

**METODOLOGÍA DE ENSAYO PARA EVALUACIÓN DE CONEXIONES A
ESCALA REAL. CASO DE ESTUDIO: CONEXIÓN METÁLICA**

CAROLINA QUINTERO RAMÍREZ



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2010

**METODOLOGÍA DE ENSAYO PARA EVALUACIÓN DE CONEXIONES A
ESCALA REAL. CASO DE ESTUDIO: CONEXIÓN METÁLICA**

CAROLINA QUINTERO RAMÍREZ

**TRABAJO DE GRADO
PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR
RICARDO A. CRUZ HERNANDEZ
Ingeniero Civil
Ph.D. En Ciencias Técnicas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2010**

DEDICATORIA

A Dios

A mis padres: Manuela y Luis

A mi hermanita hermosa, Susa

A mis tíos: Nacho, María, Beatriz, Torco, Mercedes, Geno y Cecy

A mis primos encantadores, en especial a "nana"

A mis amigos

AGRADECIMIENTOS

A Dios por las grandes oportunidades, por guiarme a cada instante.

A la Universidad Industrial de Santander por brindarme la oportunidad de estudiar, crecer y formarme integralmente en su campus.

A la Escuela de Ingeniería Civil, al director el profesor Germán García Vera, a todo el cuerpo de profesores por sus aportes, conocimientos.

Mis mas sinceros agradecimientos a mi amigo, profesor Ricardo Cruz por su ayuda, apoyo y confianza.

Al profesor Luis Garza por su interés y apoyo en la investigación.

A mis amigos ingenieros Oscar Giratá, Milton Zapata por su invaluable ayuda y sus oportunos comentarios,

TABLA DE CONTENIDO

PAGINA DE ACEPTACIÓN.....	i
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LAS CONEXIONES METÁLICAS Y SU EVALUACIÓN.....	3
1.1 PORTICOS RESISTENTES A MOMENTOS – PRM.....	3
1.2 ANTECEDENTES.....	4
• CONEXIONES	5
1.3 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE CONEXIONES	5
1.3.1 Fase de Diseño:	8
1.3.2 Fase de Análisis.....	11
1.3.3 Fase de Fabricación.....	13
1.3.4 Fase de Prueba.....	13
1.3.5 Fase de Uso.....	17
2 METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE CONEXIONES METÁLICAS: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS- UIS.....	18
2.1 Fase de Diseño:.....	18
2.2 Fase de Análisis	19
2.3 Fase de Fabricación	19

2.4	Fase de Prueba	20
2.4.1	Capacidad del Laboratorio de Caracterización de Materiales- Edificio Álvaro Beltrán Pinzón	20
2.4.2	Equipos e instrumentación	20
2.4.3	Personal	21
2.4.4	Implementación y ajuste de equipos	21
2.5	Fase de Uso	24
3	IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO: CONEXIÓN METÁLICA- CASO DE ESTUDIO	26
3.1	Fase de Diseño.....	27
3.1.1	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	27
	Llevando a cabo el procedimiento de diseño planteado anteriormente, se obtiