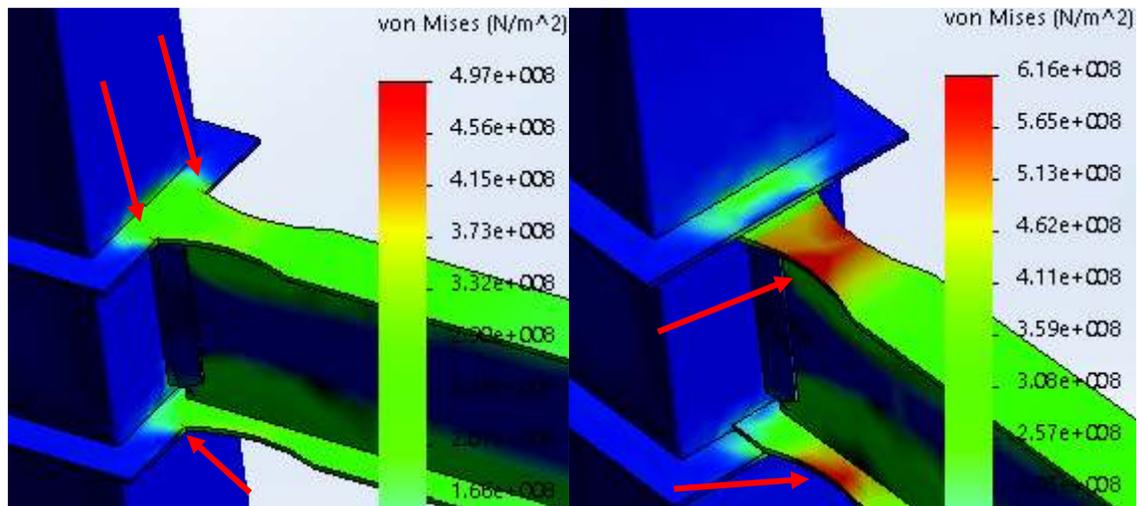
TABLA 3-26.- Valores del esfuerzo último promedio del material base de acero A36 y del material de aporte dado por el cordón de soldadura con electrodo E7018

(A36)	Fu=	4.78E+08 N/m ²
(E7018)	Fu=	4.82E+08 N/m ²



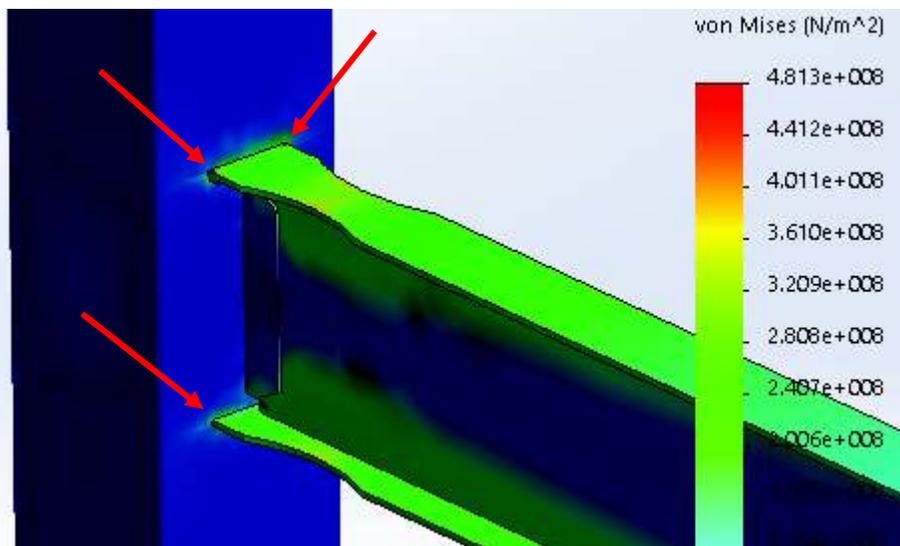
PROBETA 1

PROBETA 2



PROBETA 3

PROBETA 4



PROBETA 5

Figura 3-124.- Comparación de los esfuerzos obtenidos en las probetas ensayadas mediante el uso de elementos finitos en el Programa SolidWorks

TABLA 3-27.- Comparación de los esfuerzos obtenidos en las probetas ensayadas mediante el uso de elementos finitos en el Programa SolidWorks en relación al Fu (A36) y Fu (E7018).

	CARGA APLICADA P (TN)	σ_{MAX} (N/m ²)	σ_{MAX} / F_u (A36)	Sobre esfuerzo (A36)	σ_{MAX} / F_u (E7018)	Sobre esfuerzo (E7018)
PROBETA 1	9.705 Tn	7.69E+08	160.88 %	60.88 %	159.54 %	59.54 %
PROBETA 2	4.818 Tn	6.77E+08	141.63 %	41.63 %	140.46 %	40.46 %
PROBETA 3	6.282 Tn	4.97E+08	103.97 %	3.97 %	103.11 %	3.11 %
PROBETA 4	10.399 Tn	6.16E+08	128.87 %	28.87 %	127.80 %	27.80 %
PROBETA 5	6.328 Tn	4.81E+08	100.63 %	0.63 %	99.79 %	-0.21 %

De lo que se puede observar de la Figura 3-124, se tiene que los mayores esfuerzos (Flechas Rojas) que se presentan en los modelos de las probetas ensayadas a excepción de la Probeta 4, se concentran en las esquinas de los patines de la viga sean superiores o inferiores, dicha concentración de esfuerzos hace que las fallas de materiales y soldaduras empiecen en estas zonas sobre esforzadas cuyos valores se muestran en la TABLA 3-27, esta concentración de esfuerzos hace fallar la conexión antes de lo previsto impidiendo la formación de la rótula plástica, presentando daños en la cara de la columna tanto por fallas de material y soldaduras tal como se indicó anteriormente, mientras que en el modelo correspondiente a la Probeta 4 se tiene que los mayores esfuerzos se presentan en la zona de la sección reducida de la viga (RBS), lo que permitió la formación de la rótula plástica con la fluencia de la viga sin que se presenten daños en la columna dando cumplimiento a la filosofía de diseño Columna Fuerte Nudo Fuerte – Viga Débil, situación que se aprecia en el apartado correspondiente.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se ensayaron cuatro probetas, mismas que fueron construidas de manera similar tanto en la parte de materiales, dimensiones, procesos constructivos y procesos de soldaduras en vigas, columnas y conexiones, cumpliendo con todos los parámetros revisados anteriormente así como también con las normas (ANSI/AISC 341-10, 2012), (ANSI/AISC 358-16, 2016), (ANSI/AISC 360-16, 2016), (AWS D1.1/D1.1M:2006, 2006), (AWS C4.1-77 (R2010), 2009), además se contó con los datos experimentales de la probeta elaborada dentro del trabajo de investigación del (Ing. Hugo Pillajo), construida también con los parámetros antes mencionados. De estas cinco probetas se modificó la parte concerniente a la conexión Viga-Columna siendo esta la única variable a comparar.

Una vez que se han ensayado todas las probetas descritas anteriormente, mismas que representan las alternativas de construcción de la conexión soldada de columnas compuestas RCFT y vigas metálicas tipo I usadas comúnmente en nuestro medio, se obtuvo las curvas de histéresis fuerza-desplazamiento y momento rotación de cada probeta ensayada, con estos resultados se ha podido definir el verdadero comportamiento de cada una, mismos que se resumen en la TABLA 3-25 y el Gráfico 3-46; de estos resultados se puede concluir que la probeta que presenta el mejor comportamiento en lo concerniente a la Conexión Viga - Columna es el modelo de conexión de la Probeta 4, el cual se refiere al modelo que cuenta con diagonales dentro de la columna y con un anillo de placas de refuerzo colocadas de manera perpendicular a la cara de la columna, placas colocadas sobre el patín superior y debajo del patín inferior véase la (Figura 3-72). Esta es la única probeta donde se pudo observar la formación de la Rotula Plástica de la manera esperada y que soporto un momento máximo superior al 80% del momento probable requerido (0.8 Mpr) según lo establecido (ANSI/AISC 341-10), por lo que esta conexión califica como una conexión a Momento Completamente Restringida (FR), además en esta probeta no se observaron daños en la columna ni en la zona del nudo, con lo que se cumple con la filosofía de diseño sismoresistente Columna Fuerte Nudo Fuerte - Viga débil . Las demás probetas que fueron parte de esta investigación no cumplieron con lo establecido en la norma (ANSI/AISC 341-10), según se observa en TABLA 3-25, por lo que no calificaron ni como conexión a Momento Completamente Restringida (FR) ni como conexión a Momento Parcialmente Restringida (PR).

CAPITULO 5

5. RECOMENDACIONES

5.1. Recomendaciones de diseño para la conexión columna RCFT – viga metálica tipo I (FR) utilizada en la Probeta 4

Como se señaló anteriormente, la única conexión que cumplió con los requerimientos dispuestos por la norma (ANSI/AISC 341-10) para calificar como conexión a Momento Completamente Restringida (FR) fue la conexión viga columna utilizada en la probeta 4, modelo que se refiere a la probeta que cuenta con diagonales dentro de la columna y con un anillo de placas de refuerzo colocadas de manera perpendicular a la cara de la columna, placas que fueron colocadas sobre el patín superior y debajo del patín inferior, véase la (Figura 3-72), dicho esto para el diseño de la sección reducida RBS se recomienda seguir con todas las recomendaciones de la norma (ANSI/AISC 358-16, 2016), (ANSI/AISC 341-10, 2012) mismas que se detallan en la Sección 2.1 de este trabajo de investigación, a las que se sumarán las siguientes recomendaciones:

5.1.1. Recomendaciones para el diseño de las placas del anillo de refuerzo:

Se recomienda colocar un anillo de placas de refuerzo del mismo espesor que el de los patines, con un ancho igual a la dimensión (a) del diseño de la RBS, estas placas deben colocarse sobre el patín superior y debajo del patín inferior (Figura 5-1)

5.1.2. Recomendaciones para el diseño de las diagonales:

Se recomienda que el espesor de las diagonales internas sea del mismo espesor que el de las columnas, con un ancho igual al 50% del peralte del alma de la viga, señalando que de los modelos analíticos realizados utilizando el MEF mediante el programa SolidWorks no se notó la necesidad de colocar placas diagonales más anchas, pero si se recomienda colocar un doble cordón de suelda en lo posible, esta recomendación se la hace visto lo ocurrido en la Probeta 1 donde hubo una falla de soldadura en la diagonal interna; estas placas diagonales deben colocarse a una distancia (z) de la esquina del patín de la viga mayor a 2.5 cm, con la finalidad de evitar sobre esfuerzos debidos a la soldadura en estos sectores tan críticos tal como se pudo observar de los ensayos

realizados así como de los modelos analíticos estudiados; estas recomendaciones se pueden observar en las figuras detalladas a continuación.

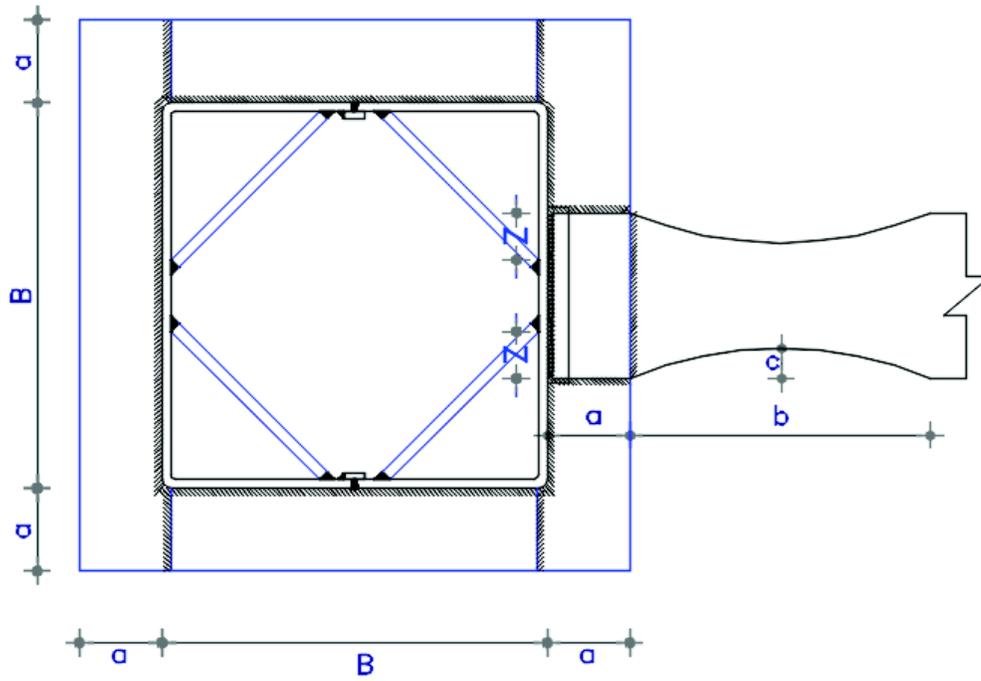


Figura 5-1.- Vista en Planta Recomendaciones de la conexión en Probeta 4

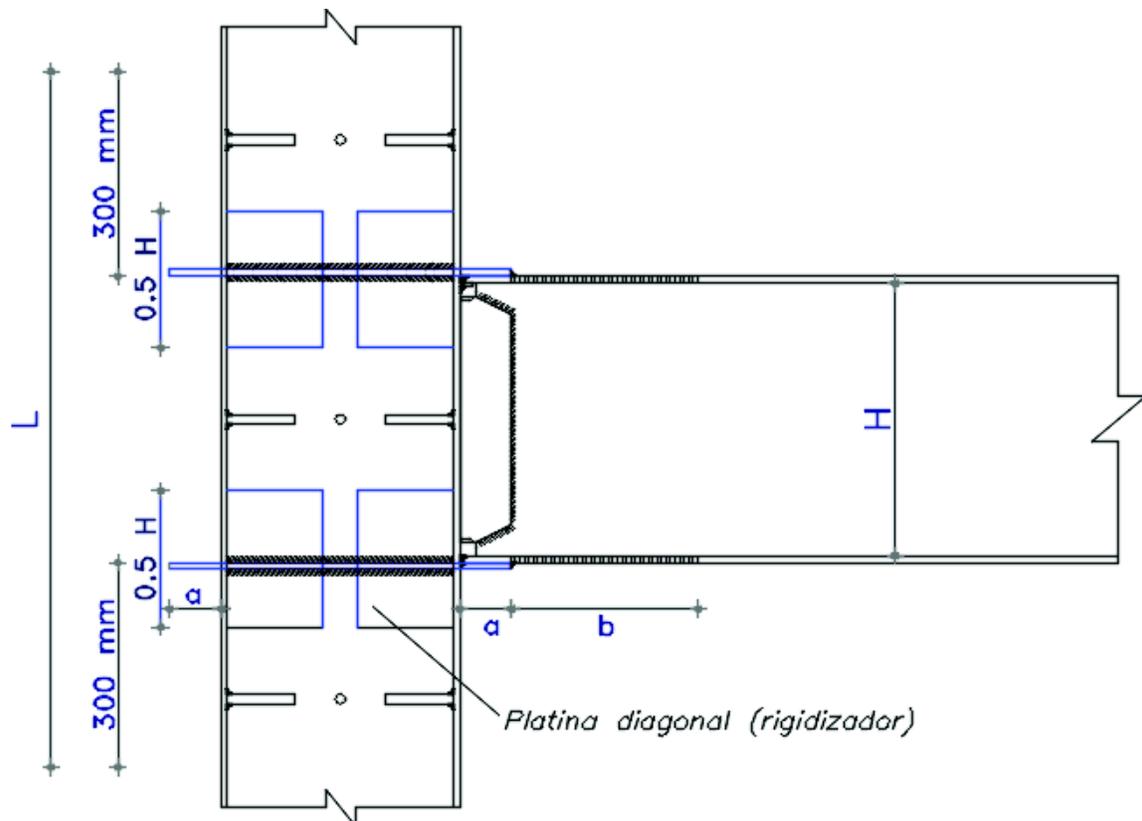


Figura 5-2.- Vista en Alzado Recomendaciones de la conexión en Probeta 4

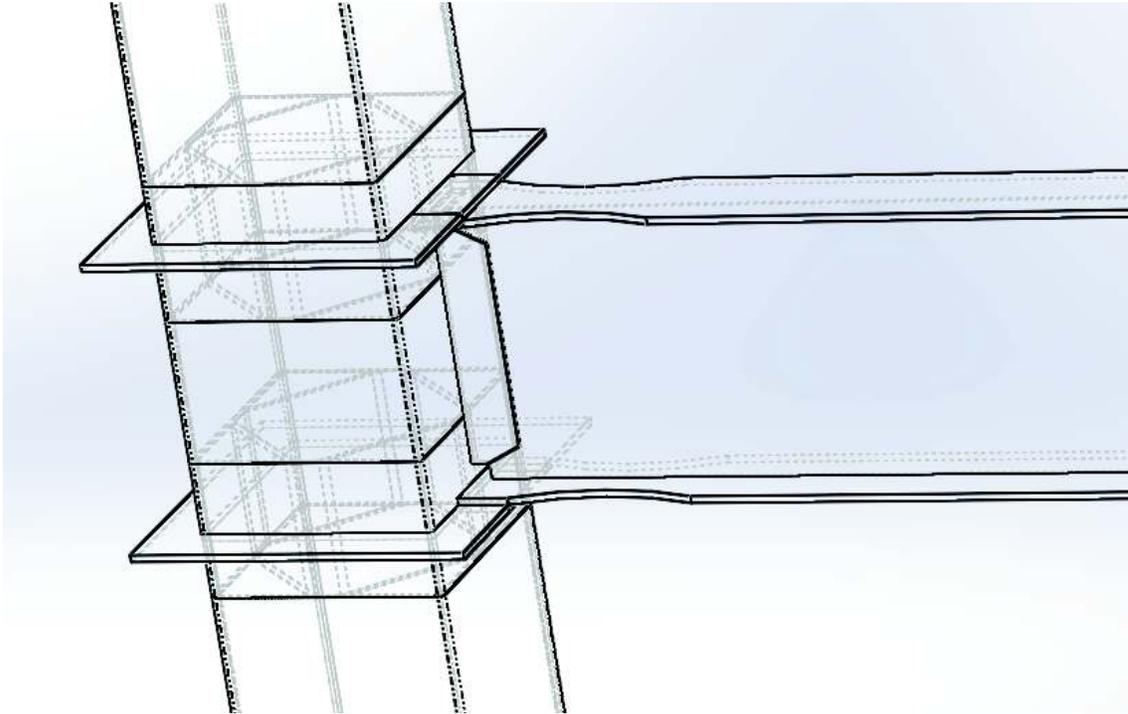


Figura 5-3.- Vista en perspectiva de las recomendaciones de la conexión en Probeta 4

5.2. Recomendaciones Generales

Vista la necesidad de tener un código local que recoja todas las necesidades en cuanto al diseño de conexiones para columnas RCFT y Vigas Metálicas Tipo I, se recomienda continuar con este tipo de investigaciones experimentales, a fin de contar con más experiencias que enriquezcan el diseño de este tipo de estructuras en acero para nuestro medio, ya que solo mediante la realización de este tipo de ensayos experimentales, se puede ver el real comportamiento de este tipo de conexiones, mismas que son el punto más crítico para el diseño de estas estructuras; tomando en cuenta que a pesar de contar con poderosos programas para la modelación de estas conexiones solo al compararlas con datos experimentales se puede notar las muchas falencias que se pueden encontrar, las cuales se pueden ir mejorando a fin de cumplir con el objetivo deseado tal como paso en esta investigación, misma que deja abierta la puerta para que se continúe con la realización de futuros ensayos, a fin de que no solo se pueda calificar este tipo de conexiones si no también se las pueda precalificar y difundir toda la información obtenida asegurando que todas las construcciones en acero que se hagan a futuro con este tipo de elementos puedan cumplir con la filosofía del diseño sismo resistente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSI/AISC 341-10. (2012). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Chicago: American Institute of Steel Construction.
- ANSI/AISC 358-16. (2016). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*. Chicago: American Institute of Steel Construction.
- ANSI/AISC 360-16. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago.
- AWS C4.1-77 (R2010). (2009). *Criteria for Describing Oxygen - Cut Surfaces*. Miami: American Welding Society.
- AWS D1.1/D1.1M:2006. (2006). *Structural Welding Code-Steel*. Miami: American Welding Society.
- Crisafulli, F. (2014). *Diseño Sismorresistente de Construcciones de Acero*. Santiago: Alacero.
- FEMA-350. (2000). *Recommended Seismic Desing Criteria for New Steel Moment - Frame Buildings*.
- Gerdau-Corsa. (s.f.). Eleccion del tipo de acero para estructuras. *El Acero*, 16.
- Ing. Hugo Pillajo, .. (2017). *Evaluación de la conexion precalificada: Viga de seccion reducida - Columna cajón relleno, Para porticos de momento a base de planchas de acero A36 soldadas*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- NEC-SE-AC. (2014). *Estructuras de Acero*. Quito: Miduvi.
- Soldarco. (2015). *WestArco*. Recuperado el 20 de Febrero de 2017, de <http://www.westarco.com/westarco/sp/support/documentation/upload/catalogo-soldarco-revisado-9-10-2015.pdf>

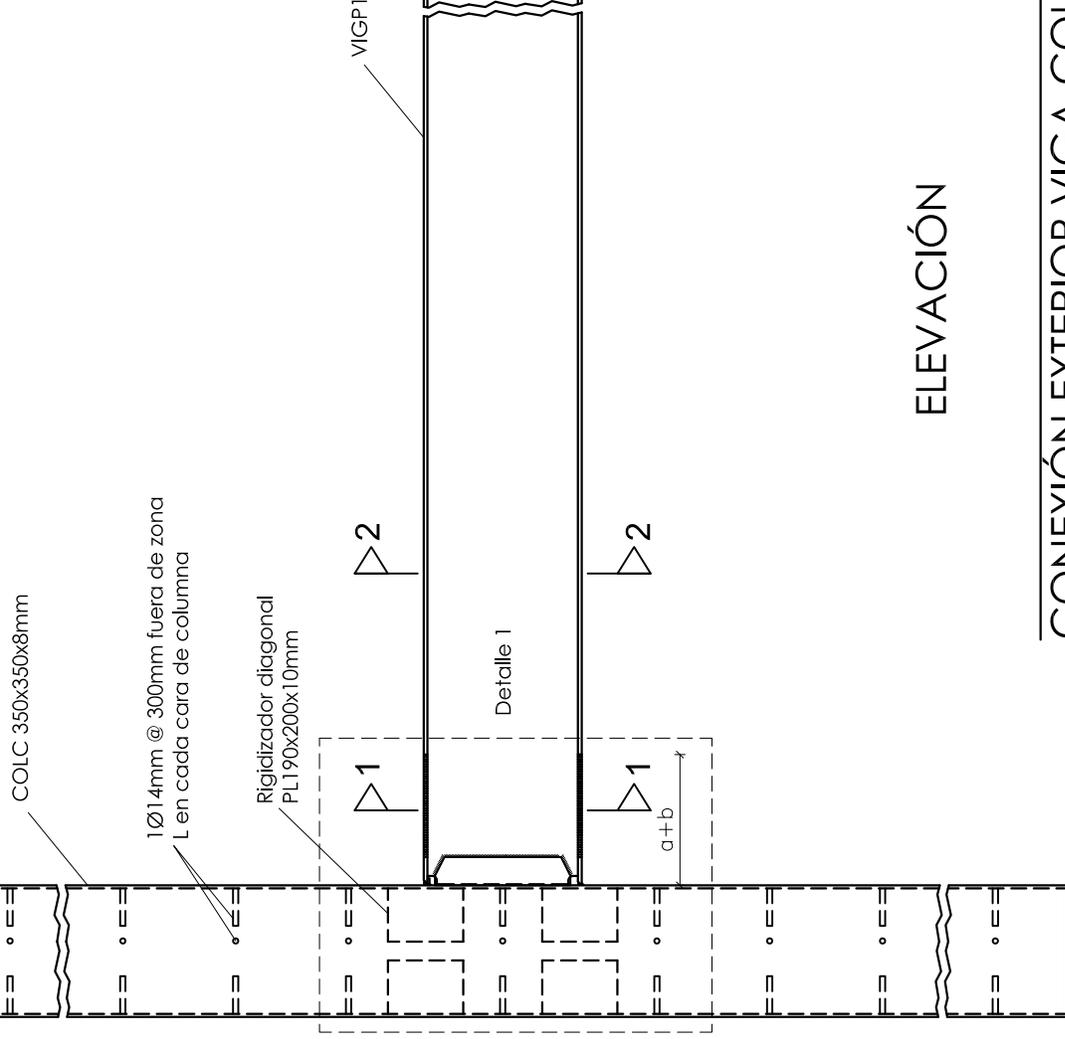
ANEXOS

ANEXO PLANOS DE CONEXIONES

ANEXO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

ANEXO PROCESOS DE SOLDADURAS

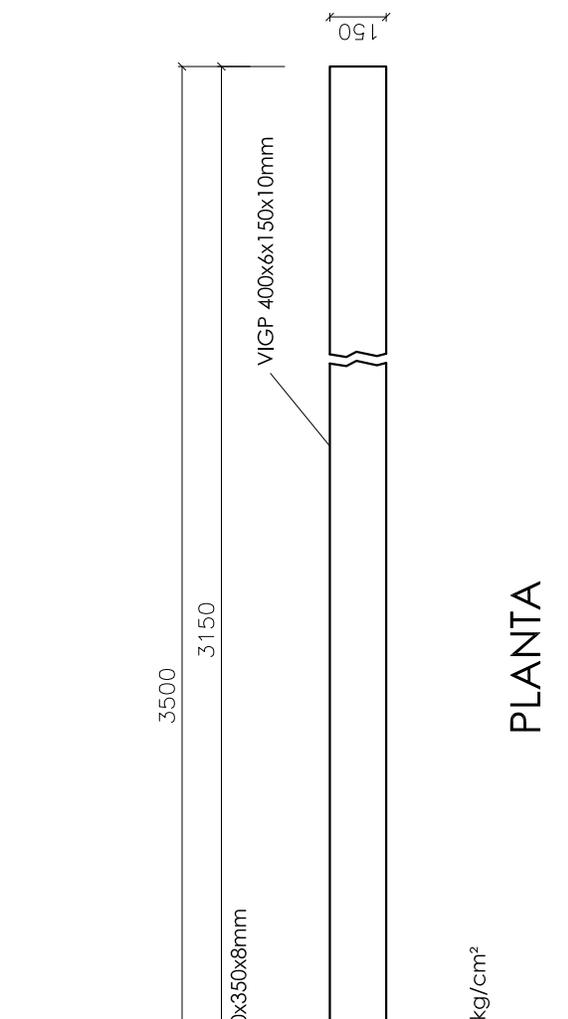
ANEXO CALIFICACIÓN DE SOLDADORES



ELEVACIÓN

CONEXIÓN EXTERIOR VIGA-COL

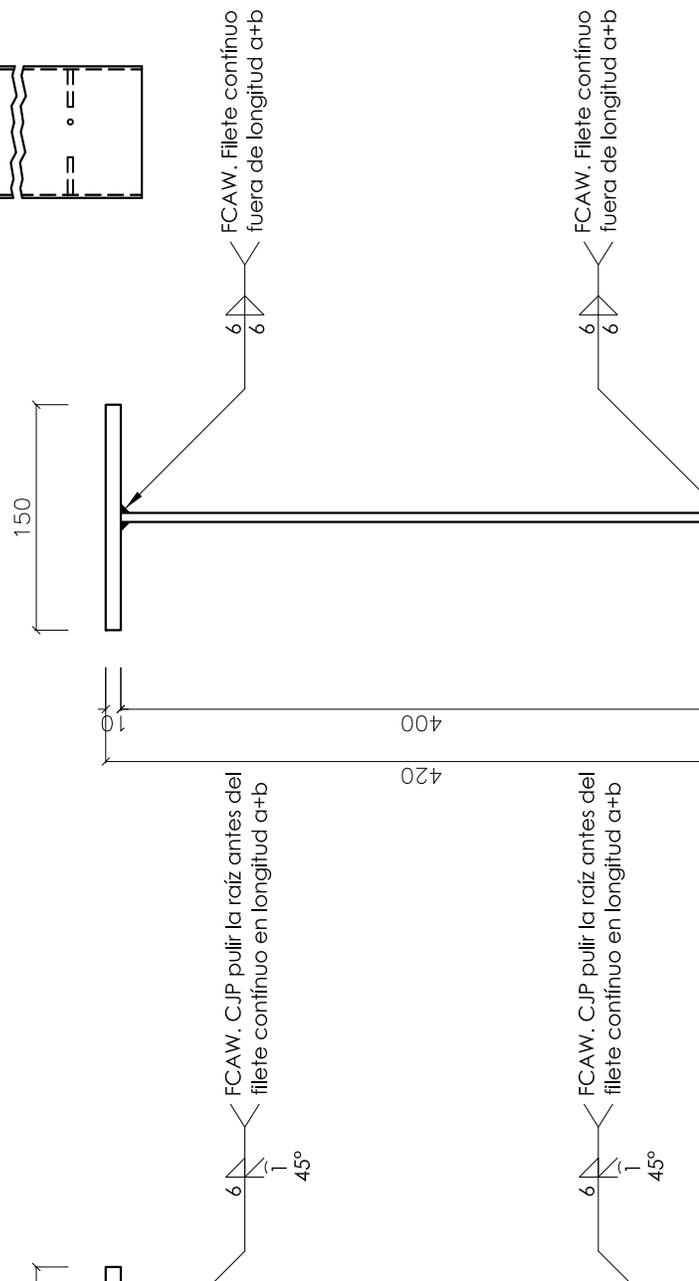
ESCALA1:20



PLANTA

CONEXIÓN EXTERIOR VIGA-COLUMNA

ESCALA1:20

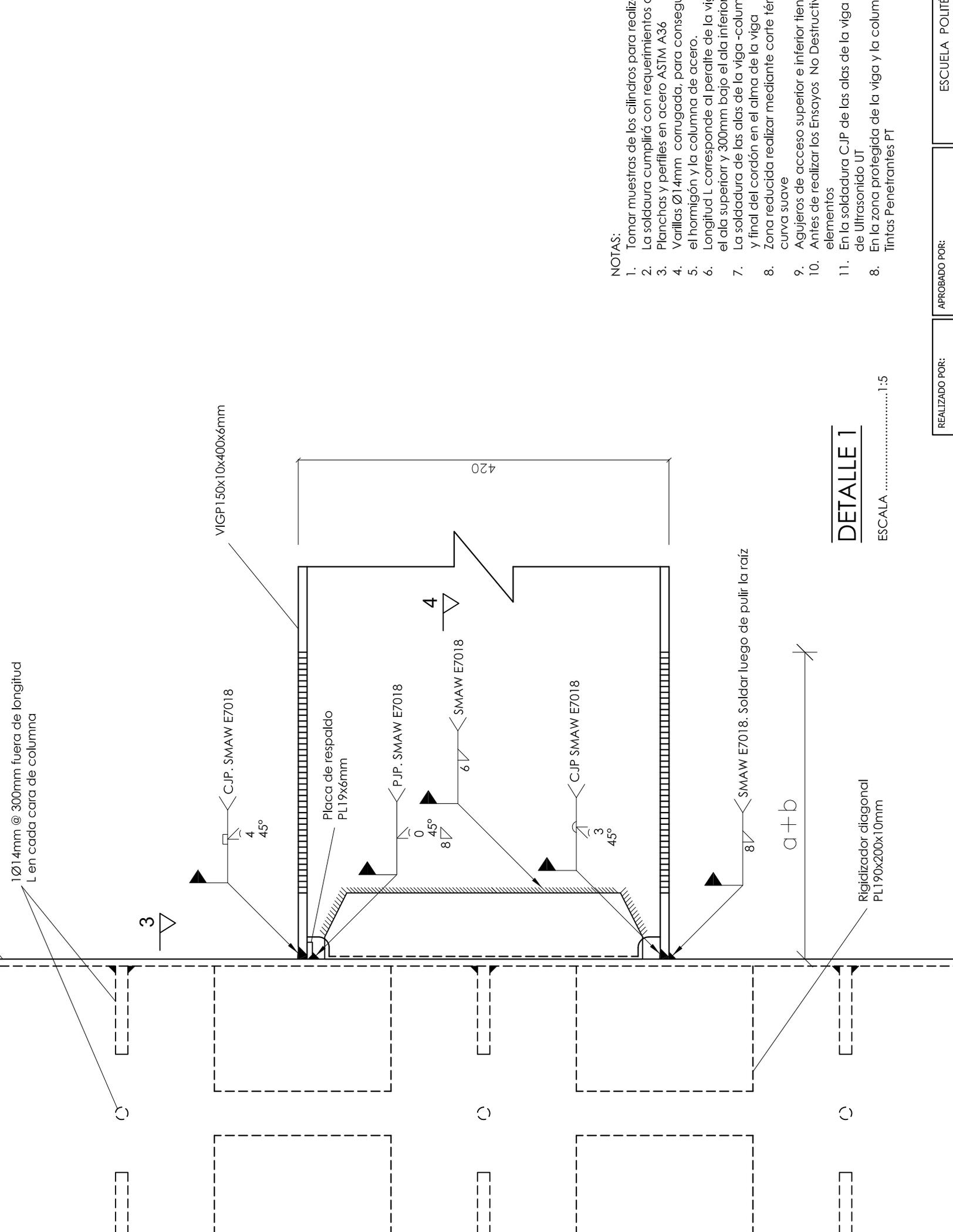


NOTA:
1. La soldadura cumplirá con requerimientos d

REALIZADO POR:

APROBADO POR:

ESCUELA POLITÉCNICA



1Ø14mm @ 300mm fuera de longitud
L en cada cara de columna

VIGP150x10x400x6mm

420

a + b

DETALLE 1

ESCALA1:5

NOTAS:

1. Tomar muestras de los cilindros para realizar
2. La soldadura cumplirá con requerimientos c
3. Planchas y perfiles en acero ASTM A36
4. Varillas Ø14mm corrugada, para conseg
5. el hormigón y la columna de acero.
6. Longitud L corresponde al peralte de la viga el ala superior y 300mm bajo el ala inferior
7. La soldadura de las alas de la viga -column y final del cordón en el alma de la viga
8. Zona reducida realizar mediante corte térc curva suave
9. Agujeros de acceso superior e inferior tien
10. Antes de realizar los Ensayos No Destructiv elementos
11. En la soldadura CJP de las alas de la viga de Ultrasonido UT
8. En la zona protegida de la viga y la column Tintas Penetrantes PT

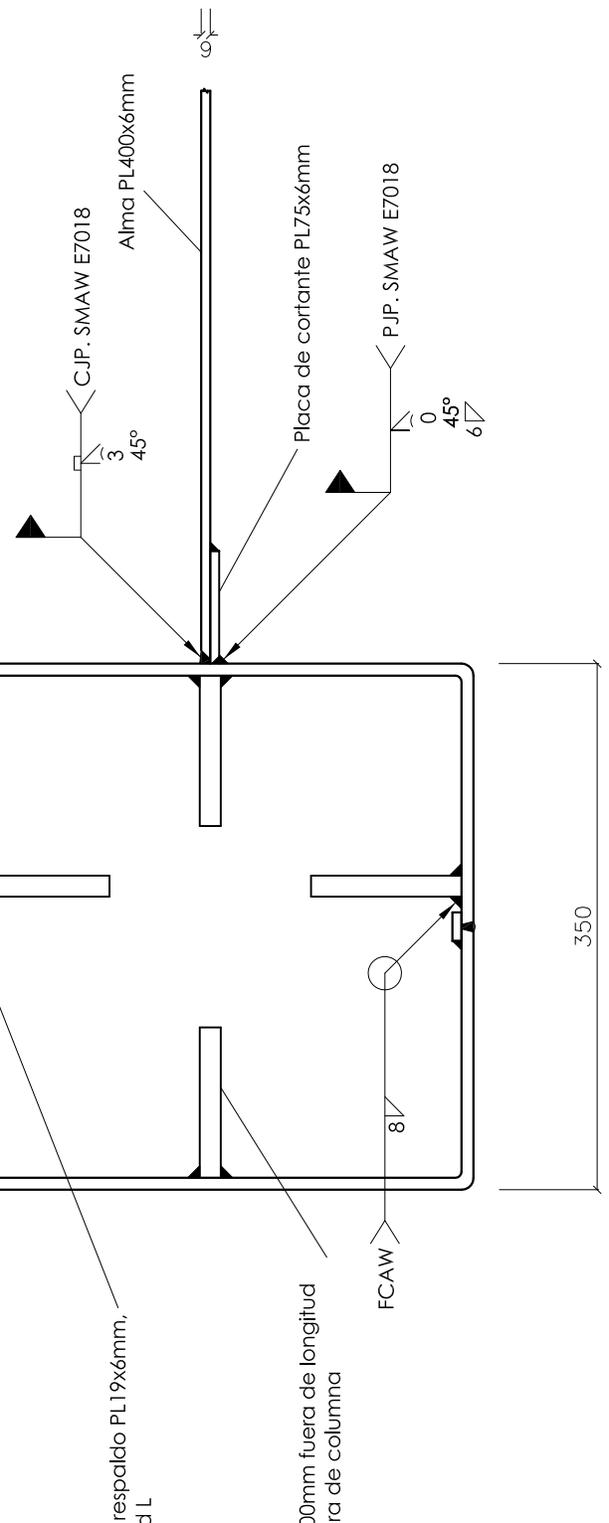
REALIZADO POR:

APROBADO POR:

ESCUELA POLITÉ

CORTE 4-4

ESCALA1:5

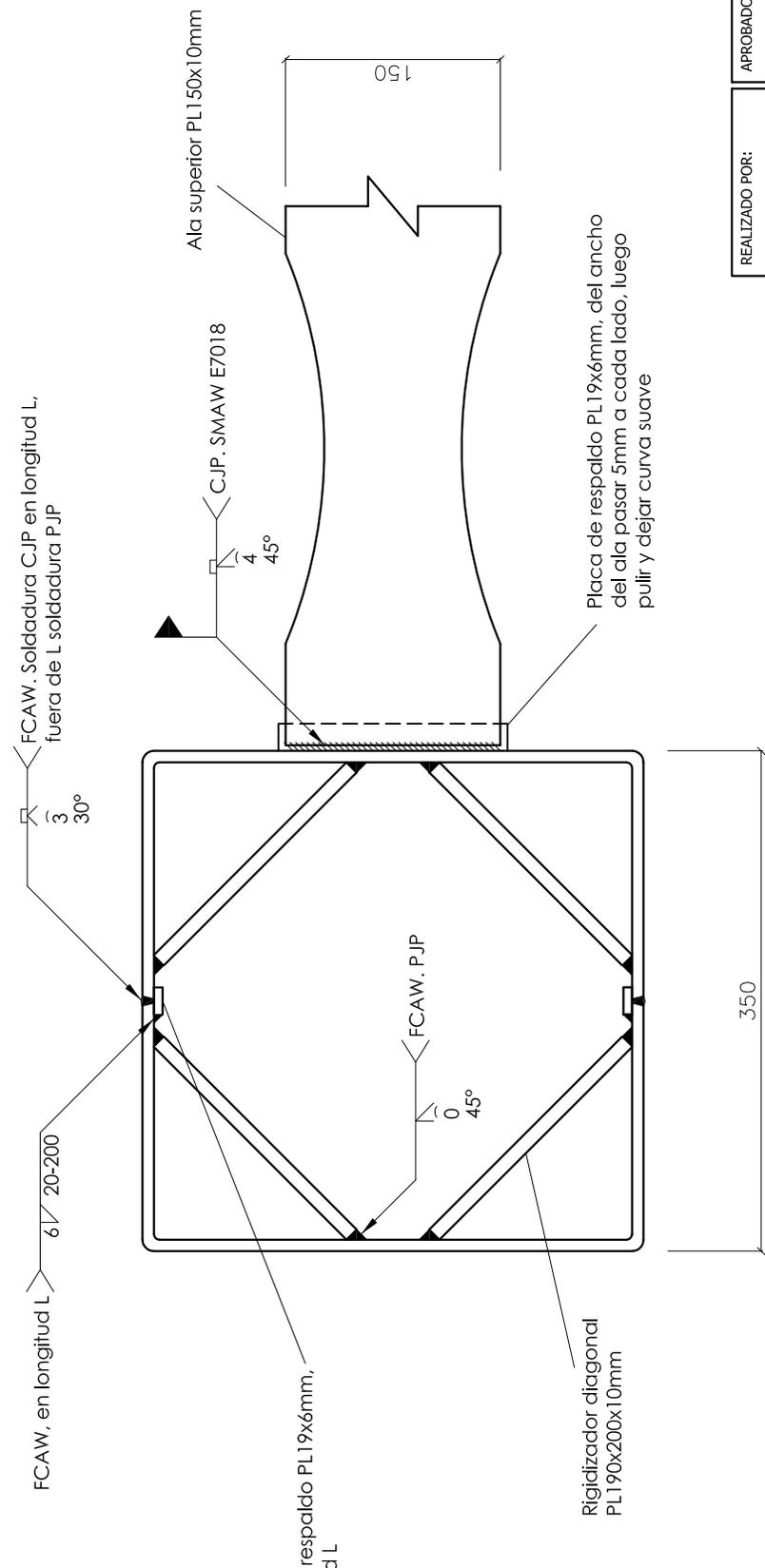


NOTA:

- 1. La soldadura cumplirá con requerimientos

CORTE 3-3

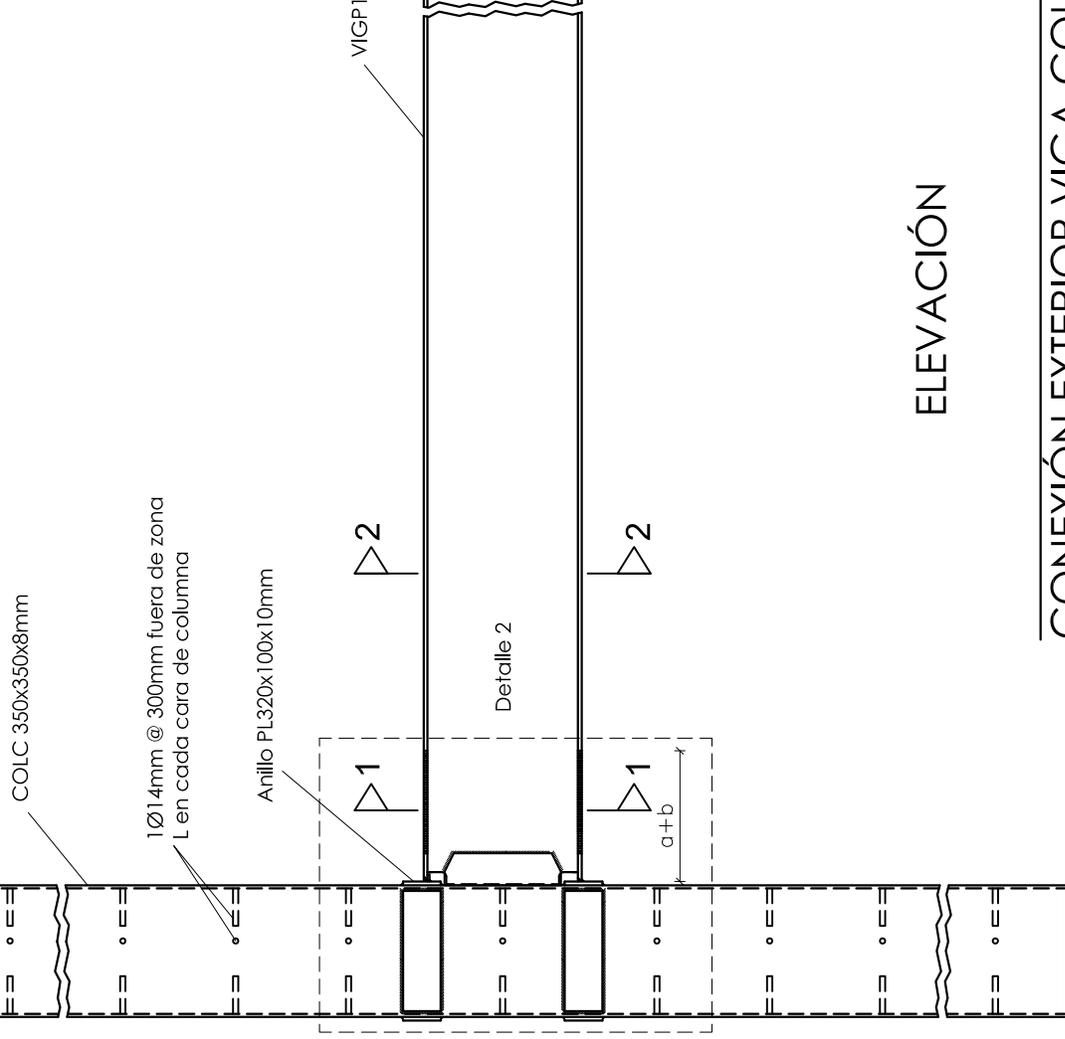
ESCALA1:5



REALIZADO POR:

APROBADO POR:

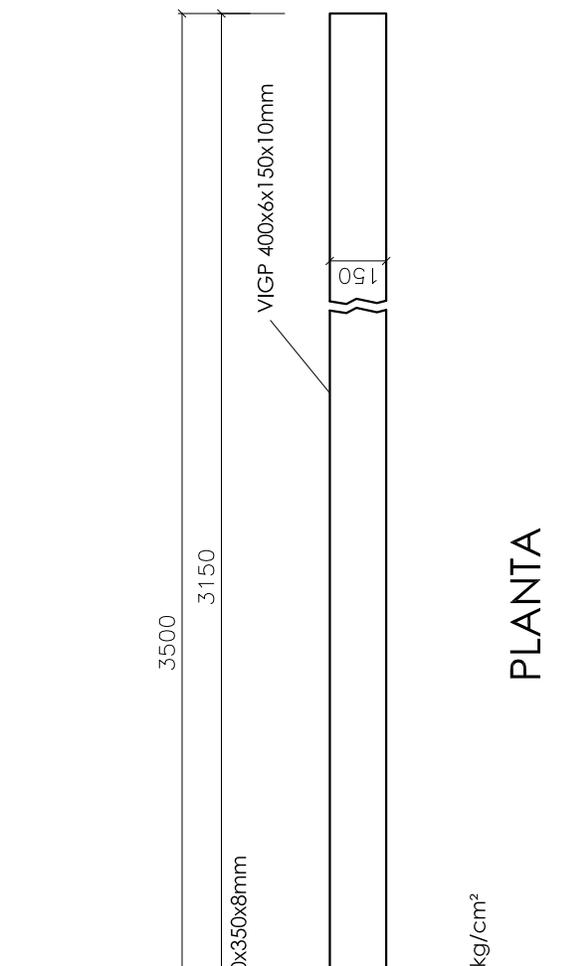
ESCUELA POLITE



ELEVACIÓN

CONEXIÓN EXTERIOR VIGA-COL

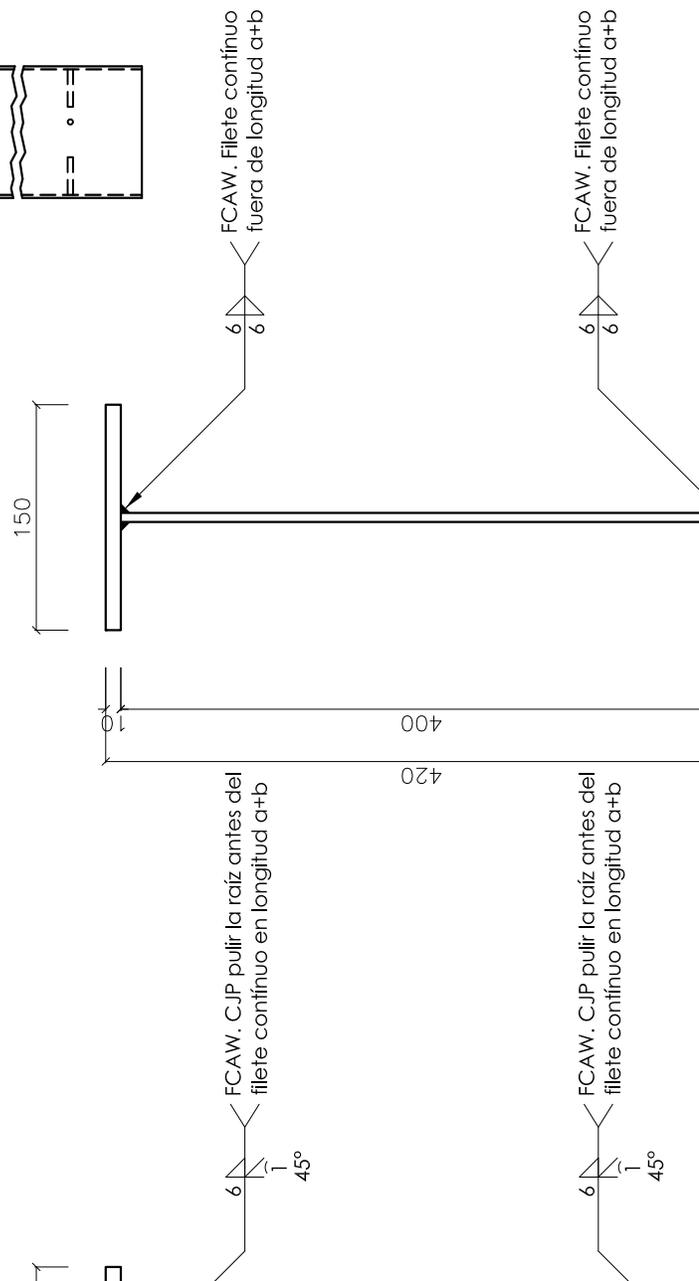
ESCALA1:20



PLANTA

CONEXIÓN EXTERIOR VIGA-COLUMNA

ESCALA1:20



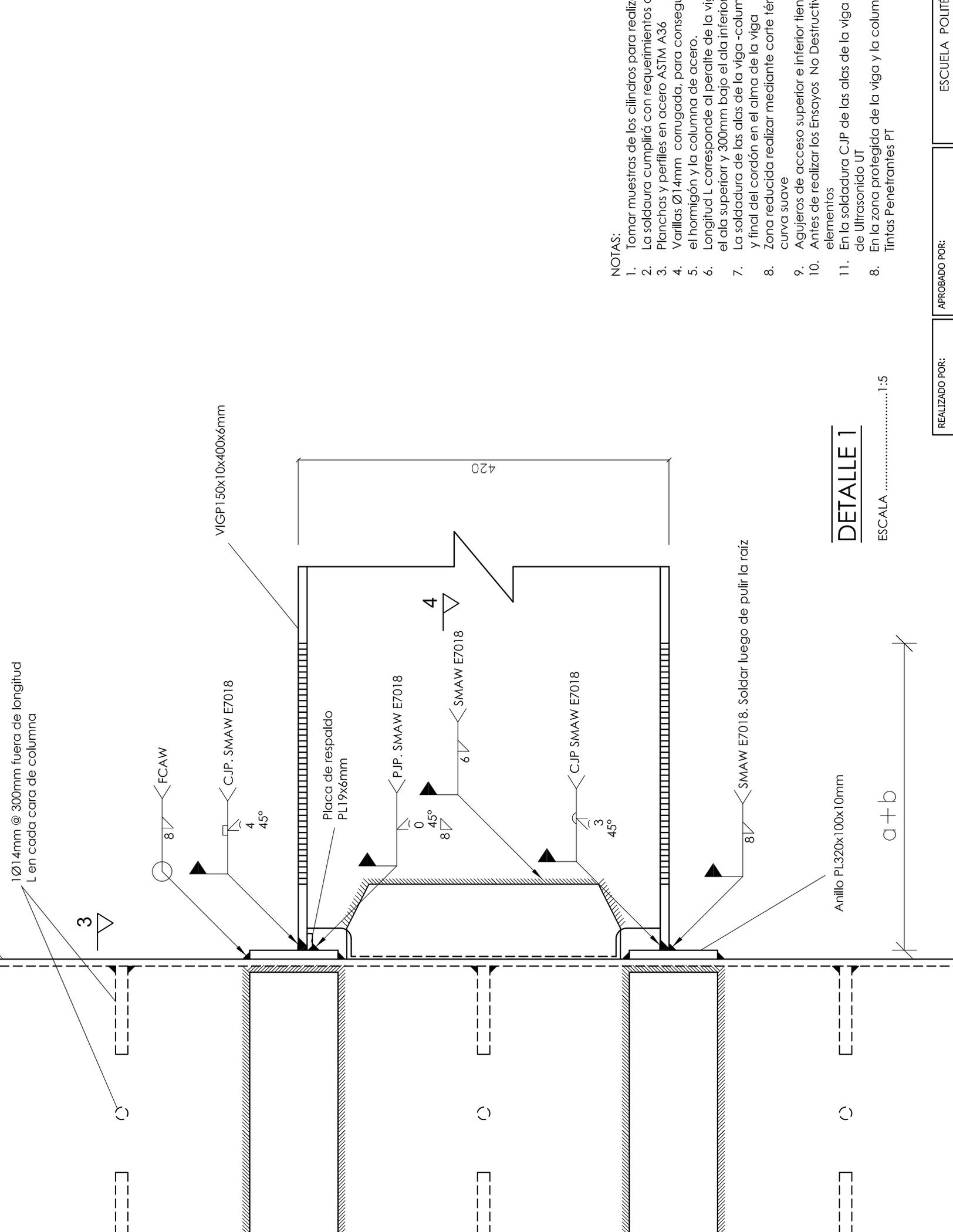
NOTA:

- 1. La soldadura cumplirá con requerimientos d

REALIZADO POR:

APROBADO POR:

ESCUELA POLITE



1Ø14mm @ 300mm fuera de longitud
L en cada cara de columna

VIGP150x10x400x6mm

Anillo PL320x100x10mm

a + b

420

DETALLE 1

ESCALA1:5

NOTAS:

1. Tomar muestras de los cilindros para realizar
2. La soldadura cumplirá con requerimientos de
3. Planchas y perfiles en acero ASTM A36
4. Varillas Ø14mm corrugada, para conseguir
5. el hormigón y la columna de acero.
6. Longitud L corresponde al peralte de la viga y el ala superior y 300mm bajo el ala inferior
7. La soldadura de las alas de la viga-columna y final del cordón en el alma de la viga
8. Zona reducida realizar mediante corte térmico suave
9. Agujeros de acceso superior e inferior tienen
10. Antes de realizar los Ensayos No Destructivos elementos
11. En la soldadura C.J.P. de las alas de la viga de Ultrasonido UT
8. En la zona protegida de la viga y la columna Tintas Penetrantes PT

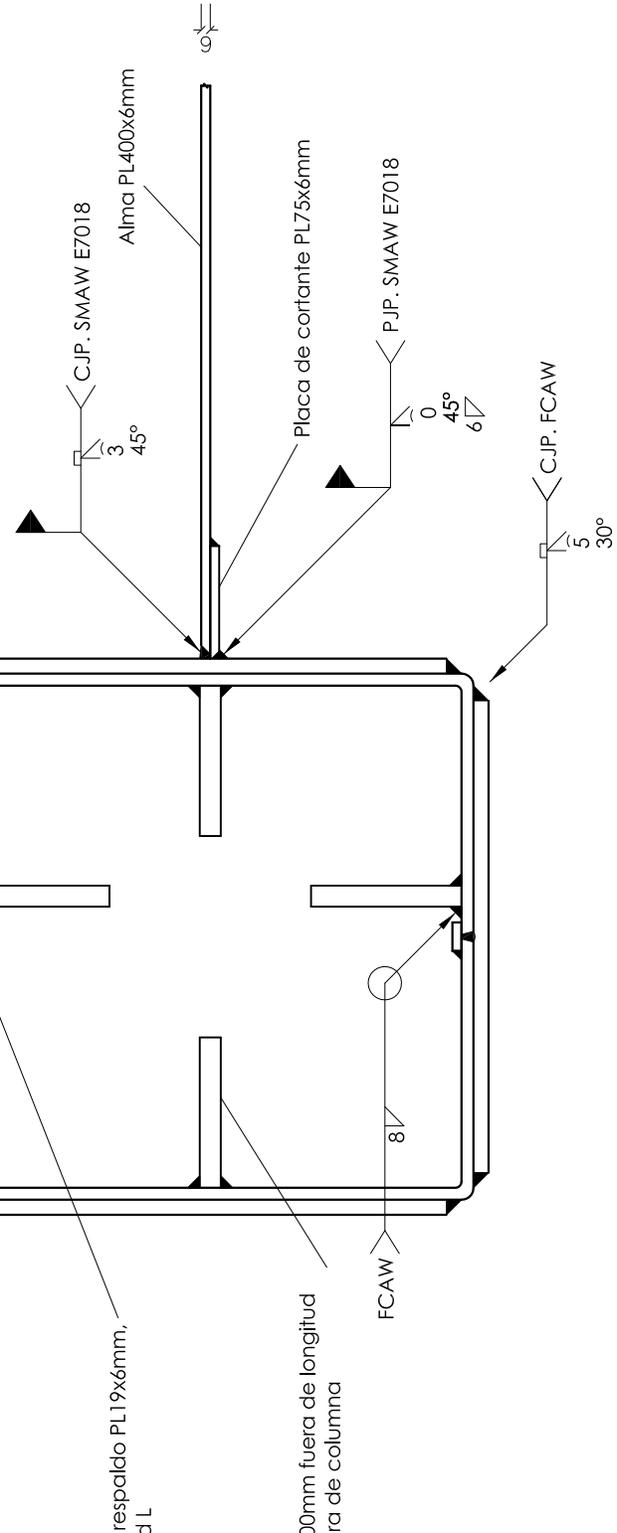
REALIZADO POR:

APROBADO POR:

ESCUELA POLITÉCNICA

CORTE 4-4

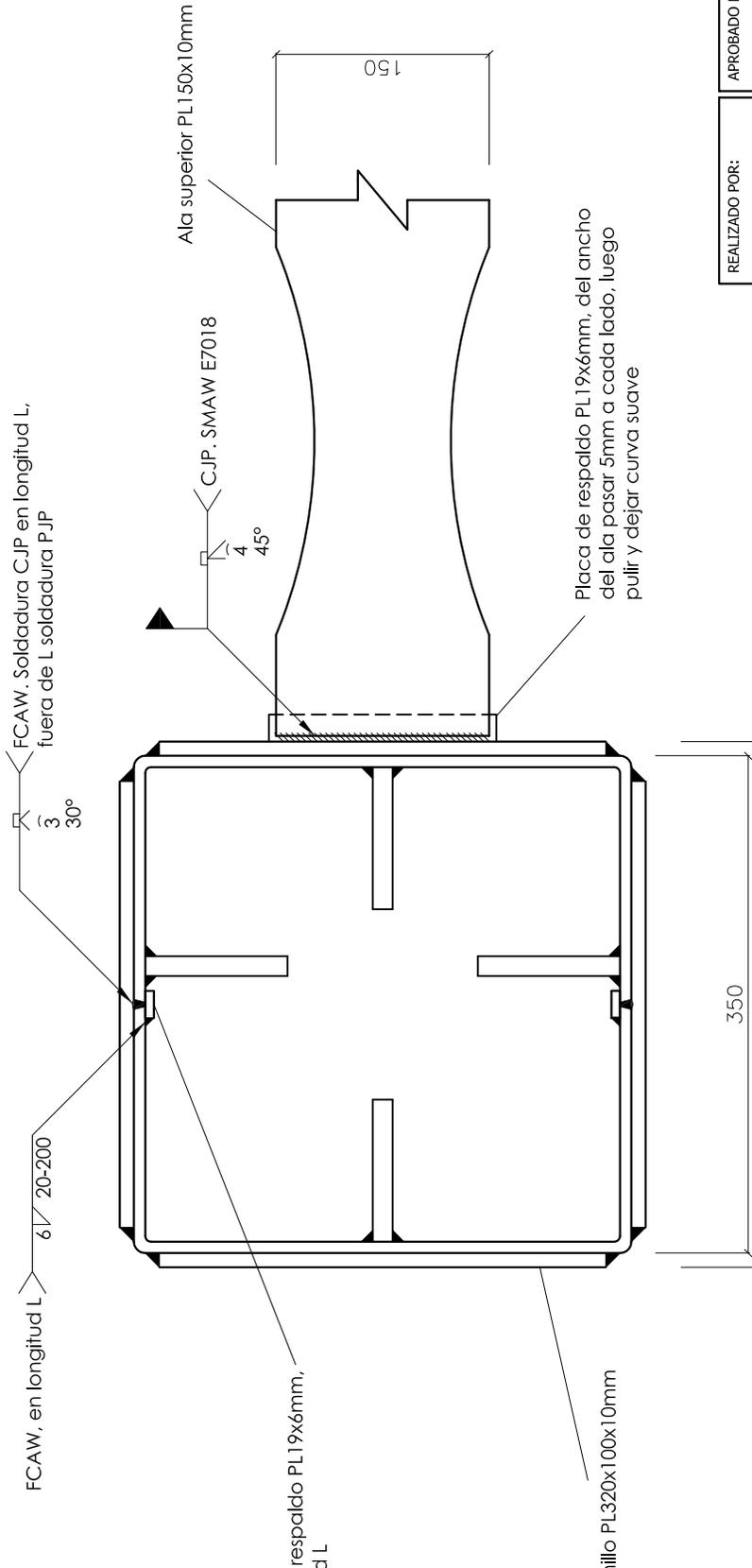
ESCALA 1:5

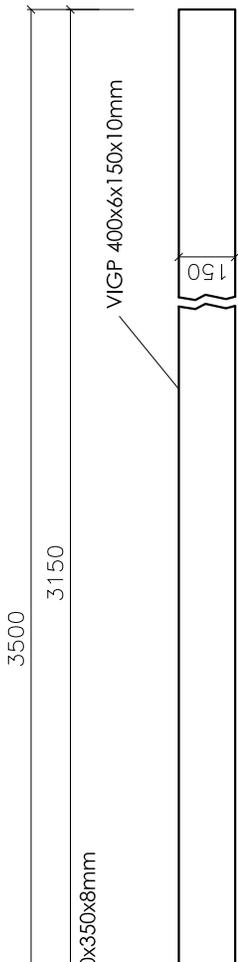
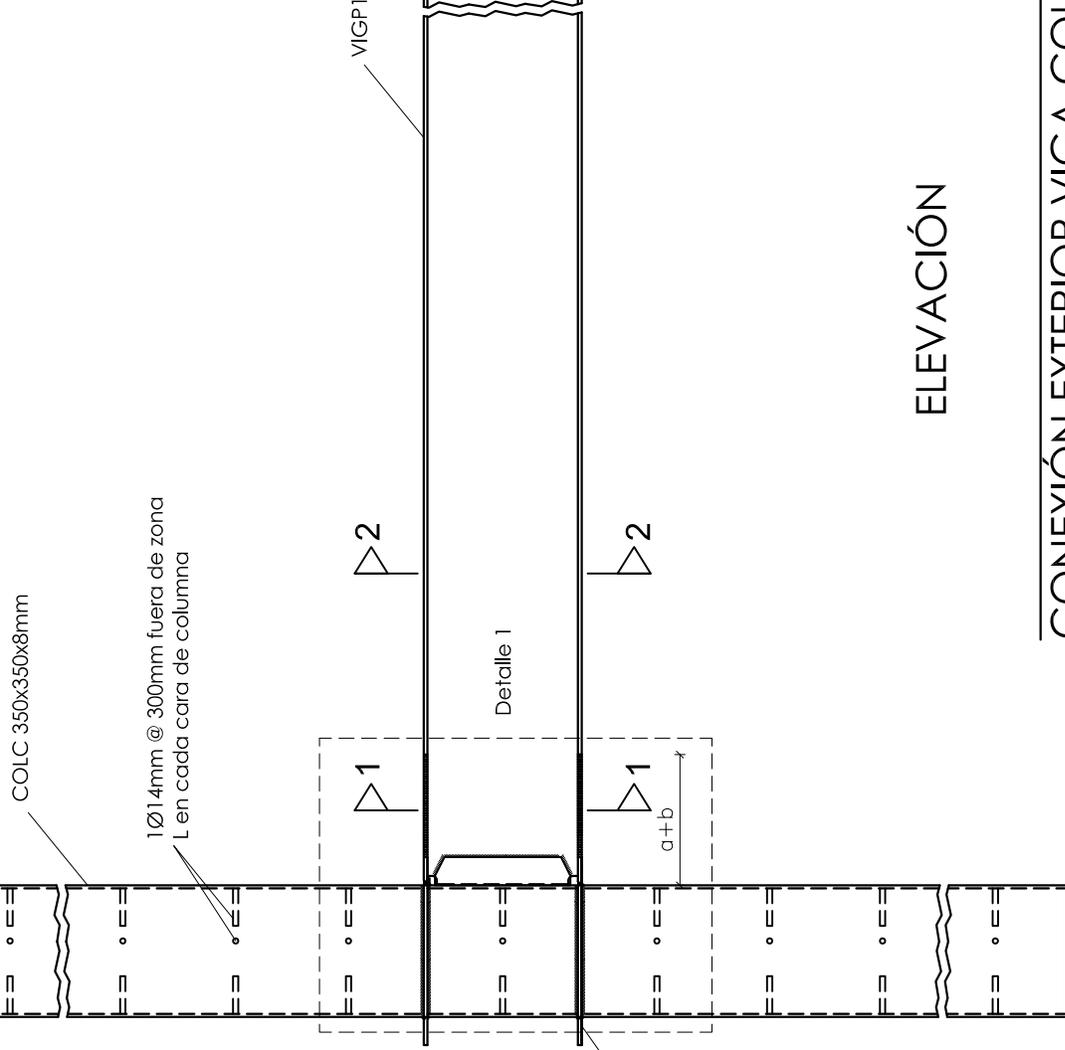


NOTA:
1. La soldadura cumplirá con requerimientos

CORTE 3-3

ESCALA 1:5





PLANTA

CONEXIÓN EXTERIOR VIGA-COLUMNA

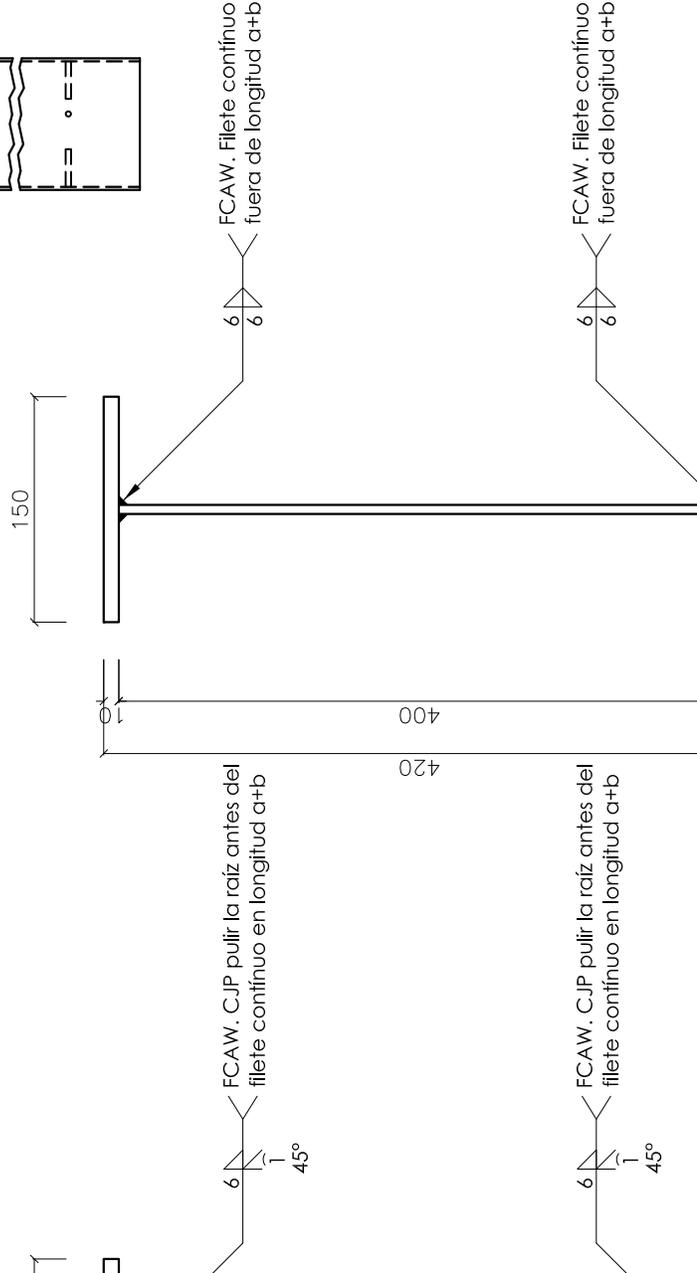
ESCALA 1:20

Rigidizador exterior
PL500x75x10mm

ELEVACIÓN

CONEXIÓN EXTERIOR VIGA-COL

ESCALA 1:20



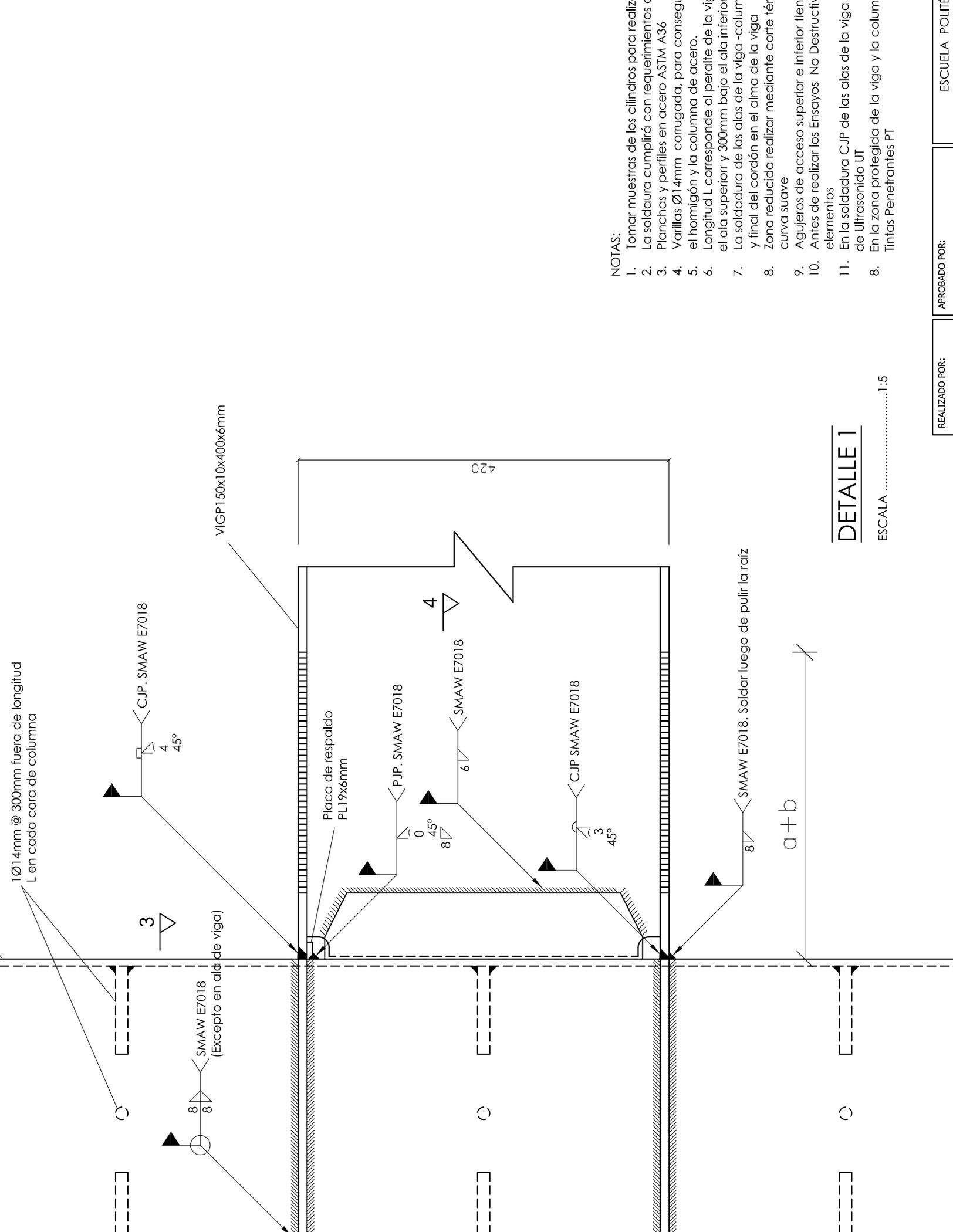
NOTA:

1. La soldadura cumplirá con requerimientos d

REALIZADO POR:

APROBADO POR:

ESCUELA POLITE



1Ø14mm @ 300mm fuera de longitud
L en cada cara de columna

3

SMAW E7018
(Excepto en ala de viga)

CJP. SMAW E7018

VIGP 150x10x400x6mm

Placa de respaldo
PL19x6mm

PJP. SMAW E7018

4

SMAW E7018

CJP SMAW E7018

6

45°

SMAW E7018. Soldar luego de pulir la raíz

a + b

420

DETALLE 1

ESCALA 1:5

NOTAS:

1. Tomar muestras de los cilindros para realizar
2. La soldadura cumplirá con requerimientos de
3. Planchas y perfiles en acero ASTM A36
4. Varillas Ø14mm corrugada, para conseguir el hormigón y la columna de acero.
5. Longitud L corresponde al peralte de la viga el ala superior y 300mm bajo el ala inferior
6. La soldadura de las alas de la viga -columna y final del cordón en el alma de la viga
7. Zona reducida realizar mediante corte térmico curva suave
8. Agujeros de acceso superior e inferior tienen elementos
9. Antes de realizar los Ensayos No Destructivos de Ultrasonido UT
10. En la soldadura CJP de las alas de la viga
11. En la zona protegida de la viga y la columna Tintas Penetrantes PT

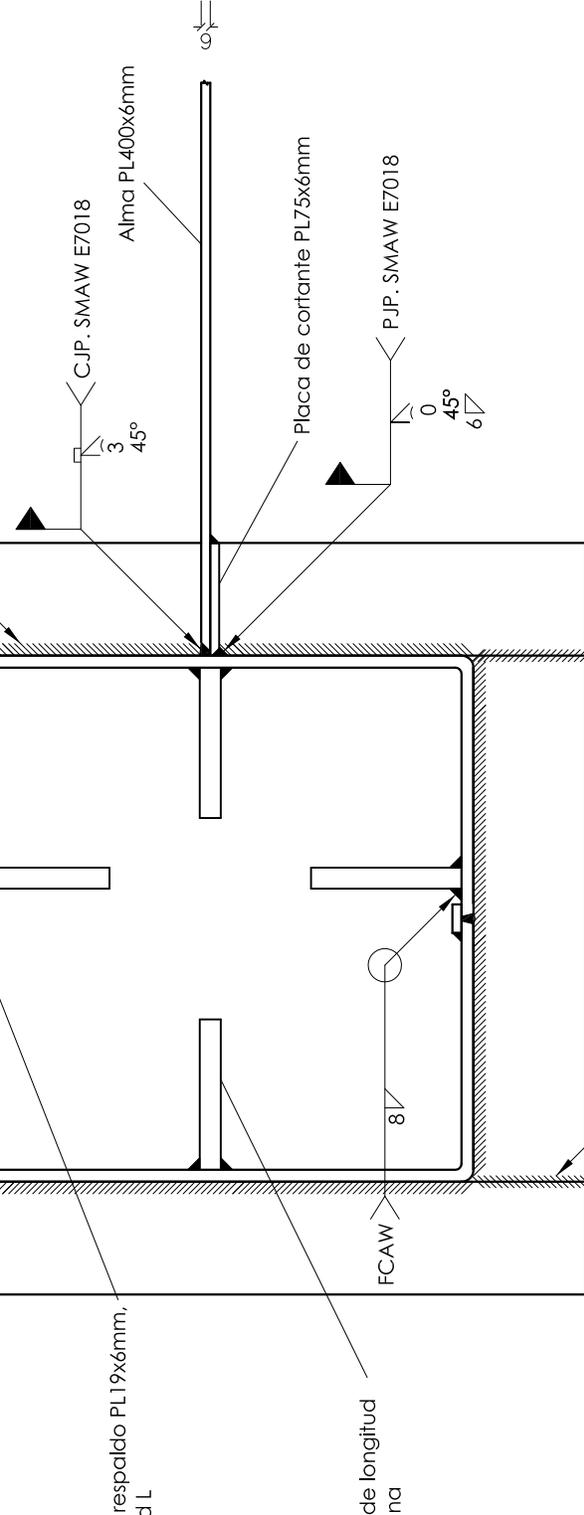
REALIZADO POR:

APROBADO POR:

ESCUELA POLITÉCNICA

CORTE 4-4

ESCALA1:5

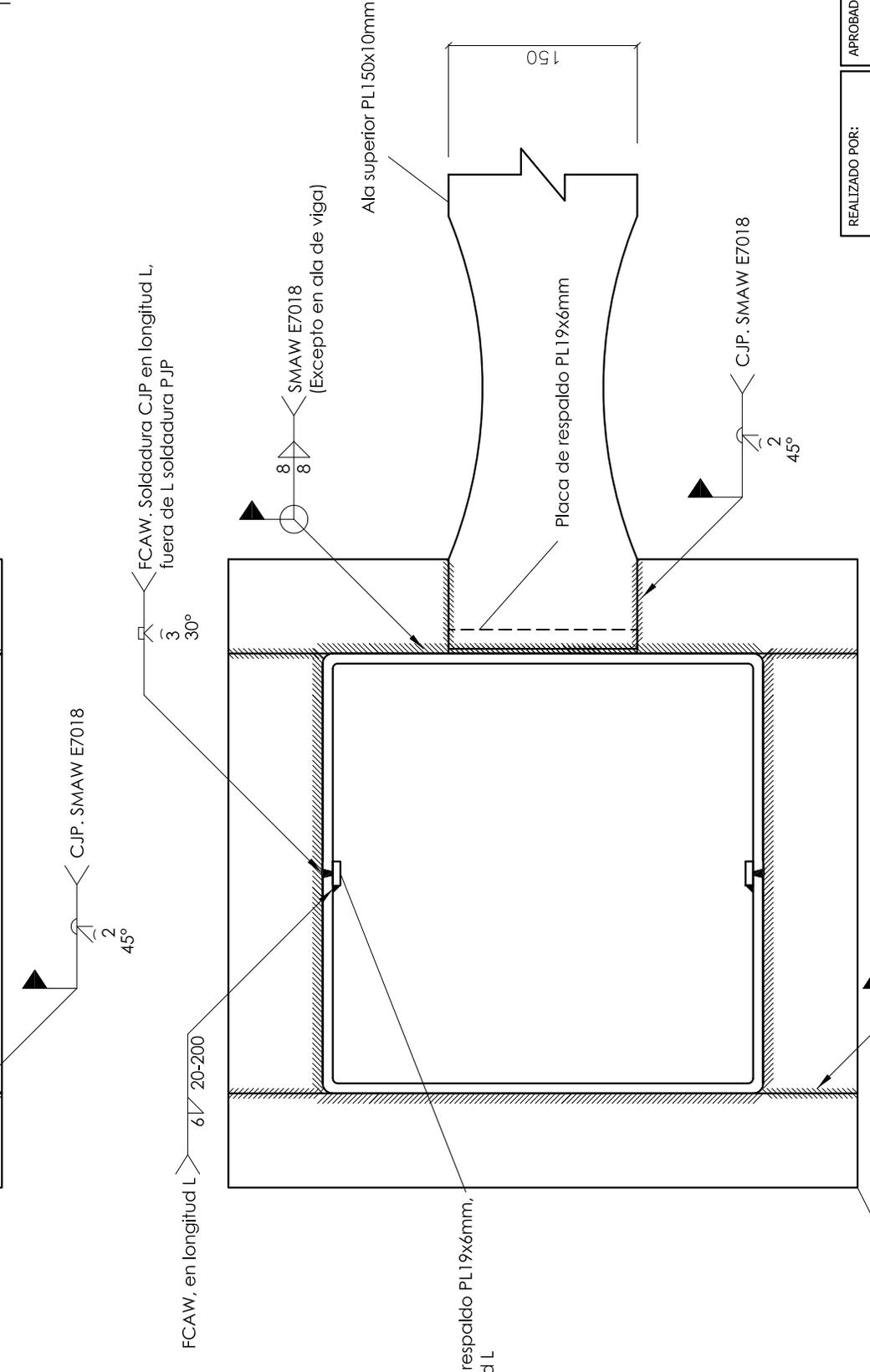


NOTA:

1. La soldadura cumplirá con requerimientos

CORTE 3-3

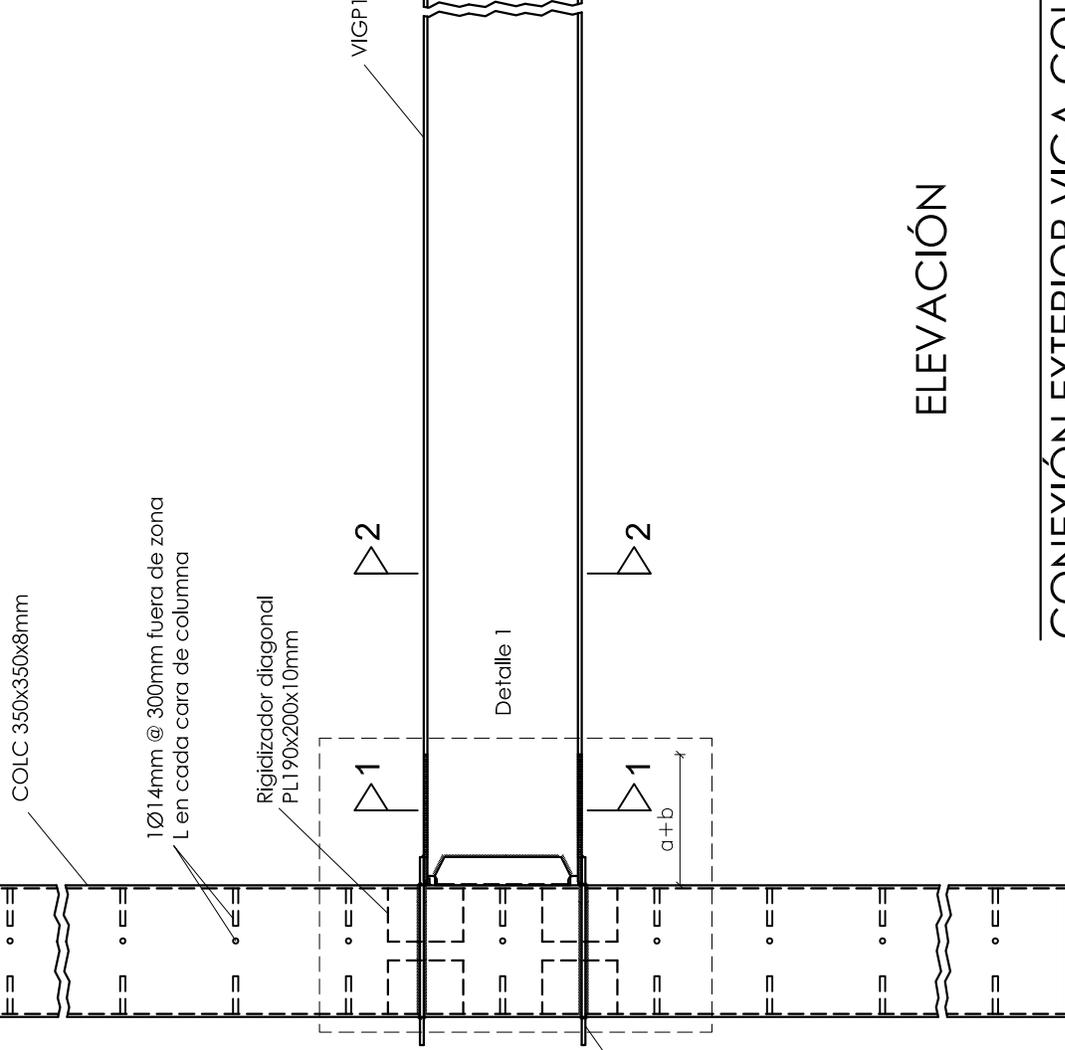
ESCALA1:5



REALIZADO POR:

APROBADO POR:

ESCUELA POLITÉCNICA



PLANTA

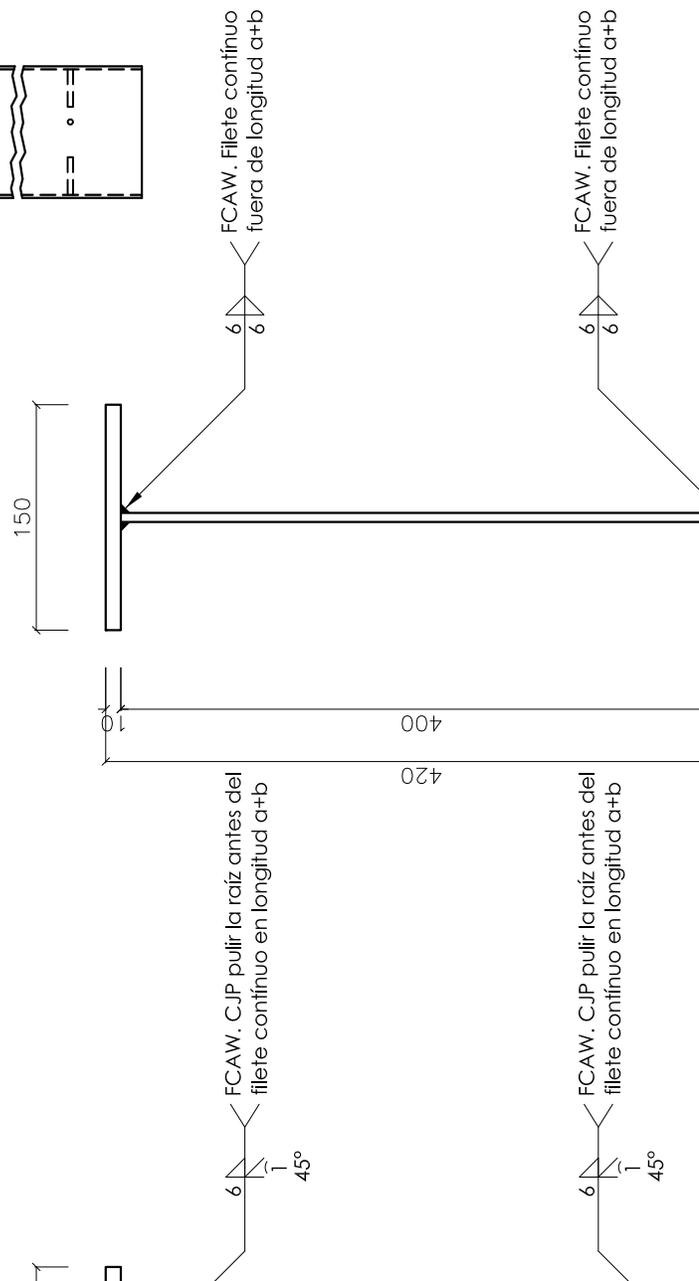
CONEXIÓN EXTERIOR VIGA-COLUMNA

ESCALA1:20

ELEVACIÓN

CONEXIÓN EXTERIOR VIGA-COL

ESCALA1:20



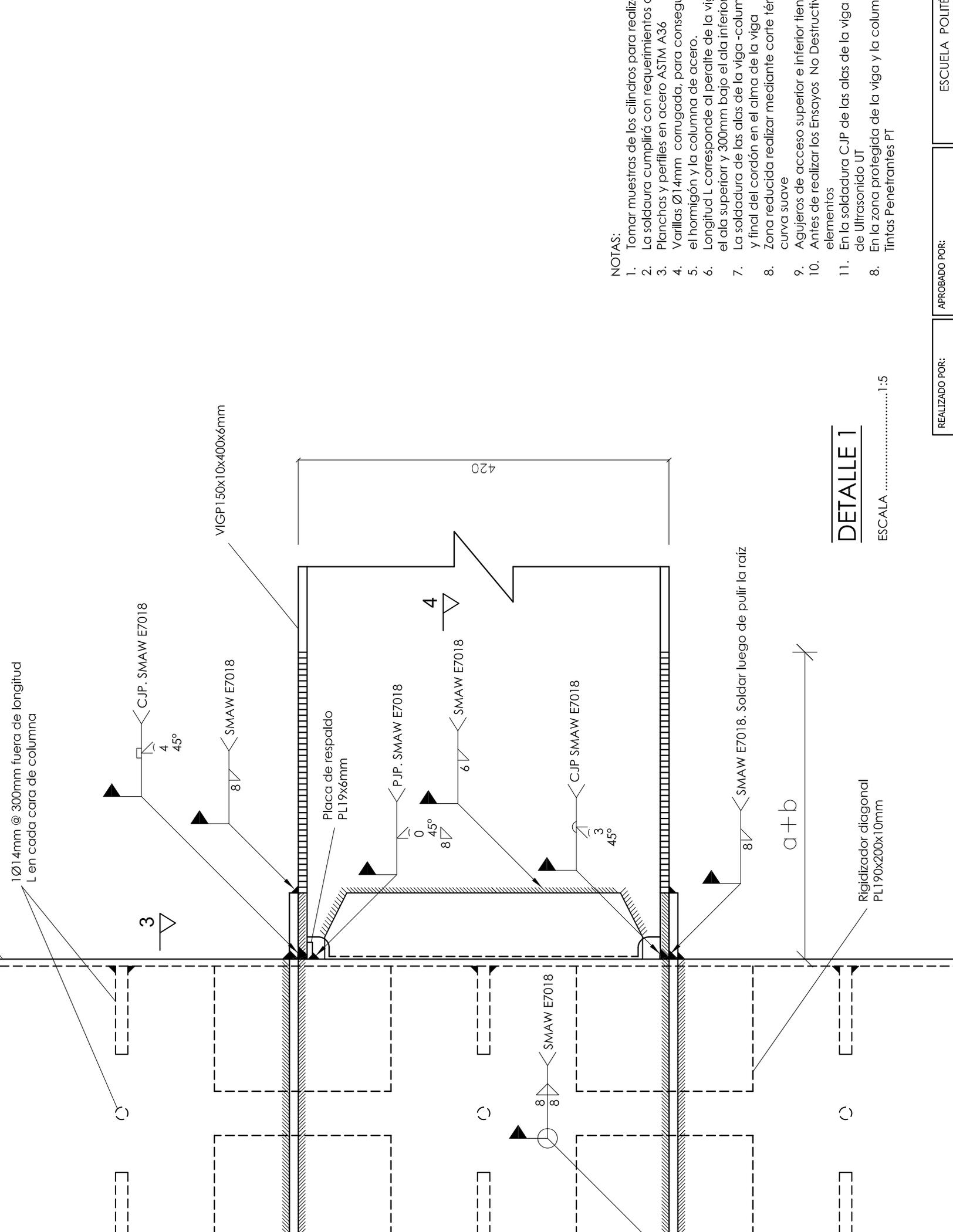
NOTA:

1. La soldadura cumplirá con requerimientos d

REALIZADO POR:

APROBADO POR:

ESCUELA POLITE



1Ø14mm @ 300mm fuera de longitud
L en cada cara de columna

VIGP 150x10x400x6mm

Placa de respaldo
PL19x6mm

DETALLE 1

ESCALA1:5

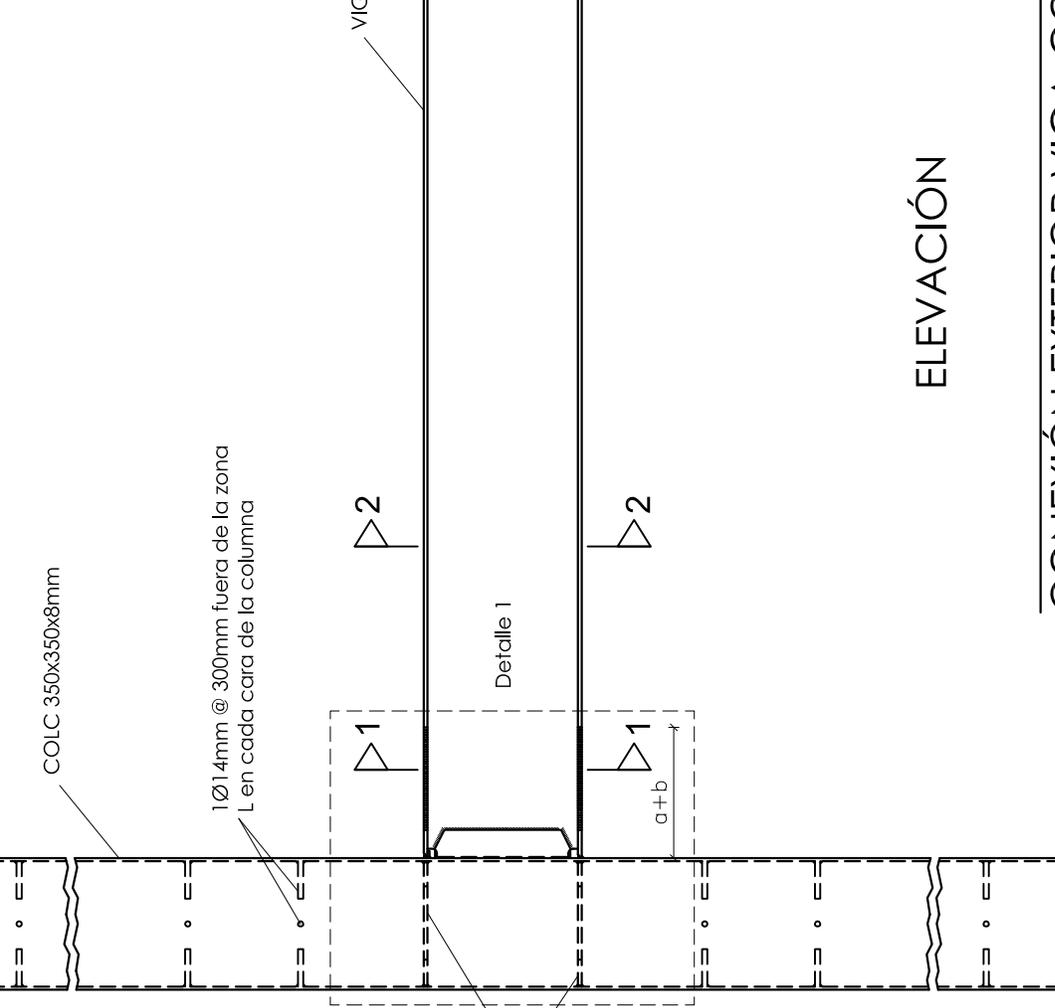
NOTAS:

1. Tomar muestras de los cilindros para realizar
2. La soldadura cumplirá con requerimientos c
3. Planchas y perfiles en acero ASTM A36
4. Varillas Ø14mm corrugada, para conseg
5. el hormigón y la columna de acero.
6. Longitud L corresponde al peralte de la viga el ala superior y 300mm bajo el ala inferior
7. La soldadura de las alas de la viga -column y final del cordón en el alma de la viga
8. Zona reducida realizar mediante corte térc curva suave
9. Agujeros de acceso superior e inferior tien
10. Antes de realizar los Ensayos No Destructiv elementos
11. En la soldadura CJP de las alas de la viga de Ultrasonido UT
8. En la zona protegida de la viga y la column Tintas Penetrantes PT

REALIZADO POR:

APROBADO POR:

ESCUELA POLITÉCNICA

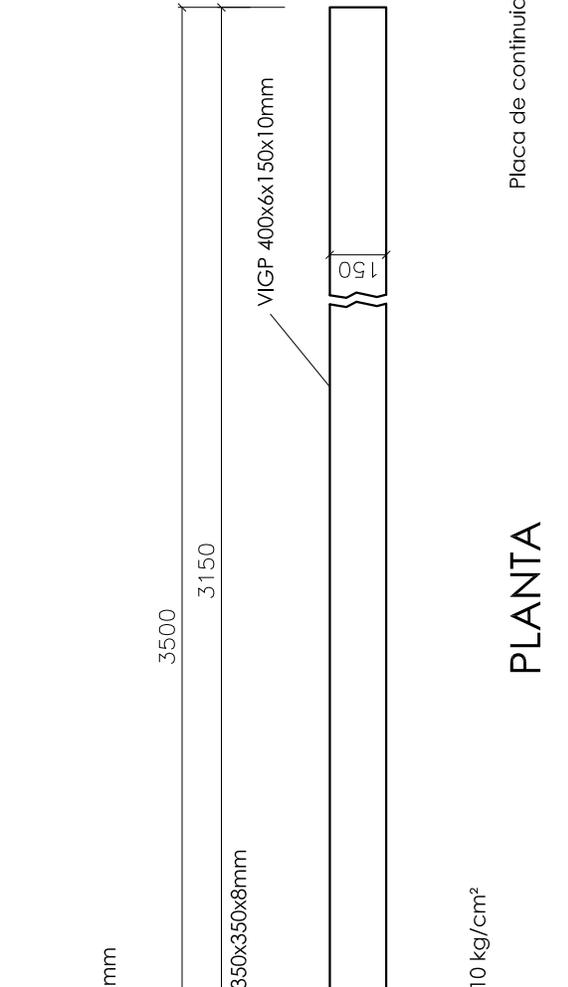


ELEVACIÓN

CONEXIÓN EXTERIOR VIGA-CO

ESCALA1:20

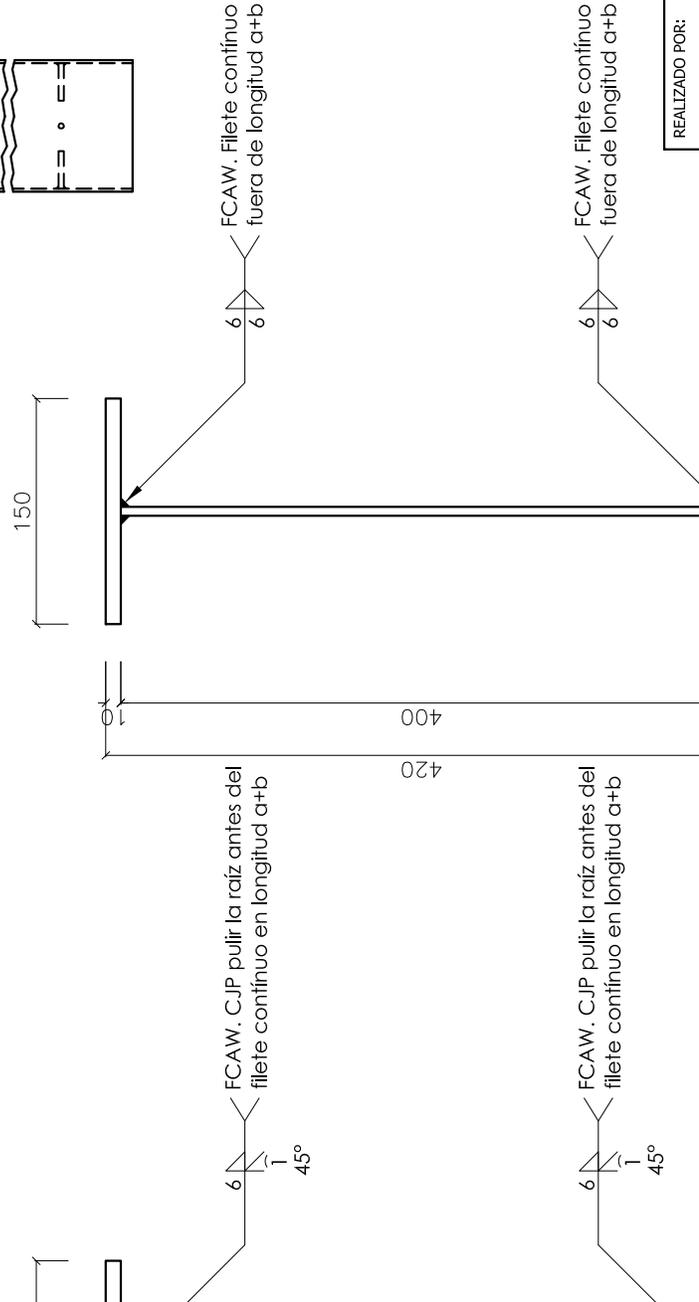
NOTA:
1. La soldadura cumplirá con requerimiento



PLANTA

CONEXIÓN EXTERIOR VIGA-COLUMNA

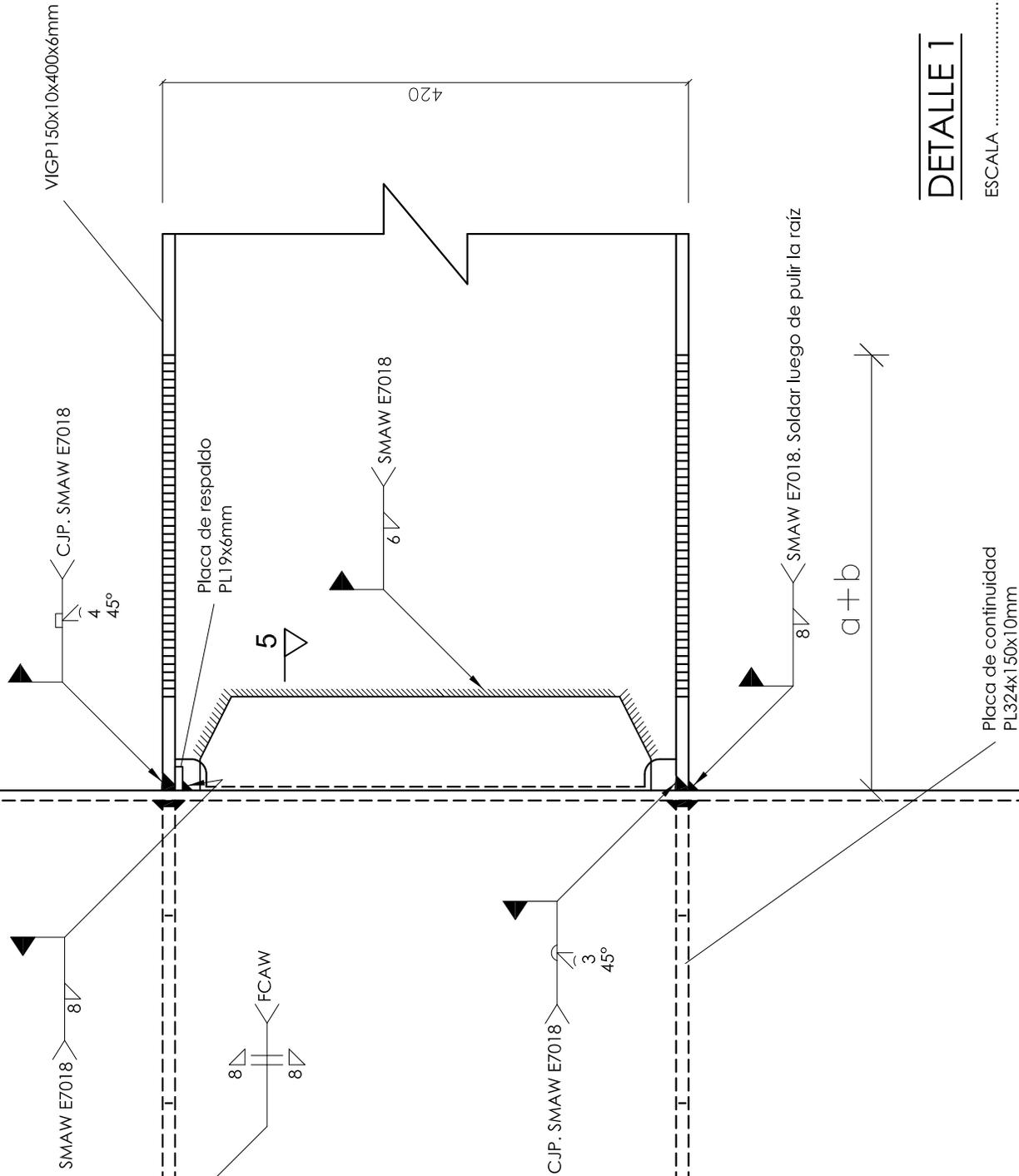
ESCALA1:20



REALIZADO POR:

APROBADO POR:

ESCUELA POLITÉCNICA

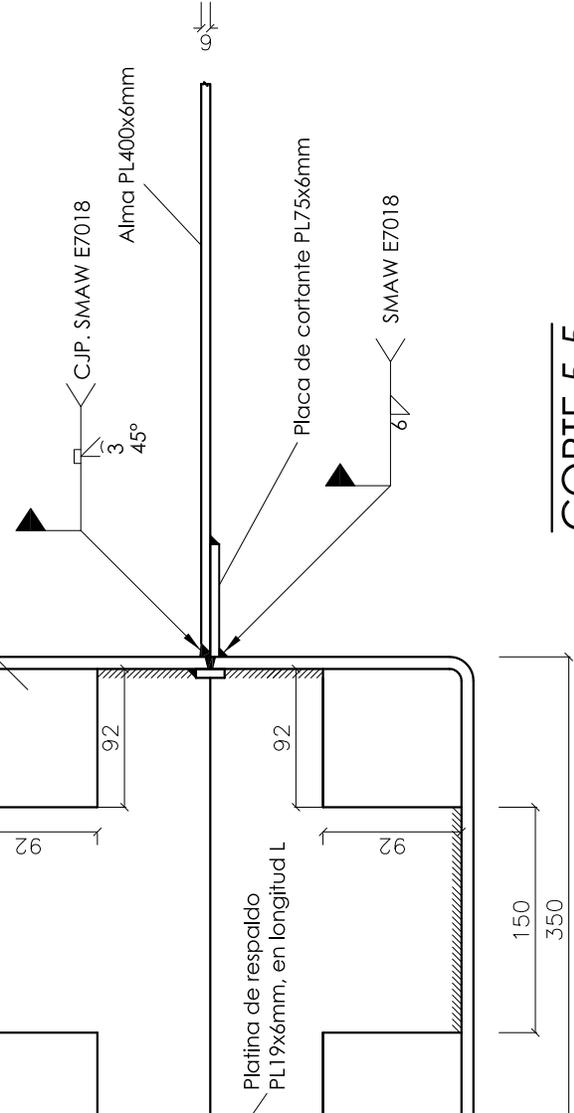


DETALLE 1

ESCALA 1:5

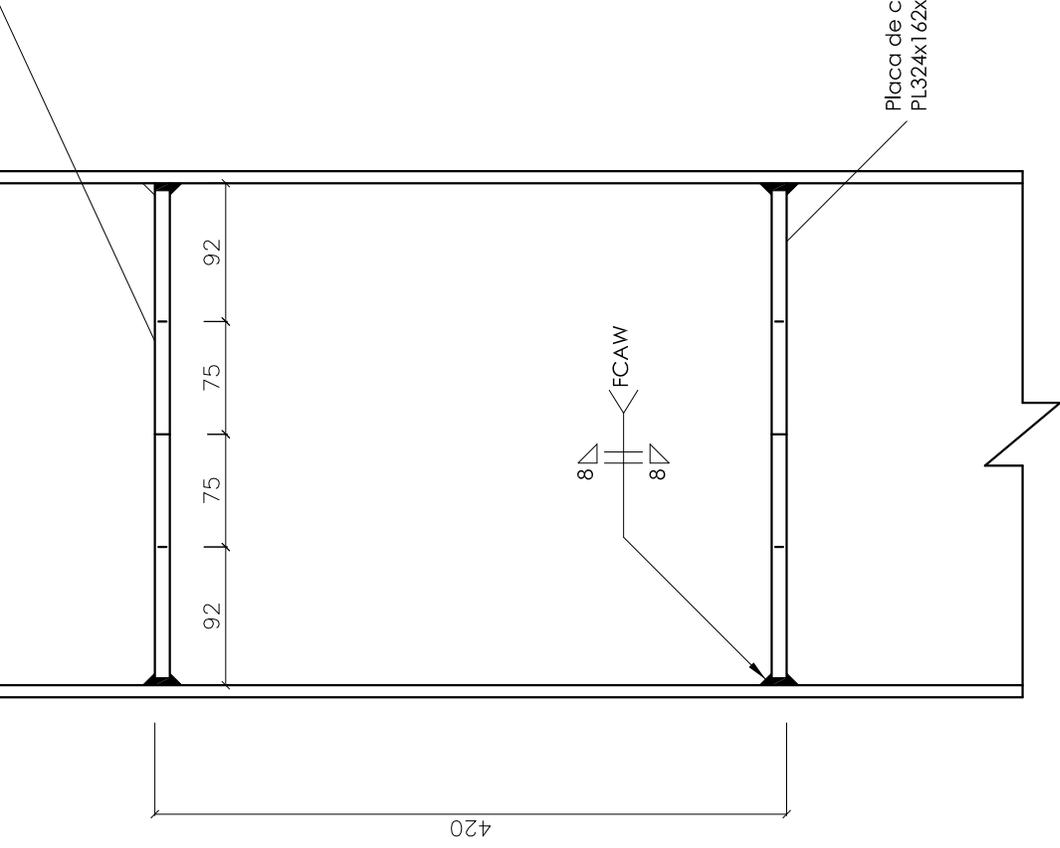
NOTAS:

1. Tomar muestras de los cilindros para realizar
2. La soldadura cumplirá con requerimientos de
3. Planchas y perfiles en acero ASTM A36
4. Varillas Ø14mm corrugada, para conseguir el hormigón y la columna de acero.
5. Longitud L corresponde al peralte de la viga el ala superior y 300mm bajo el ala inferior
6. La soldadura de las alas de la viga -columna y final del cordón en el alma de la viga
7. Zona reducida realizar mediante corte térmico curva suave
8. Agujeros de acceso superior e inferior tiene
10. Antes de realizar los Ensayos No Destructivos elementos
11. En la soldadura CJP de las alas de la viga a de Ultrasonido UT
8. En la zona protegida de la viga y la columna tintas Penetrantes PT



CORTE 5-5

ESCALA 1:5



CORTE 3-3

ESCALA 1:5

NOTA:

1. La soldadura cumplirá con requerimientos del Cód...

SERVICIOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA Y SOLDADURA

RUC: 1792147220001

Telf: (02)2323774 | Cel: 0997550411 | 0993696177

Email: info@sindes.com

Web: www.sindes.com

CLIENTE: METALPI Construcciones / Ing. Hugo Pillajo

LOCACIÓN: ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ORIGEN : Centro de Investigación de la Vivienda

ORDEN DE TRABAJO: SINDES-02-284-0517

REVISIÓN: 0 **FECHA EMISIÓN:** 03/06/2017

ORDEN DEL CLIENTE: N/A

FECHA INSPECCIÓN: 25/05/2017

INSPECTOR: Ing. Oscar Yanchapaxi

PROCEDIMIENTO: SINDES-PR-0403-001

ESPECIFICACIÓN: AWS D1.1 -2015 (Structural Welding Code)

DESCRIPCIÓN: Inspección de Soldadura de la Conexión Viga de Sección Reducida - Columna con Diagonales Internos



TRABAJO REALIZADO:
A. Inspección por Tintas Penetrantes

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

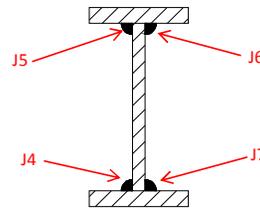
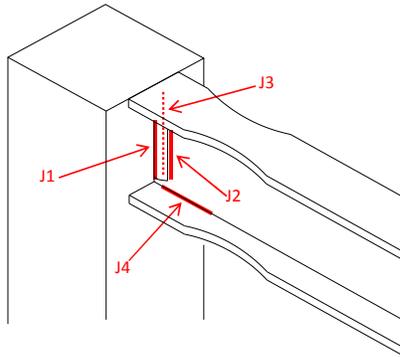
AWS D1.1 (Structural Welding Code- Steel)

ITEM	DISCONTINUIDAD	CRITERIO DE INSPECCIÓN	TIPO DE CONEXIÓN												
			NO TUBULAR CARGADA ESTÁTICAMENTE	NO TUBULAR CARGADA CICLICAMENTE	TUBULAR (TODAS LAS CARGAS)										
1	<u>FISURA</u>	NO SE ACEPTA, independientemente de su tamaño o ubicación,	X	X	X										
2	<u>FUSIÓN - SOLDADURA A METAL BASE</u>	FALTA DE FUSION: NO SE ACEPTA; Existirá fusión completa entre capas adyacentes de soldadura y entre metal de soldadura y metal base.	X	X	X										
3	<u>CRÁTER</u>	Toda depresión (cráter) será llenada para proveer el tamaño de soldadura especificado; excepto en los bordes de terminación de soldaduras de filete, fuera de su longitud efectiva.	X	X	X										
4	<u>PERFIL DE SOLDADURA</u>	SOLAPE (OVERLAP): NO SE ACEPTA	X	X	X										
		El perfil de soldadura cumplirá los requerimientos establecidos en el AWS D1.1/2010: Figura 5.4, Tabla 5.9 y Tabla 5.10; exceptuando lo estipulado en 5.24.1, 5.24.2 y 5.24.3.													
5	<u>TIEMPO DE INSPECCIÓN</u>	La Inspección visual de soldadura en todos los aceros puede iniciar inmediatamente después de que la junta soldada se haya enfriado a temperatura ambiente. Para materiales ASTM A514, A 517 y A 709 Gr. 100/100W, la inspección visual se realizará 48 horas después de que se haya completado la soldadura.	X	X	X										
6	<u>SOLDADURAS DE TAMAÑO INFERIOR AL REQUERIDO (Tamaño incompleto)</u>	El tamaño real de una soldadura de filete en una longitud continua de soldadura, puede ser menor al tamaño especificado (L) sin corrección, aplicando lo siguiente:	X	X	X										
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>L (mm)</th> <th>U (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tamaño de soldadura nominal especificado</td> <td>Decremento permisible (restado de L)</td> </tr> <tr> <td>≤ 5</td> <td>≤ 2</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>≤ 2,5</td> </tr> <tr> <td>≥ 8</td> <td>≤ 3</td> </tr> </tbody> </table>				L (mm)	U (mm)	Tamaño de soldadura nominal especificado	Decremento permisible (restado de L)	≤ 5	≤ 2	6	≤ 2,5	≥ 8	≤ 3
		L (mm)				U (mm)									
		Tamaño de soldadura nominal especificado				Decremento permisible (restado de L)									
		≤ 5				≤ 2									
6	≤ 2,5														
≥ 8	≤ 3														
La porción de soldadura "baja" no excederá el 10% de la longitud soldada.															
Para soldaduras de unión patín-alma de vigas de alma llena fabricadas, soldaduras de tamaño incompleto (underrun) serán prohibidas en los bordes, en una longitud igual a dos veces el ancho del patín,															
7	<u>MORDEDURA</u>	Para materiales con espesor menor a 25mm; las mordeduras NO excederán 1mm, con las siguientes excepciones:	X												
		<p>a) Mordeduras NO excederán 2mm en cualquier longitud acumulada de hasta 50mm en 300 mm de soldadura.</p> <p>b) Para materiales iguales o mayores a 25mm, las mordeduras NO excederán 2mm en cualquier longitud soldada.</p>													
8	<u>MORDEDURA</u>	En miembros primarios, las mordeduras no serán mayores a 0.25mm en profundidad cuando la soldadura sea transversal a los esfuerzos de tracción bajo cualquier condición de carga.		X	X										
		Para el resto de casos: las mordeduras no serán mayores a 1mm													
9	<u>POROSIDAD</u>	Soldaduras de ranura CJP en juntas a tope transversales a la dirección de esfuerzos de tracción calculados NO tendrán porosidad tubular (piping porosity) visible.	X												
		Para el resto de soldaduras de ranura y de filete, la suma de porosidad tubular visible de diámetros iguales o mayores a 1mm NO excederá 10mm en cualquier pulgada lineal de soldadura y no excederá 20mm en cualquier longitud soldada de 300 mm.													
10	<u>POROSIDAD</u>	La frecuencia de porosidad tubular en filetes de soldadura, NO excederá de UNA en cada 100 mm de longitud soldada y el máximo diámetro NO excederá los 2,5 mm.		X	X										
		Excepción: para soldaduras de filete que conecten rigidizadores de alma, la suma de diámetros de la porosidad tubular NO excederá los 10mm en cualquier pulgada de longitud soldada y NO excederá los 20mm en cualquier longitud soldada de 300mm.													
11	<u>POROSIDAD</u>	Soldaduras de ranura CJP en juntas a tope transversales a la dirección de esfuerzos de tracción calculados NO tendrán porosidad tubular .		X	X										
		Para el resto de soldaduras de ranura, la frecuencia de porosidad tubular no excederá UNA en 100 mm de longitud y el diámetro máximo no excederá 2,5 mm.													

ESQUEMA GENERAL

JUNTAS INSPECCIONADAS ———

UNIÓN ALMA - COLUMNA





ORDEN DE TRABAJO : SINDES-02-284-0517

PAG. 3 de 4 REV.: 0

CLIENTE : METALPI Construcciones / Ing. Hugo Pillajo

REPORTE N°: 001

LOCACIÓN : ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ORIGEN: Centro de Investigación de la Vivienda

FECHA EMISIÓN : 03/06/2017

FECHA INSPECCIÓN : 25/05/2017

METALPI
Construcción

SERVICIOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA Y DE SOLDADURA

COD: SINDES-FO-0202-002 | REV: 4 | FECHA: 19/01/2017

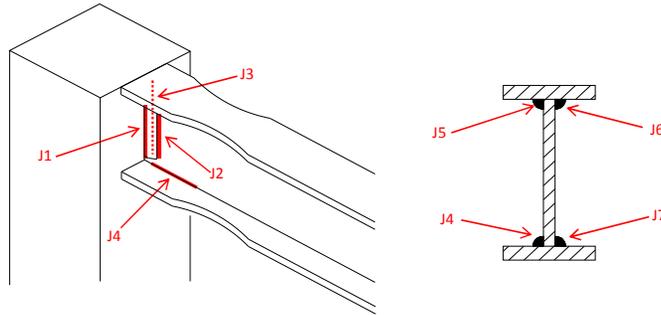
REPORTE DE INSPECCIÓN MEDIANTE TINTAS PENETRANTES

1. GENERAL

Técnica Empleada :	Tipo II - Metodo C	Removedor :	SKC-S Spotcheck - Magnaflux	Método de remoción:	Aplicación de Removedor
Observación / Iluminación :	Luz Natural	Penetrante :	SKL-SP Spotcheck - Magnaflux	Tiempo de penetración:	10 min
Limpieza Final:	Paño Absorbente	Emulsificador :	N/A	Tiempo de emulsificación:	N/A
		Revelador :	SKD-S2 Spotcheck - Magnaflux	Tiempo de revelado:	10 min

Descripción: Inspección de Soldadura de la Conexión Viga de Sección Reducida - Columna con Diagonales Internos

Esquema:



2. REGISTRO DE INSPECCIÓN

ELEMENTO	IDENTIFICACIÓN		DEFECTO		INSPECCIÓN			REINSPECCIÓN				OBSERVACIONES	
	JUNTA	SOLDADOR	TIPO	LONGITUD (mm)	UBICACIÓN X / Y (mm)	FECHA	RESULTADOS		FECHA	SOLDADOR	RESULTADOS		
							ACEPTADA	RECHAZADA			ACEPTADA		RECHAZADA
ALMA-COLUMNA	J1					25/05/2017	X						APROBADO
	J2					25/05/2017	X						APROBADO
	J3					25/05/2017	X						APROBADO
	J4					25/05/2017	X						APROBADO
	J5					25/05/2017	X						APROBADO
	J6					25/05/2017	X						APROBADO
	J7					25/05/2017	X						APROBADO

NOMENCLATURA: F - Fisura / IF - Incompleta Fusión / CR - Crater / CC - Concavidad / P - Poros / C - Convexidad / M - Mordedura / R - Reforzamiento / SB - Soldadura Baja.
L1 pierna de filete / L2 pierna de filete / C1 Refuerzo de cara / C2 Refuerzo de raíz / G garganta efectiva

OBSERVACIONES: Las juntas soldadas inspeccionadas, motivo del presente registro, se encuentran APROBADAS, por cumplir con los requerimientos de aceptación establecidos en la AWS D1.1 (Structural Welding Code-Steel).

REALIZADO POR:		REVISADO POR:		RECIBIDO POR:	
Nombre:	Ing. Oscar Yanchapaxi	Nombre:	Ing. Robert Toasa	Nombre:	
Cargo:	INSPECTOR/ Nivel II SNT-TC-1A	Cargo:	Jefe Operativo / Nivel III- ASNT 218812	Cargo:	
Fecha:	03/06/2017	Fecha:	03/06/2017	Fecha:	
Firma:		Firma:		Firma:	



ORDEN DE TRABAJO :	SINDES-02-284-0517	PAG. 4 de 4 REV.: 0
CLIENTE :	METALPI Construcciones / Ing. Hugo Pillajo	REPORTE N°: 001
LOCACIÓN :	ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	ORIGEN: Centro de Investigación de la Vivienda
FECHA EMISIÓN :	03/06/2017	
FECHA INSPECCIÓN :	25/05/2017	

METALPI
Construcción

SERVICIOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA Y DE SOLDADURA

COD: SINDES-FO-IN-004 | REV: 1 | FECHA: 19/01/2017

REPORTE FOTOGRÁFICO



REALIZADO POR:		REVISADO POR:		RECIBIDO POR:	
Nombre:	Ing. Oscar Yanchapaxi	Nombre:	Ing. Robert Toasa	Nombre:	
Cargo:	INSPECTOR/ Nivel II SNT-TC-1A	Cargo:	Jefe Operativo /Nivel III- ASNT 218812	Cargo:	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	
	Firma:		Firma:		Firma:
03/06/2017		03/06/2017			

SERVICIOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA Y SOLDADURA

RUC: 1792147220001

Telf: (02)2323774 | Cel: 0993696196 | 0993696177

Email: info@sindes.com

Web: www.sindes.com

CLIENTE: METALPI Construcciones / Ing. Hugo Pillajo

LOCACION: ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ORIGEN : Centro de Investigación de la Vivienda

ORDEN DE TRABAJO: SINDES-02-284-0517

REVISION: 0 **FECHA EMISIÓN:** 03/06/2017

ORDEN DEL CLIENTE: N/A

FECHA INSPECCIÓN: 25/05/2017

INSPECTOR: Ing. Oscar Yanchapaxi

PROCEDIMIENTO: SINDES-PR-0402-020 / UT Aws

ESPECIFICACION: AWS D1.1-2015 (Structural Welding Code)

DESCRIPCION: Inspección de Soldadura de la Conexión Viga de Sección Reducida-Columna Columna con Anillos Externos



TRABAJO REALIZADO:

A. Inspección Volumetrica / Ultrasonido Haz Angular

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

AWS D1.1/ Structural Welding Code

Table 6.2
UT Acceptance-Rejection Criteria (Statically Loaded Nontubular Connections and Cyclically Loaded Nontubular Connections in Compression) (see 6.13.1, 6.13.2(2), and C-6.25.6)

Discontinuity Severity Class	Weld Size ^a in inches [mm] and Search Unit Angle												
	5/16 through 3/4 [8–20]		> 3/4 through 1-1/2 [20–38]		> 1-1/2 through 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 through 4 [65–100]			> 4 through 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°		
Class A	+5 & lower	+2 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower	-5 & lower	-2 & lower	0 & lower	-7 & lower	-4 & lower	-1 & lower		
Class B	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1		
Class C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 to +2	+1 +2	+3 +4	-4 to +2	-1 to +2	+2 +3		
Class D	+8 & up	+5 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up	+3 & up	+3 & up	+5 & up	+3 & up	+3 & up	+4 & up		

Table 6.3
UT Acceptance-Rejection Criteria (Cyclically Loaded Nontubular Connections in Tension) (see 6.13.2 and C-6.25.6)

Discontinuity Severity Class	Weld Size ^a in inches [mm] and Search Unit Angle												
	5/16 through 3/4 [8–20]		> 3/4 through 1-1/2 [20–38]		> 1-1/2 through 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 through 4 [65–100]			> 4 through 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°		
Class A	+10 & lower	+8 & lower	+4 & lower	+7 & lower	+9 & lower	+1 & lower	+4 & lower	+6 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower		
Class B	+11	+9	+5 +6	+8 +9	+10 +11	+2 +3	+5 +6	+7 +8	-1 0	+2 +3	+4 +5		
Class C	+12	+10	+7 +8	+10 +11	+12 +13	+4 +5	+7 +8	+9 +10	+1 +2	+4 +5	+6 +7		
Class D	+13 & up	+11 & up	+9 & up	+12 & up	+14 & up	+6 & up	+9 & up	+11 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up		

Class A (large discontinuities)

Any indication in this category shall be rejected (regardless of length).

Class B (medium discontinuities)

Any indication in this category having a length greater than 3/4 in [20 mm] shall be rejected.

Class C (small discontinuities)

Any indication in this category having a length greater than 2 in [50 mm] shall be rejected.

Class D (minor discontinuities)

Any indication in this category shall be accepted regardless of length or location in the weld.

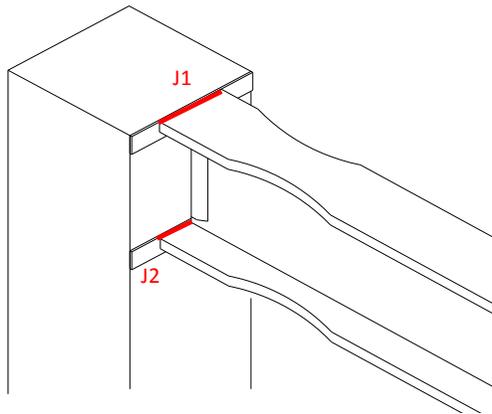
	ORDEN DE TRABAJO :	SINDES-02-284-0517	PAG. 2 de 3	REV.: 0	
	CLIENTE :	METALPI Construcciones / Ing. Hugo Pillajo	REPORTE N°:	004	
	LOCACIÓN :	ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	ORIGEN:	Centro de Investigación de la Vivienda	
	FECHA EMISIÓN:	03/06/2017			
FECHA INSPECCIÓN:	25/05/2017				

SERVICIOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA Y DE SOLDADURA

COD: SINDES-FO-IN-003 | REV: 1 | FECHA: 19/01/2017

ESQUEMA GENERAL :

LABORATORIOS - SUBSUELO





ORDEN DE TRABAJO :	SINDES-02-284-0517	PAG. 3 de 3	REV.: 0
CLIENTE :	METALPI Construcciones / Ing. Hugo Pillajo	REPORTE N°:	004
LOCACIÓN :	ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	ORIGEN: Centro de Investigación de la Vivienda	
FECHA EMISIÓN:	03/06/2017		
FECHA INSPECCIÓN:	25/05/2017		

METALPI
Construcción

SERVICIOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA Y DE SOLDADURA

COD: SINDES-FO-IN-002 | REV: 1 | FECHA: 19/01/2017

INSPECCIÓN DE SOLDADURAS MEDIANTE ULTRASONIDO INDUSTRIAL

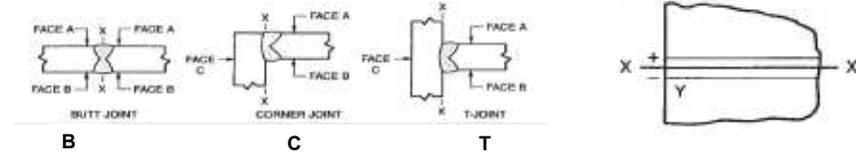
EQUIPO EMPLEADO

EQUIPO :	USMGo S/N: 13056151	Próxima Calibración :	14-dic-17
PALPADOR :	GENERAL ELECTRIC S/N: 13F00DH1	Angulo :	70°
GANANCIA :	82.0 Db	RANGO:	100 mm
		Modo :	Pulso/ Eco
		Zero :	21.410µs
		Velocidad:	3238 m/µs

PARÁMETROS DE INSPECCIÓN

Tipo de Inspección:	100 % VOLUMÉTRICA	Bloque Calibración:	DSC	Grilla / Matriz:	N / A
Condición Superficial:	Lisa	Técnica:	Haz angular	Procedimiento:	SINDES-PR-0402-020
Acoplante:	Gel	Espesor Plancha:	PS = PI = 10 mm	Código Aplicable:	AWS D1.1-2015

Descripción: Inspección de Soldadura de la Conexión Viga de Sección Reducida-Columna Columna con Anillos Externos



DETALLE DE INSPECCIÓN

IDENTIFICACIÓN			INSPECCIÓN						DISCONTINUIDADES						REINSPECCIÓN				
UNIÓN	TIPO	SOLDADOR	FECHA	ÁNGULO(S) TRANSDUCTOR	DESDE LA CARA	PIERNA (UT)	RESULTADOS		CAMINO SÓNICO (S)	CLASIFICACIÓN DISCONTINUIDAD (d)	EVALUACIÓN DISCONTINUIDAD	PROFUNDIDAD (mm)	LONGITUD (mm)	UBICACIÓN		FECHA	SOLDADOR	RESULTADOS	
							ACEPTADA	RECHAZADA						X (mm)	Y (mm)			ACEPTADA	RECHAZADA
J1-PS	T	...	25-may-17	70	A	I-II	X	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
J2-PI	T	...	25-may-17	70	A	I-II	...	X	35	<5	A	8	100	15	8	25-may-17	...	X	...
(The rest of the table is crossed out with a diagonal line)																			

Nomenclatura:

Estado Final:
LAS SOLDADURAS INSPECCIONADAS SE ENCUENTRAN APROBADAS, DE ACUERDO A LOS CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO DEL CÓDIGO AWS D1.1-2015 - SECCIÓN 6.

OBSERVACIONES:

REALIZADO POR:	REVISADO POR:	RECIBIDO POR:
Nombre: Ing. Oscar Yanchapaxi	Nombre: Ing Robert Toasa	Nombre:
Cargo: INSPECTOR/ Nivel II SNT-TC-1A	Cargo: INSPECTOR/ Nivel III ASNT	Cargo:

Fecha: 3-jun-17	Firma:	Fecha: 3-jun-17	Firma:	Fecha:	Firma:
-----------------	--------	-----------------	--------	--------	--------

SERVICIOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA Y SOLDADURA

RUC: 1792147220001

Telf: (02)2323774 | Cel: 0993696196 | 0993696177

Email: info@sindes.com

Web: www.sindes.com

CLIENTE: METALPI Construcciones / Ing. Hugo Pillajo

LOCACION: ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ORIGEN : Centro de Investigación de la Vivienda

ORDEN DE TRABAJO: SINDES-02-284-0517

REVISION: 0 **FECHA EMISIÓN:** 03/06/2017

ORDEN DEL CLIENTE: N/A

FECHA INSPECCIÓN: 25/05/2017

INSPECTOR: Ing. Oscar Yanchapaxi

PROCEDIMIENTO: SINDES-PR-0402-020 / UT Aws

ESPECIFICACION: AWS D1.1-2015 (Structural Welding Code)

DESCRIPCION: Inspección de Soldadura de la Conexión Viga de Sección Reducida-Columna Columna con Diagonales Internos



TRABAJO REALIZADO:
A. Inspección Volumetrica / Ultrasonido Haz Angular

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

AWS D1.1/ Structural Welding Code

Table 6.2
UT Acceptance-Rejection Criteria (Statically Loaded Nontubular Connections and Cyclically Loaded Nontubular Connections in Compression) (see 6.13.1, 6.13.2(2), and C-6.25.6)

Discontinuity Severity Class	Weld Size ^a in inches [mm] and Search Unit Angle												
	5/16 through 3/4 [8–20]		> 3/4 through 1-1/2 [20–38]		> 1-1/2 through 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 through 4 [65–100]			> 4 through 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°		
Class A	+5 & lower	+2 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower	-5 & lower	-2 & lower	0 & lower	-7 & lower	-4 & lower	-1 & lower		
Class B	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1		
Class C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 to +2	+1 +2	+3 +4	-4 to +2	-1 to +2	+2 +3		
Class D	+8 & up	+5 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up	+3 & up	+3 & up	+5 & up	+3 & up	+3 & up	+4 & up		

Table 6.3
UT Acceptance-Rejection Criteria (Cyclically Loaded Nontubular Connections in Tension) (see 6.13.2 and C-6.25.6)

Discontinuity Severity Class	Weld Size ^a in inches [mm] and Search Unit Angle												
	5/16 through 3/4 [8–20]		> 3/4 through 1-1/2 [20–38]		> 1-1/2 through 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 through 4 [65–100]			> 4 through 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°		
Class A	+10 & lower	+8 & lower	+4 & lower	+7 & lower	+9 & lower	+1 & lower	+4 & lower	+6 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower		
Class B	+11	+9	+5 +6	+8 +9	+10 +11	+2 +3	+5 +6	+7 +8	-1 0	+2 +3	+4 +5		
Class C	+12	+10	+7 +8	+10 +11	+12 +13	+4 +5	+7 +8	+9 +10	+1 +2	+4 +5	+6 +7		
Class D	+13 & up	+11 & up	+9 & up	+12 & up	+14 & up	+6 & up	+9 & up	+11 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up		

Class A (large discontinuities)
Any indication in this category shall be rejected (regardless of length).

Class B (medium discontinuities)
Any indication in this category having a length greater than 3/4 in [20 mm] shall be rejected.

Class C (small discontinuities)
Any indication in this category having a length greater than 2 in [50 mm] shall be rejected.

Class D (minor discontinuities)
Any indication in this category shall be accepted regardless of length or location in the weld.

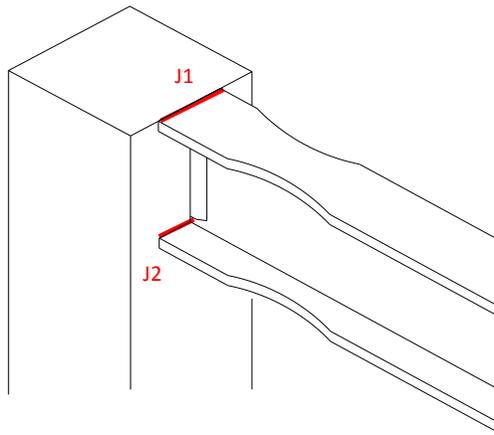
	ORDEN DE TRABAJO :	SINDES-02-284-0517	PAG. 2 de 3	REV.: 0	
	CLIENTE :	METALPI Construcciones / Ing. Hugo Pillajo	REPORTE N°:	002	
	LOCACIÓN :	ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	ORIGEN:	Centro de Investigación de la Vivienda	
	FECHA EMISIÓN:	03/06/2017			
	FECHA INSPECCIÓN:	25/05/2017			

SERVICIOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA Y DE SOLDADURA

COD: SINDES-FO-IN-003 | REV: 1 | FECHA: 19/01/2017

ESQUEMA GENERAL :

LABORATORIOS - SUBSUELO



SERVICIOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA Y SOLDADURA

RUC: 1792147220001

Telf: (02)2323774 | Cel: 0997550411 | 0993696177

Email: info@sindes.com

Web: www.sindes.com

CLIENTE: METALPI Construcciones / Ing. Hugo Pillajo

LOCACIÓN: ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ORIGEN : Centro de Investigación de la Vivienda

ORDEN DE TRABAJO: SINDES-02-284-0517

REVISIÓN: 0 **FECHA EMISIÓN:** 03/06/2017

ORDEN DEL CLIENTE: N/A

FECHA INSPECCIÓN: 25/05/2017

INSPECTOR: Ing. Oscar Yanchapaxi

PROCEDIMIENTO: SINDES-PR-0403-001

ESPECIFICACIÓN: AWS D1.1 -2015 (Structural Welding Code)

DESCRIPCIÓN: Inspección de Soldadura de la Conexión Viga de Sección Reducida - Columna con Anillos Externos



TRABAJO REALIZADO:
A. Inspección por Tintas Penetrantes

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

AWS D1.1 (Structural Welding Code- Steel)

ITEM	DISCONTINUIDAD	CRITERIO DE INSPECCIÓN	TIPO DE CONEXIÓN												
			NO TUBULAR CARGADA ESTÁTICAMENTE	NO TUBULAR CARGADA CICLICAMENTE	TUBULAR (TODAS LAS CARGAS)										
1	<u>FISURA</u>	NO SE ACEPTA, independientemente de su tamaño o ubicación,	X	X	X										
2	<u>FUSIÓN - SOLDADURA A METAL BASE</u>	FALTA DE FUSION: NO SE ACEPTA; Existirá fusión completa entre capas adyacentes de soldadura y entre metal de soldadura y metal base.	X	X	X										
3	<u>CRÁTER</u>	Toda depresión (cráter) será llenada para proveer el tamaño de soldadura especificado; excepto en los bordes de terminación de soldaduras de filete, fuera de su longitud efectiva.	X	X	X										
4	<u>PERFIL DE SOLDADURA</u>	SOLAPE (OVERLAP): NO SE ACEPTA	X	X	X										
		El perfil de soldadura cumplirá los requerimientos establecidos en el AWS D1.1/2010: Figura 5.4, Tabla 5.9 y Tabla 5.10; exceptuando lo estipulado en 5.24.1, 5.24.2 y 5.24.3.													
5	<u>TIEMPO DE INSPECCIÓN</u>	La Inspección visual de soldadura en todos los aceros puede iniciar inmediatamente después de que la junta soldada se haya enfriado a temperatura ambiente. Para materiales ASTM A514, A 517 y A 709 Gr. 100/100W, la inspección visual se realizará 48 horas después de que se haya completado la soldadura.	X	X	X										
6	<u>SOLDADURAS DE TAMAÑO INFERIOR AL REQUERIDO (Tamaño incompleto)</u>	El tamaño real de una soldadura de filete en una longitud continua de soldadura, puede ser menor al tamaño especificado (L) sin corrección, aplicando lo siguiente:	X	X	X										
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>L (mm)</th> <th>U (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tamaño de soldadura nominal especificado</td> <td>Decremento permisible (restado de L)</td> </tr> <tr> <td>≤ 5</td> <td>≤ 2</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>≤ 2,5</td> </tr> <tr> <td>≥ 8</td> <td>≤ 3</td> </tr> </tbody> </table>				L (mm)	U (mm)	Tamaño de soldadura nominal especificado	Decremento permisible (restado de L)	≤ 5	≤ 2	6	≤ 2,5	≥ 8	≤ 3
		L (mm)				U (mm)									
		Tamaño de soldadura nominal especificado				Decremento permisible (restado de L)									
		≤ 5				≤ 2									
6	≤ 2,5														
≥ 8	≤ 3														
La porción de soldadura "baja" no excederá el 10% de la longitud soldada.															
Para soldaduras de unión patín-alma de vigas de alma llena fabricadas, soldaduras de tamaño incompleto (underrun) serán prohibidas en los bordes, en una longitud igual a dos veces el ancho del patín,															
7	<u>MORDEDURA</u>	Para materiales con espesor menor a 25mm; las mordeduras NO excederán 1mm, con las siguientes excepciones:	X												
		<p>a) Mordeduras NO excederán 2mm en cualquier longitud acumulada de hasta 50mm en 300 mm de soldadura.</p> <p>b) Para materiales iguales o mayores a 25mm, las mordeduras NO excederán 2mm en cualquier longitud soldada.</p>													
8	<u>MORDEDURA</u>	En miembros primarios, las mordeduras no serán mayores a 0.25mm en profundidad cuando la soldadura sea transversal a los esfuerzos de tracción bajo cualquier condición de carga.		X	X										
		Para el resto de casos: las mordeduras no serán mayores a 1mm													
9	<u>POROSIDAD</u>	Soldaduras de ranura CJP en juntas a tope transversales a la dirección de esfuerzos de tracción calculados NO tendrán porosidad tubular (piping porosity) visible.	X												
		Para el resto de soldaduras de ranura y de filete, la suma de porosidad tubular visible de diámetros iguales o mayores a 1mm NO excederá 10mm en cualquier pulgada lineal de soldadura y no excederá 20mm en cualquier longitud soldada de 300 mm.													
10	<u>POROSIDAD</u>	La frecuencia de porosidad tubular en filetes de soldadura, NO excederá de UNA en cada 100 mm de longitud soldada y el máximo diámetro NO excederá los 2,5 mm.		X	X										
		Excepción: para soldaduras de filete que conecten rigidizadores de alma, la suma de diámetros de la porosidad tubular NO excederá los 10mm en cualquier pulgada de longitud soldada y NO excederá los 20mm en cualquier longitud soldada de 300mm.													
11	<u>POROSIDAD</u>	Soldaduras de ranura CJP en juntas a tope transversales a la dirección de esfuerzos de tracción calculados NO tendrán porosidad tubular .		X	X										
		Para el resto de soldaduras de ranura, la frecuencia de porosidad tubular no excederá UNA en 100 mm de longitud y el diámetro máximo no excederá 2,5 mm.													



ORDEN DE TRABAJO : SINDES-02-284-0517	PAG. 2 de 4 REV.: 0
CLIENTE : METALPI Construcciones / Ing. Hugo Pillajo	REPORTE N°: 003
LOCACIÓN : ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	ORIGEN: Centro de Investigación de la Vivienda
FECHA EMISIÓN : 03/06/2017	
FECHA INSPECCIÓN : 25/05/2017	

METALPI
Construcción

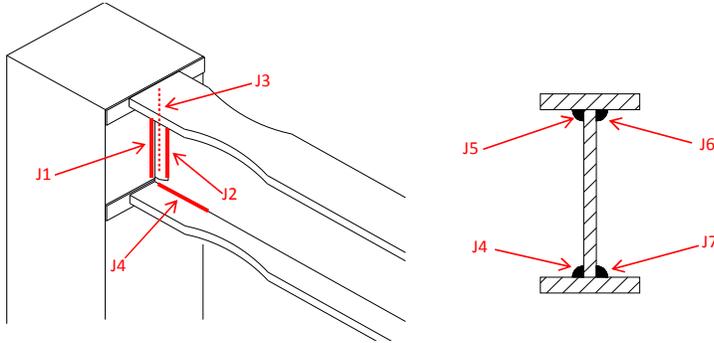
SERVICIOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA Y DE SOLDADURA

COD: SINDES-FO-IN-002 | REV: 1 | FECHA: 19/01/2017

ESQUEMA GENERAL

JUNTAS INSPECCIONADAS —

UNIÓN ALMA - COLUMNA



Servicios de Inspección No Destructiva y de Soldadura
Telf:(02) 2323774 | Cel: 0997550411 | 0993696177
Email: info@sindes.com | Web: www.sindes.com

REPORTE DE INSPECCIÓN MEDIANTE TINTAS PENETRANTES

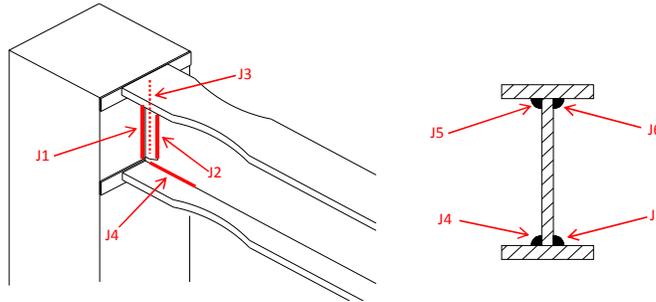
1. GENERAL

Técnica Empleada :	Tipo II - Metodo C	Removedor :	SKC-S Spotcheck - Magnaflux	Método de remoción:	Aplicación de Removedor
Observación / Iluminación :	Luz Natural	Penetrante :	SKL-SP Spotcheck - Magnaflux	Tiempo de penetración:	10 min
Limpieza Final:	Paño Absorbente	Emulsificador :	N/A	Tiempo de emulsificación:	N/A
		Revelador :	SKD-S2 Spotcheck - Magnaflux	Tiempo de revelado:	10 min

Descripción: Inspección de Soldadura de la Conexión Viga de Sección Reducida - Columna con Anillos Externos

Esquema:

UNIÓN ALMA-COLUMNA



2. REGISTRO DE INSPECCIÓN

ELEMENTO	IDENTIFICACIÓN		DEFECTO		INSPECCIÓN			REINSPECCIÓN				OBSERVACIONES	
	JUNTA	SOLDADOR	TIPO	LONGITUD (mm)	UBICACIÓN X / Y (mm)	FECHA	RESULTADOS		FECHA	SOLDADOR	RESULTADOS		
							ACEPTADA	RECHAZADA			ACEPTADA		RECHAZADA
ALMA-COLUMNA	J1					25/05/2017	X						APROBADO
	J2					25/05/2017	X						APROBADO
	J3					25/05/2017	X						APROBADO
	J4					25/05/2017	X						APROBADO
	J5					25/05/2017	X						APROBADO
	J6					25/05/2017	X						APROBADO
	J7					25/05/2017	X						APROBADO

NOMENCLATURA: F - Fisura/ IF - Incompleta Fusión/ CR - Crater/ CC - Concavidad/ P - Poros/C - Convexidad/ M - Mordedura/ R - Reforzamiento/ SB - Soldadura Baja.
L1 pierna de filete / L2 pierna de filete / C1 Refuerzo de cara / C2 Refuerzo de raíz / G garganta efectiva

OBSERVACIONES: Las juntas soldadas inspeccionadas, motivo del presente registro, se encuentran APROBADAS, por cumplir con los requerimientos de aceptación establecidos en la AWS D1.1 (Structural Welding Code-Steel).

REALIZADO POR:		REVISADO POR:		RECIBIDO POR:	
Nombre:	Ing. Oscar Yanchapaxi	Nombre:	Ing. Robert Toasa	Nombre:	
Cargo:	INSPECTOR/ Nivel II SNT-TC-1A	Cargo:	Jefe Operativo /Nivel III- ASNT 218812	Cargo:	
Fecha:	03/06/2017	Fecha:	03/06/2017	Fecha:	
Firma:		Firma:		Firma:	



ORDEN DE TRABAJO :	SINDES-02-284-0517	PAG. 4 de 4 REV.: 0
CLIENTE :	METALPI Construcciones / Ing. Hugo Pillajo	REPORTE N°: 003
LOCACIÓN :	ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	ORIGEN: Centro de Investigación de la Vivienda
FECHA EMISIÓN :	03/06/2017	
FECHA INSPECCIÓN :	25/05/2017	

METALPI
Construcción

SERVICIOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA Y DE SOLDADURA

COD: SINDES-FO-IN-004 | REV: 1 | FECHA: 19/01/2017

REPORTE FOTOGRÁFICO



REALIZADO POR:		REVISADO POR:		RECIBIDO POR:	
Nombre:	Ing. Oscar Yanchapaxi	Nombre:	Ing. Robert Toasa	Nombre:	
Cargo:	INSPECTOR/ Nivel II SNT-TC-1A	Cargo:	Jefe Operativo /Nivel III- ASNT 218812	Cargo:	
Fecha:	Firma:	Fecha:	Firma:	Fecha:	Firma:
03/06/2017		03/06/2017			

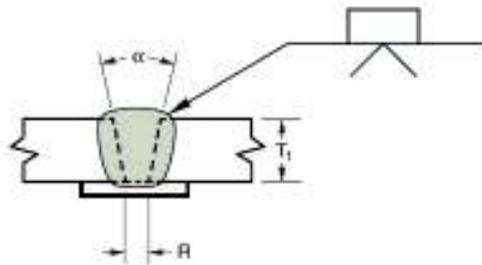
WPS-01: Unión de Canales de la Columna en la Longitud L.

Nombre de la Compañía: METALPI	Identificación #: WPS-01
Proceso(s) de Soldadura: FCAW	Revisión: 1
Número(s) PQR de Soporte: Precalificado según Capítulo 3 AWS D1.1-15	Realizado por: Ing. Mec. Hugo Pillaño Fecha: 10-01-2017
DISEÑO DE JUNTA UTILIZADO Tipo: B-U2a-GF (Tope) Individual: X Doble Soldadura: Refuerzo: Si: X No: Material de Refuerzo: ASTM A36 Abertura de Raíz: 3-5mm Dimensión de Cara de Raíz: 0 Ángulo de Canal: 30°-40° Radio (J-U): N/A Remoción de Raíz: Si: No: X Método: N/A	PROCESO Tipo: Manual: Semiautomático: X Máquina: Automático: POSICIÓN Posición de Canal: 1G Progresión Vertical: Arriba: Abajo:
METAL BASE Especificación de Material: ASTM A36 Tipo o Grado: N/A Espesor: De Canal: 8mm Filete: METAL DE APORTE Especificación AWS: AWS A5.20 Clasificación AWS: E 71T1 PROTECCIÓN Gas: CO₂ Composición: 100%CO₂ Tasa de Flujo: 29CFH	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de Transferencia (GMAW) Corto-Circuito: Globular: Spray: Corriente: AC DCEP: X CEEN: TÉCNICA Cordón: Oscilado Multipase o Pase Individual (por lado): Multipase Número de electrodos: N/A Limpieza de Interfase: Grata metálica
PRECALENTAMIENTO Temperatura Mínima de Precalentamiento: 0°C Temperatura Mínima de Interpases: 0°C	TRATAMIENTO POST-SOLDADURA Temperatura: N/A Tiempo: N/A

Pase (s) de Soldadura (s)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltios (V)	Velocidad de Recorrido (cm/min)	Velocidad de Alimentación (pulg/min)
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amps (A)			
1(raíz) 2	FCAW	E 71T1	1.2	DCEP	140-160	21-22	22-24	210-220
	FCAW	E 71T1	1.2	DCEP	140-160	21-22	18-22	210-220

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation		Allowed Welding Positions	Gas Shielding for FCAW	Notes
		T ₁	T ₂	Root Opening	Groove Angle			
GMAW FCAW	B-U2a-GF	U	—	R = 5	α = 30°	F, V, OH	Required	a, j
				R = 10	α = 30°	F, V, OH	Not req.	a, j
				R = 6	α = 45°	F, V, OH	Not req.	a, j

Single-V-groove weld (2)
Butt joint (B)



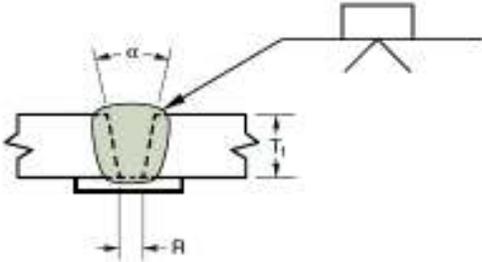
Tolerances	
As Detailed (see 3.13.1)	As Fit-Up (see 3.13.1)
R = +2, -0	+6, -2
α = +10°, -0°	+10°, -5°

ALL DIMENSIONS IN mm

WPS-02: Empalme de Canales de la Columna.

Nombre de la Compañía: METALPI	Identificación #: WPS-02
Proceso(s) de Soldadura: SMAW	Revisión: 1
Número(s) PQR de Soporte: Precalificado según Capítulo 3 AWS D1.1-15	Realizado por: Ing. Mec. Hugo Pillaño Fecha: 10-01-2017
DISEÑO DE JUNTA UTILIZADO Tipo: B-U2a (Tope) Individual: X Doble Soldadura: Refuerzo: Si: X No: Material de Refuerzo: ASTM A36 Abertura de Raíz: 3-5mm Dimensión de Cara de Raíz: 0 Ángulo de Canal: 30°-40° Radio (J-U): N/A Remoción de Raíz: Si: No: X Método: N/A	PROCESO Tipo: Manual: X Semiautomático: Máquina: Automático: POSICIÓN Posición de Canal: 1G, 3G, 4G Progresión Vertical: Arriba: X Abajo:
METAL BASE Especificación de Material: ASTM A36 Tipo o Grado: N/A Espesor: De Canal: 8mm Filete: METAL DE APORTE Especificación AWS: AWS A5.1 Clasificación AWS: E7018 PROTECCIÓN Gas: N/A Composición: N/A Tasa de Flujo: N/A	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de Transferencia (GMAW) Corto-Circuito: Globular: Spray: Corriente: AC DCEP: X CEEN: TÉCNICA Cordón: Oscilado Multipase o Pase Individual (por lado): Multipase Número de electrodos: 1 Limpieza de Interpase: Grata metálica
PRECALENTAMIENTO Temperatura Mínima de Precalentamiento: 0°C Temperatura Mínima de Interpases: 0°C	TRATAMIENTO POST-SOLDADURA Temperatura: N/A Tiempo: N/A

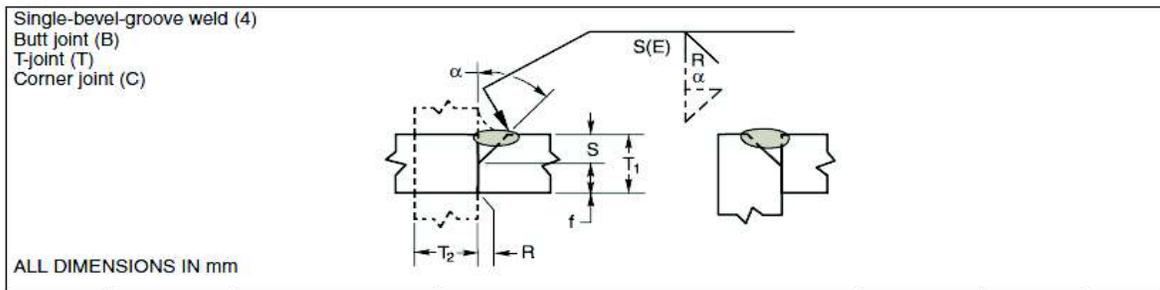
Pase (s) de Soldadura (s)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltios (V)	Velocidad de Recorrido (cm/min)	Velocidad de Alimentación (pulg/min)
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amps (A)			
1(raíz)	SMAW	E7018	3.2	DCEP	100-125	21-26	10-12	-----
2	SMAW	E7018	3.2	DCEP	100-125	21-26	8-10	-----

Single-V-groove weld (2) Butt joint (B)				Tolerances				
				As Detailed (see 3.13.1)	As Fit-Up (see 3.13.1)			
		R = +2, -0	+6, -2					
		$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$					
ALL DIMENSIONS IN mm								
Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation		Allowed Welding Positions	Gas Shielding for FCAW	Notes
		T ₁	T ₂	Root Opening	Groove Angle			
SMAW	B-U2a	U	—	R = 6	$\alpha = 45^\circ$	All	—	e, j
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	—	e, j
				R = 12	$\alpha = 20^\circ$	F, V, OH	—	e, j

WPS-03: Diagonales Internas unión con los canales de la Columna.

Nombre de la Compañía: METALPI	Identificación #: WPS-03
Proceso(s) de Soldadura: FCAW	Revisión: 1
Número(s) PQR de Soporte: Precalificado según Capítulo 3 AWS D1.1-15	Realizado por: Ing. Mec. Hugo Pillajo Fecha: 10-01-2017
DISEÑO DE JUNTA UTILIZADO Tipo: BTC-P4-GF Individual: X Doble Soldadura: No: X Refuerzo: Si: No: X Material de Refuerzo: N/A Abertura de Raíz: 0-1mm Dimensión de Cara de Raíz: 1-2mm Ángulo de Canal: 45°-50° Radio (J-U): N/A Remoción de Raíz: Si: No: X Método: N/A	PROCESO Tipo: Manual: Semiautomático: X Máquina: Automático: POSICIÓN Posición de Canal: 1G Progresión Vertical: Arriba: Abajo:
METAL BASE Especificación de Material: ASTM A36 Tipo o Grado: N/A Espesor: De Canal: 8-10mm Filete: METAL DE APORTE Especificación AWS: AWS A5.20 Clasificación AWS: E 71T1 PROTECCIÓN Gas: CO₂ Composición: 100%CO₂ Tasa de Flujo: 29CFH	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de Transferencia (GMAW) Corto-Circuito: Globular: X Spray: Corriente: AC DCEP: X CEEN: TÉCNICA Cordón: Oscilado Multipase o Pase Individual (por lado): Multipase Número de electrodos: N/A Limpieza de Interfase: Grata metálica
PRECALENTAMIENTO Temperatura Mínima de Precalentamiento: 0°C Temperatura Mínima de Interpases: 0°C	TRATAMIENTO POST-SOLDADURA Temperatura: N/A Tiempo: N/A

Pase (s) de Soldadura (s)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltios (V)	Velocidad de Recorrido (cm/min)	Velocidad de Alimentación (pulg/min)
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amps (A)			
1	FCAW	E 71T1	1.2	DCEP	140-160	21-22	11-14	210-220

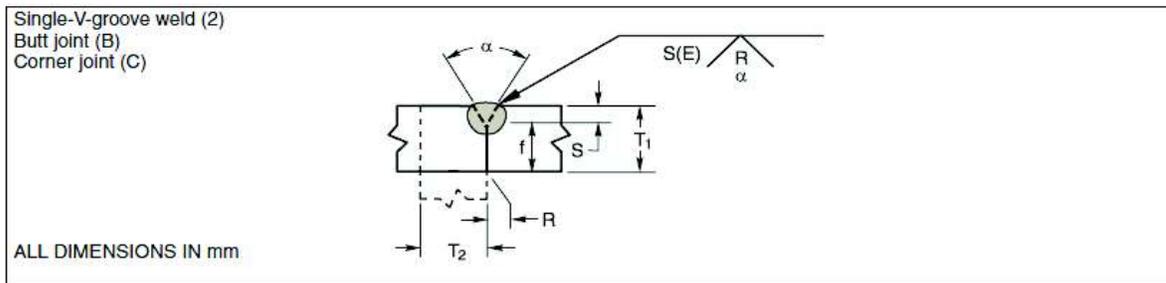


Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation			Allowed Welding Positions	Weld Size (E)	Notes
		T ₁	T ₂	Root Opening Root Face Groove Angle	Tolerances				
					As Detailed (see 3.12.3)	As Fit-Up (see 3.12.3)			
GMAW FCAW	BTC-P4-GF	6 min	U	R = 0 f = 3 min α = 45°	+2, -0 +U -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	F, H V, OH	S S-3	a, 2, f, g, j, k

WPS-04: Unión de Canales de la Columna fuera de la Longitud L.

Nombre de la Compañía: METALPI	Identificación #: WPS-04
Proceso(s) de Soldadura: FCAW	Revisión: 1
Número(s) PQR de Soporte: Prequalificado según Capítulo 3 AWS D1.1-15	Realizado por: Ing. Mec. Hugo Pillajo Fecha: 10-01-2017
DISEÑO DE JUNTA UTILIZADO Tipo: BC-P2-GF Individual: X Doble Soldadura: Refuerzo: Si: No: X Material de Refuerzo: N/A Abertura de Raíz: 2-3mm Dimensión de Cara de Raíz: 1-2mm Ángulo de Canal: 60°-65° Radio (J-U): N/A Remoción de Raíz: Si: No: X Método: N/A	PROCESO Tipo: Manual: Semiautomático: X Máquina: Automático: POSICIÓN Posición de Canal: 1G Progresión Vertical: Arriba: Abajo:
METAL BASE Especificación de Material: ASTM A36 Tipo o Grado: N/A Espesor: De Canal: 8mm Filete:	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de Transferencia (GMAW) Corto-Circuito: Globular: X Spray: Corriente: AC DCEP: X CEEN:
METAL DE APORTE Especificación AWS: AWS A5.20 Clasificación AWS: E 71T1	TÉCNICA Cordón: Oscilado Multipase o Pase Individual (por lado): Individual Número de electrodos: N/A Limpieza de Interpase: Grata metálica
PROTECCIÓN Gas: CO₂ Composición: 100%CO₂ Tasa de Flujo: 29CFH	TRATAMIENTO POST-SOLDADURA Temperatura: N/A Tiempo: N/A
PRECALENTAMIENTO Temperatura Mínima de Precalentamiento: 0°C Temperatura Mínima de Interpases: 0°C	

Pase (s) de Soldadura (s)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltios (V)	Velocidad de Recorrido (cm/min)	Velocidad de Alimentación (pulg/min)
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amps (A)			
1	FCAW	E 71T1	1.2	DCEP	140-160	21-22	22-24	210-220

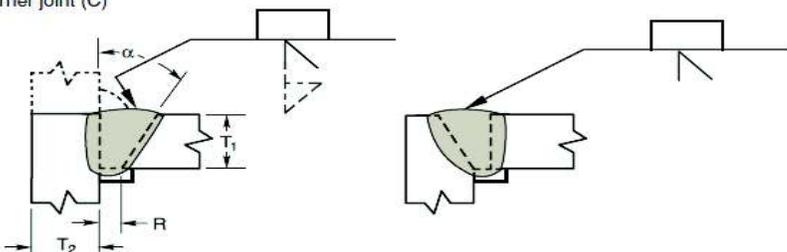


Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation			Allowed Welding Positions	Weld Size (E)	Notes
		T ₁	T ₂	Root Opening	Root Face	Groove Angle				Tolerances
GMAW FCAW	BC-P2-GF	6 min	U	R = 0 f = 3 min α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	All	S	a, b, f, j

WPS-05: Unión Ala Superior de la Viga con el Ala de la Columna.

Nombre de la Compañía: METALPI	Identificación #: WPS-05
Proceso(s) de Soldadura: SMAW	Revisión: 1
Número(s) PQR de Soporte: Prequalificado según Capítulo 3 AWS D1.1-15	Realizado por: Ing. Mec. Hugo Pillajo Fecha: 11-01-2017
DISEÑO DE JUNTA UTILIZADO Tipo: TC-U4a Individual: X Doble Soldadura: Refuerzo: Si: X No: Material de Refuerzo: ASTM A36 Abertura de Raíz: 4-6mm Dimensión de Cara de Raíz: 0 Ángulo de Canal: 40°-45° Radio (J-U): N/A Remoción de Raíz: Si: No: X Método: N/A	PROCESO Tipo: Manual: X Semiautomático: Máquina: Automático: POSICIÓN Posición de Canal: 1G Progresión Vertical: Arriba: Abajo:
METAL BASE Especificación de Material: ASTM A36 Tipo o Grado: N/A Espesor: De Canal: 10mm Filete:	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de Transferencia (GMAW) Corto-Circuito: Globular: Spray: Corriente: AC DCEP: X CEEN:
METAL DE APORTE Especificación AWS: AWS A5.1 Clasificación AWS: E7018	TÉCNICA Cordón: Oscilado Multipase o Pase Individual (por lado): Multipase Número de electrodos: 1 Limpieza de Interfase: Grata metálica
PROTECCIÓN Gas: N/A Composición: N/A Tasa de Flujo: N/A	TRATAMIENTO POST-SOLDADURA Temperatura: N/A Tiempo: N/A
PRECALENTAMIENTO Temperatura Mínima de Precalentamiento: 0°C Temperatura Mínima de Interpases: 0°C	

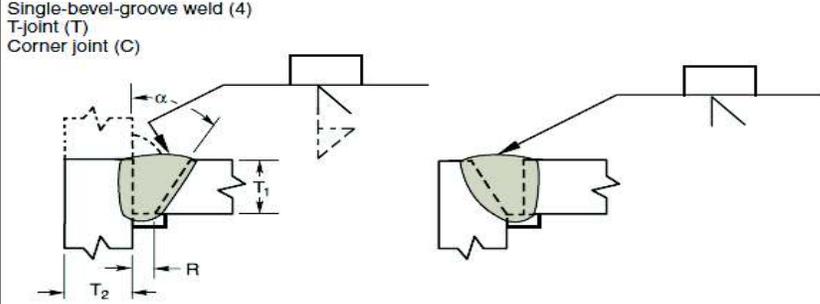
Pase (s) de Soldadura (s)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltios (V)	Velocidad de Recorrido (cm/min)	Velocidad de Alimentación (pulg/min)
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amps (A)			
1(raíz)	SMAW	E7018	3.2	DCEP	100-125	21-26	10-12	-----
2	SMAW	E7018	3.2	DCEP	100-125	21-26	8-10	-----
3	SMAW	E7018	3.2	DCEP	100-125	21-26	8-10	-----

Single-bevel-groove weld (4) T-joint (T) Corner joint (C)				Tolerances				
				As Detailed (see 3.13.1)	As Fit-Up (see 3.13.1)			
				R = +2, -0	+6, -2			
				alpha = +10°, -0°	+10°, -5°			
ALL DIMENSIONS IN mm								
Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation		Allowed Welding Positions	Gas Shielding for FCAW	Notes
		T ₁	T ₂	Root Opening	Groove Angle			
SMAW	TC-U4a	U	U	R = 6	alpha = 45°	All	—	e, g, j, k
				R = 10	alpha = 30°				F, V, OH	—	e, g, j, k

WPS-06: Unión Alma de la Viga con el Ala de la Columna.

Nombre de la Compañía: METALPI	Identificación #: WPS-06
Proceso(s) de Soldadura: SMAW	Revisión: 1
Número(s) PQR de Soporte: Precalificado según Capítulo 3 AWS D1.1-15	Realizado por: Ing. Mec. Hugo Pillaño Fecha: 11-01-2017
DISEÑO DE JUNTA UTILIZADO Tipo: TC-U4a Individual: X Doble Soldadura: Refuerzo: Si: X No: Material de Refuerzo: ASTM A36 Abertura de Raíz: 4-6mm Dimensión de Cara de Raíz: 0 Ángulo de Canal: 40°-45° Radio (J-U): N/A Remoción de Raíz: Si: No: X Método: N/A	PROCESO Tipo: Manual: X Semiautomático: Máquina: Automático: POSICIÓN Posición de Canal: 3G Progresión Vertical: Arriba: X Abajo:
METAL BASE Especificación de Material: ASTM A36 Tipo o Grado: N/A Espesor: De Canal: 6-8mm Filete: METAL DE APORTE Especificación AWS: AWS A5.1 Clasificación AWS: E7018 PROTECCIÓN Gas: N/A Composición: N/A Tasa de Flujo: N/A	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de Transferencia (GMAW) Corto-Circuito: Globular: Spray: Corriente: AC DCEP: X CEEN: TÉCNICA Cordón: Oscilado Multipase o Pase Individual (por lado): Multipase Número de electrodos: 1 Limpieza de Interpase: Grata metálica
PRECALENTAMIENTO Temperatura Mínima de Precalentamiento: 0°C Temperatura Mínima de Interpases: 0°C	TRATAMIENTO POST-SOLDADURA Temperatura: N/A Tiempo: N/A

Pase (s) de Soldadura (s)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltios (V)	Velocidad de Recorrido (cm/min)	Velocidad de Alimentación (pulg/min)
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amps (A)			
1(raíz)	SMAW	E7018	2.4	DCEP	80-95	21-26	8-10	-----
2	SMAW	E7018	3.2	DCEP	100-125	21-26	8-10	-----

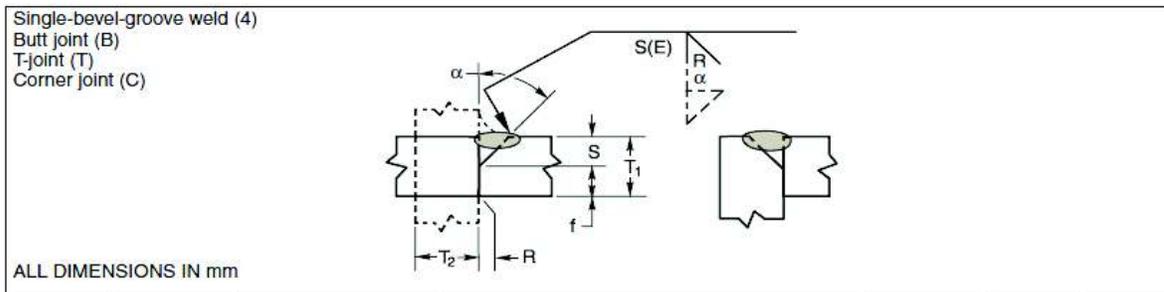
Single-bevel-groove weld (4) T-joint (T) Corner joint (C)				Tolerances				
				As Detailed (see 3.13.1)		As Fit-Up (see 3.13.1)		
				R = +2, -0		+6, -2		
				$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$		$+10^\circ, -5^\circ$		
ALL DIMENSIONS IN mm								
Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation		Allowed Welding Positions	Gas Shielding for FCAW	Notes
		T ₁	T ₂	Root Opening	Groove Angle			
SMAW	TC-U4a	U	U	R = 6	$\alpha = 45^\circ$	All	—	e, g, j, k
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$				F, V, OH	—	e, g, j, k

WPS-07: Unión Placa de Cortante de la Viga con el Ala de la Columna.

Unión Placa de Respaldo con el Ala de la Columna.

Nombre de la Compañía: METALPI	Identificación #: WPS-07
Proceso(s) de Soldadura: SMAW	Revisión: 1
Número(s) PQR de Soporte: Prequalificado según Capítulo 3 AWS D1.1-15	Realizado por: Ing. Mec. Hugo Pillajo Fecha: 11-01-2017
DISEÑO DE JUNTA UTILIZADO Tipo: BTC-P4 Individual: X Doble Soldadura: Refuerzo: Si: No: X Material de Refuerzo: N/A Abertura de Raíz: 0-1mm Dimensión de Cara de Raíz: 1-2mm Ángulo de Canal: 45°-50° Radio (J-U): N/A Remoción de Raíz: Si: No: X Método: N/A	PROCESO Tipo: Manual: X Semiautomático: Máquina: Automático: POSICIÓN Posición de Canal: 3G, 4G Progresión Vertical: Arriba: X Abajo:
METAL BASE Especificación de Material: ASTM A36 Tipo o Grado: N/A Espesor: De Canal: 6-8mm Filete:	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de Transferencia (GMAW) Corto-Circuito: Globular: Spray: Corriente: AC DCEP: X CEEN:
METAL DE APORTE Especificación AWS: AWS A5.1 Clasificación AWS: E7018	TÉCNICA Cordón: Oscilado Multipase o Pase Individual (por lado): Multipase Número de electrodos: 1 Limpieza de Interfase: Grata metálica
PROTECCIÓN Gas: N/A Composición: N/A Tasa de Flujo: N/A	
PRECALENTAMIENTO Temperatura Mínima de Precalentamiento: 0°C Temperatura Mínima de Interpases: 0°C	TRATAMIENTO POST-SOLDADURA Temperatura: N/A Tiempo: N/A

Pase (s) de Soldadura (s)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltios (V)	Velocidad de Recorrido (cm/min)	Velocidad de Alimentación (pulg/min)
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amps (A)			
1(raíz)	SMAW	E7018	2.4	DCEP	80-95	21-26	8-10	-----
2	SMAW	E7018	2.4	DCEP	80-95	21-26	8-10	-----

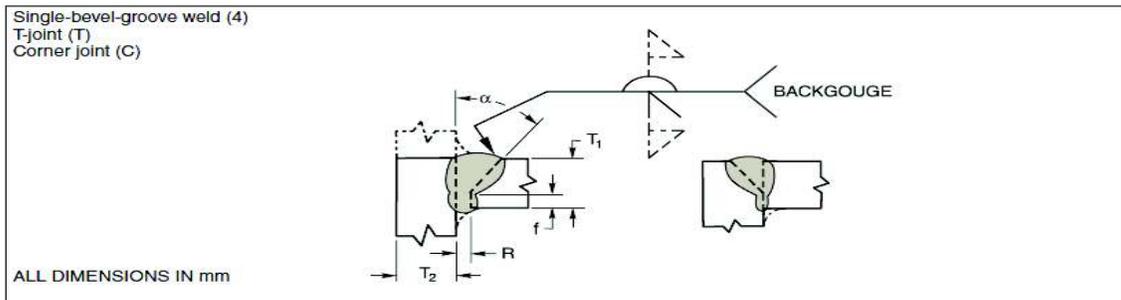


Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation			Allowed Welding Positions	Weld Size (E)	Notes
		T ₁	T ₂	Root Opening Root Face Groove Angle	Tolerances				
					As Detailed (see 3.12.3)	As Fit-Up (see 3.12.3)			
SMAW	BTC-P4	U	U	R = 0 f = 3 min α = 45°	+2, -0 +U -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	All	S-3	2, e, f, g, j, k

WPS-08: Unión Ala Inferior de la Viga con el Ala de la Columna.

Nombre de la Compañía: METALPI	Identificación #: WPS-08
Proceso(s) de Soldadura: SMAW	Revisión: 1
Número(s) PQR de Soporte: Precalificado según Capítulo 3 AWS D1.1-15	Realizado por: Ing. Mec. Hugo Pillajo Fecha: 11-01-2017
DISEÑO DE JUNTA UTILIZADO Tipo: TC-U4b Individual: Doble Soldadura: X Refuerzo: Si: No: X Material de Refuerzo: N/A Abertura de Raíz: 2-4mm Dimensión de Cara de Raíz: 1-2mm Ángulo de Canal: 40°-45° Radio (J-U): N/A Remoción de Raíz: Si: X No: Método: Disco	PROCESO Tipo: Manual: X Semiautomático: Máquina: Automático: POSICIÓN Posición de Canal: 1G, 4G Progresión Vertical: Arriba: Abajo:
METAL BASE Especificación de Material: ASTM A36 Tipo o Grado: N/A Espeor: De Canal: 8-10mm Filete: METAL DE APORTE Especificación AWS: AWS A5.1 Clasificación AWS: E7018 PROTECCIÓN Gas: N/A Composición: N/A Tasa de Flujo: N/A	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de Transferencia (GMAW) Corto-Circuito: Globular: Spray: Corriente: AC DCEP: X CEEN: TÉCNICA Cordón: Oscilado Multipase o Pase Individual (por lado): Multipase Número de electrodos: 1 Limpieza de Interfase: Grata metálica
PRECALENTAMIENTO Temperatura Mínima de Precalentamiento: 0°C Temperatura Mínima de Interpases: 0°C	TRATAMIENTO POST-SOLDADURA Temperatura: N/A Tiempo: N/A

Pase (s) de Soldadura (s)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltios (V)	Velocidad de Recorrido (cm/min)	Velocidad de Alimentación (pulg/min)
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amps (A)			
1(raíz)	SMAW	E7018	2.4	DCEP	80-95	21-26	8-10	-----
2	SMAW	E7018	3.2	DCEP	100-125	21-26	8-10	-----
3	SMAW	E7018	3.2	DCEP	100-125	21-26	8-10	-----

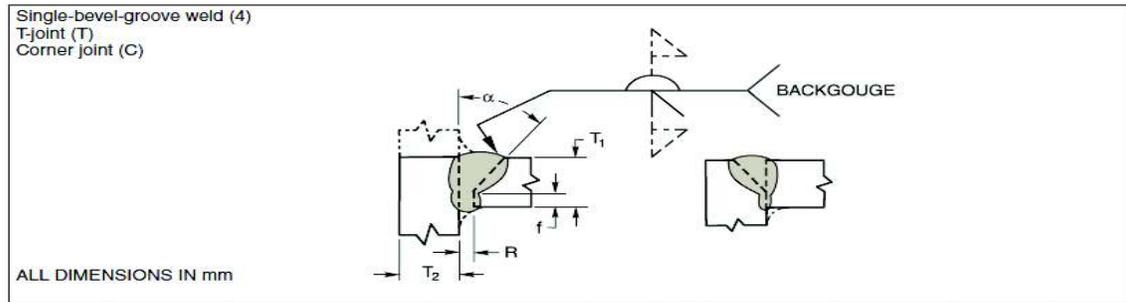


Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation			Allowed Welding Positions	Gas Shielding for FCAW	Notes
		T ₁	T ₂	Root Opening Root Face Groove Angle	Tolerances				
					As Detailed (see 3.13.1)	As Fit-Up (see 3.13.1)			
SMAW	TC-U4b	U	U	R = 0 to 3 f = 0 to 3 α = 45°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Not limited 10°, -5°	All	—	d, e, g, j, k
GMAW FCAW	TC-U4b-GF	U	U				All	Not required	a, d, g, j, k

WPS-09: Unión Ala con el Alma de la Viga en la Zona Protegida.

Nombre de la Compañía: METALPI	Identificación #: WPS-09
Proceso(s) de Soldadura: FCAW	Revisión: 1
Número(s) PQR de Soporte: Precalificado según Capítulo 3 AWS D1.1-15	Realizado por: Ing. Mec. Hugo Pillajo Fecha: 11-01-2017
DISEÑO DE JUNTA UTILIZADO Tipo: TC-U4b -GF Individual: Doble Soldadura: X Refuerzo: Si: No: X Material de Refuerzo: N/A Abertura de Raíz: 1-2mm Dimensión de Cara de Raíz: 1-2mm Ángulo de Canal: 40°-45° Radio (J-U): N/A Remoción de Raíz: Si: X No: Método: Disco	PROCESO Tipo: Manual: Semiautomático: X Máquina: Automático: POSICIÓN Posición de Canal: 1G Progresión Vertical: Arriba: Abajo:
METAL BASE Especificación de Material: ASTM A36 Tipo o Grado: N/A Espesor: De Canal: 6-10mm Filete:	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de Transferencia (GMAW) Corto-Circuito: Globular: X Spray: Corriente: AC DCEP: X CEEN:
METAL DE APORTE Especificación AWS: AWS A5.20 Clasificación AWS: E 71T1	TÉCNICA Cordón: Oscilado Multipase o Pase Individual (por lado): Multipase Número de electrodos: N/A Limpieza de Interpase: Grata metálica
PROTECCIÓN Gas: CO₂ Composición: 100%CO₂ Tasa de Flujo: 29CFH	TRATAMIENTO POST-SOLDADURA Temperatura: N/A Tiempo: N/A
PRECALENTAMIENTO Temperatura Mínima de Precalentamiento: 0°C Temperatura Mínima de Interpases: 0°C	

Pase (s) de Soldadura (s)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltios (V)	Velocidad de Recorrido (cm/min)	Velocidad de Alimentación (pulg/min)
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amps (A)			
1	FCAW	E 71T1	1.2	DCEP	140-160	21-22	18-22	210-220
2	FCAW	E 71T1	1.2	DCEP	140-160	21-22	18-22	210-220



Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation	Tolerances		Allowed Welding Positions	Gas Shielding for FCAW	Notes	
		T ₁	T ₂		Root Opening Root Face Groove Angle	As Detailed (see 3.13.1)				As Fit-Up (see 3.13.1)
SMAW	TC-U4b	U	U	R = 0 to 3 f = 0 to 3 α = 45°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Not limited 10°, -5°	All	—	d, e, g, j, k	
GMAW FCAW	TC-U4b-GF	U	U				All	Not required	a, d, g, j, k	

WPS-11: Unión Anillos con la Columna.

Nombre de la Compañía: METALPI	Identificación #: WPS-11
Proceso(s) de Soldadura: FCAW	Revisión: 1
Número(s) PQR de Soporte: Precalificado según Capítulo 3 AWS D1.1-15	Realizado por: Ing. Mec. Hugo Pillajo Fecha: 11-01-2017
DISEÑO DE JUNTA UTILIZADO Tipo: L-F12-GF Individual: X Doble Soldadura: Refuerzo: Si: No: X Material de Refuerzo: N/A Abertura de Raíz: 0-1mm Dimensión de Cara de Raíz: N/A Ángulo de Canal: N/A Radio (J-U): N/A Remoción de Raíz: Si: No: X Método:	PROCESO Tipo: Manual: Semiautomático: X Máquina: Automático: POSICIÓN Posición de Canal: 1G Progresión Vertical: Arriba: Abajo:
METAL BASE Especificación de Material: ASTM A36 Tipo o Grado: N/A Espesor: De Canal: Filete: 8-10mm METAL DE APORTE Especificación AWS: AWS A5.20 Clasificación AWS: E71T1 PROTECCIÓN Gas: CO₂ Composición: 100% CO₂ Tasa de Flujo: 29CFH	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de Transferencia (GMAW) Corto-Circuito: Globular: X Spray: Corriente: AC DCEP: X CEEN:
TRATAMIENTO POST-SOLDADURA Temperatura Mínima de Prealeamiento: 0°C Temperatura Mínima de Interpases: 0°C	TRATAMIENTO POST-SOLDADURA Temperatura: N/A Tiempo: N/A

Pase (s) de Soldadura (s)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltios (V)	Velocidad de Recorrido (cm/min)	Velocidad de Alimentación (pulg/min)
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amps (A)			
1	FCAW	E71T1	1.2	DCEP	140-160	21-22	11-14	210-220

Fillet weld (12)
T-joint (T)
Corner joint (C)
Lap joint (L)

ALL DIMENSIONS IN mm

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness	Joint Design/Geometry			Allowed Welding Positions	Notes
		T ₁ or T ₂	Root Opening	Tolerances			
				As Detailed	As Fit-Up		
FMAW FCAW	TC-F12-GF	<75	R = 0	+2, -0	5 max.	All	a, b, d
	TC-F12a-GF	≥75			8 max.		a, b, d
	L-F12-GF	<75			5 max.		a, b, c
	L-F12a-GF	≥75			8 max.		a, b, c

WPS-10: Unión Alma de la Viga con Placa de Cortante.

Nombre de la Compañía: METALPI	Identificación #: WPS-10
Proceso(s) de Soldadura: SMAW	Revisión: 1
Número(s) PQR de Soporte: Prequalificado según Capítulo 3 AWS D1.1-15	Realizado por: Ing. Mec. Hugo Pillajo Fecha: 11-01-2017
DISEÑO DE JUNTA UTILIZADO Tipo: L-F12 Individual: X Doble Soldadura: Refuerzo: Si: No: X Material de Refuerzo: N/A Abertura de Raíz: 0-1mm Dimensión de Cara de Raíz: N/A Ángulo de Canal: N/A Radio (J-U): N/A Remoción de Raíz: Si: No: X Método:	PROCESO Tipo: Manual: X Semiautomático: Máquina: Automático: POSICIÓN Posición de Canal: 3G Progresión Vertical: Arriba: X Abajo:
METAL BASE Especificación de Material: ASTM A36 Tipo o Grado: N/A Espesor: De Canal: Filete: 6mm METAL DE APORTE Especificación AWS: AWS A5.1 Clasificación AWS: E7018 PROTECCIÓN Gas: N/A Composición: N/A Tasa de Flujo: N/A	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de Transferencia (GMAW) Corto-Circuito: Globular: Spray: Corriente: AC DCEP: X CEEN:
PRECALENTAMIENTO Temperatura Mínima de Precalentamiento: 0°C Temperatura Mínima de Interpases: 0°C	TRATAMIENTO POST-SOLDADURA Temperatura: N/A Tiempo: N/A

Pase (s) de Soldadura (s)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltios (V)	Velocidad de Recorrido (cm/min)	Velocidad de Alimentación (pulg/min)
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amps (A)			
1	SMAW	E7018	3.2	DCEP	100-125	21-26	8-10	-----

Fillet weld (12)
T-joint (T)
Corner joint (C)
Lap joint (L)

ALL DIMENSIONS IN mm

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness	Joint Design/Geometry			Allowed Welding Positions	Notes
		T ₁ or T ₂	Root Opening	Tolerances			
				As Detailed	As Fit-Up		
SMAW	TC-F12	<75	R = 0	+2, -0	5 max.	All	a, b, d
	TC-F12a	≥75			8 max.		a, b, d
	L-F12	<75			5 max.		a, b, c
	L-F12a	≥75			8 max.		a, b, c



DOCUMENTO PARA USO INTERNO

WPQ N°: 1

Nombre de la Compañía: CIV-EPN
Soportado por WPS N°: WPS-02
Codigo de Referencia: AWS D1.1-2015

Realizado por: Ing. Mec. Hugo Pillajo
Fecha: 16-01-2017

1.- DATOS DEL SOLDADOR

Nombre: Luis Valverde Medina
Cédula de Identidad N°: 1721266466
Identificación: W1

2.- DATOS DE LA SOLDADURA

VARIABLES	REGISTRO DE VALORES DE CALIFICACIÓN	RANGO DE CALIFICACIÓN
Proceso de Soldadura	SMAW	SMAW
Progresión de la Soldadura	Ascendente	Ascendente
Corriente/Polaridad	DC+	DC+
Tipo de Soldadura	Manual	Manual
Metal de Clase	E7018	Tabla 3.1 AWS D1.1
aporte Especificación	A5.1	
Electrodo (individual o múltiple)	Unico	Unico
Posición	3G	Placa Ranura: 1G, 2G, 3G Placa Filete: 1F, 2F, 3F
Respaldo	Con respaldo	Con respaldo, resanado o pase de respaldo
Metal Base	Grupo I (ASTM A36)	Aceros clasificados en Grupo I, II de la Tabla 3.1
Espesor Material Base	10mm	CJP en placa de 3mm hasta 20mm. Filete en cualquier tamaño.
Placa Ranura		PJP en placa de cualquier espesor
Gas/Flujo	N/A	N/A

3.- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Ensayo	Interpretado por	Observaciones	Cumplimiento
Inspección Visual	Ing. Mec. Hugo Pillajo	Cordón uniforme, socavado dentro de tolerancia	A
Radiografía	N/A	N/A	N/A

4.- ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Muestra	Ensayo	Interpretado por	Observaciones	Cumplimiento
C1(W1)	Doblado de Cara	Ing. Mec. Hugo Pillajo	Discontinuidad dentro de tolerancia	A
R1(W1)	Doblado de Raíz	Ing. Mec. Hugo Pillajo	Ausencia de discontinuidad	A

5.- REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PROBETAS



6.- FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

Certificamos que la información contenida en este registro son correctos y las probetas fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos del Código AWS D1.1-2015 "Structural Welding Code-Steel", Capítulo 4. Este documento es para uso interno y su reproducción parcial o total está prohibida sin autorización escrita.

RESPONSABLE	METALPI	CIV-EPN	LEYENDA
Firma:			A Aprobado N/A No Aplicable R Rechazado
Nombre:	Ing. Hugo Pillajo	Ing. MSc. Diego Arévalo	
Fecha:	30/1/2017	30/1/2017	

DOCUMENTO PARA USO INTERNO

WPG N°: 2

Nombre de la Compañía: CIV-EPN
Soportado por WPS N°: WPS-02
Código de Referencia: AWS D1.1-2015

Realizado por: Ing. Mec. Hugo Pillajo
Fecha: 16-01-2017

1.- DATOS DEL SOLDADOR

Nombre: Luis Valverde Medina
Cédula de Identidad N°: 1721288486
Identificación: W1

2.- DATOS DE LA SOLDADURA

VARIABLES	REGISTRO DE VALORES DE CALIFICACIÓN	RANGO DE CALIFICACIÓN
Proceso de Soldadura	SMAW	SMAW
Progresión de la Soldadura	N/A	N/A
Corriente/Polaridad	DC+	DC+
Tipo de Soldadura	Manual	Manual
Metal de aporte	E7018	Tabla 3.1 AWS D1.1
Clase	A5.1	
Electrodo (Individual o múltiple)	Unico	Unico
Posición	4G	Placa Ranura: 1G, 4G Placa Filete: 1F, 2F, 4F
Respaldo	Con respaldo	Con respaldo, resanado o pase de respaldo
Metal Base	Grupo I (ASTM A36)	Aceros clasificados en Grupo I, II de la Tabla 3.1
Espesor Material Base	10mm	CJP en placa de 3mm hasta 20mm, Filete en cualquier tamaño, PJP en placa de cualquier espesor
Placa Ranura		
Gasi/Flujo	N/A	N/A

3.- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Ensayo	Interpretado por	Observaciones	Cumplimiento
Inspección Visual	Ing. Mec. Hugo Pillajo	Cordón uniforme, socavado dentro de tolerancia	A
Radiografía	N/A	N/A	N/A

4.- ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Muestra	Ensayo	Interpretado por	Observaciones	Cumplimiento
C2(W1)	Doblado de Cara	Ing. Mec. Hugo Pillajo	Discontinuidades dentro de tolerancia	A
R2(W1)	Doblado de Raíz	Ing. Mec. Hugo Pillajo	Discontinuidad dentro de tolerancia	A

5.- REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PROBETAS



6.- FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

Certificamos que la información contenida en este registro son correctos y las probetas fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos del Código AWS D1.1-2015 "Structural Welding Code-Steel", Capítulo 4. Este documento es para uso interno y su reproducción parcial o total está prohibida sin autorización escrita.

RESPONSABLE	METALPI	CIV-EPN	LEYENDA
Firma:			A Aprobado N/A No Aplicable R Rechazado
Nombre:	Ing. Hugo Pillajo	Ing. MSc. Diego Arévalo	
Fecha:	30/1/2017	30/1/2017	



DOCUMENTO PARA USO INTERNO

WPQ N°: 3

Nombre de la Compañía: CIV-EPN
Soportado por WPS N°: WPS-01
Código de Referencia: AWS D1.1-2015

Realizado por: Ing. Mec. Hugo Píllajo
Fecha: 16-01-2017

1.- DATOS DEL SOLDADOR

Nombre: Heriberto de la Cruz Quintero
Cédula de Identidad N°: 1727996843
Identificación: W2

2.- DATOS DE LA SOLDADURA

VARIABLES	REGISTRO DE VALORES DE CALIFICACIÓN	RANGO DE CALIFICACIÓN
Proceso de Soldadura	FCAW	FCAW
Progresión de la Soldadura	N/A	N/A
Corriente/Polaridad	DC+	DC+
Tipo de Soldadura	Semiatomática	Semiatomática
Metal de aporte	E71T1	Tabla 3.1 AWS D1.1
Especificación	A5.20	
Electrodo (Individual o múltiple)	Único	Único
Posición	1G	Placa Ranura: 1G Placa Filete: 1F, 2F
Respaldo	Con respaldo	Con respaldo, resanado o pase de respaldo
Metal Base	Grupo I (ASTM A36)	Aceros clasificados en Grupo I, II de la Tabla 3.1
Espesor Material Base	10mm	CJP en placa de 3mm hasta 20mm, Filete en cualquier tamaño, PJP en placa de cualquier espesor
Placa Ranura		100%CO2/29CFH
Gas/Flujo	100%CO2/29CFH	

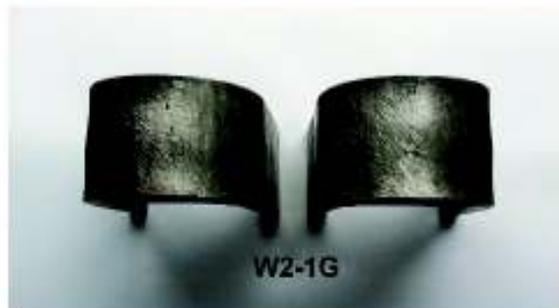
3.- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Ensayo	Interpretado por	Observaciones	Cumplimiento
Inspección Visual	Ing. Mec. Hugo Píllajo	Cordón uniforme, socavado dentro de tolerancia	A
Radiografía	N/A	N/A	N/A

4.- ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Muestra	Ensayo	Interpretado por	Observaciones	Cumplimiento
C3(W2)	Doblado de Cara	Ing. Mec. Hugo Píllajo	Discontinuidad dentro de tolerancia	A
R3(W2)	Doblado de Ratz	Ing. Mec. Hugo Píllajo	Discontinuidad dentro de tolerancia	A

5.- REGISTRO FOTOGRAFICO DE PROBETAS



6.- FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

Certificamos que la información contenida en este registro son correctos y las probetas fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos del Código AWS D1.1-2015 "Structural Welding Code-Steel", Capítulo 4. Este documento es para uso interno y su reproducción parcial o total está prohibida sin autorización escrita.

RESPONSABLE	METALPI	CIV-EPN	LEYENDA
Firma:			A Aprobado N/A No Aplicable R Rechazado
Nombre:	Ing. Hugo Píllajo	Ing. MSc. Diego Arévalo	
Fecha:	30/1/2017	30/1/2017	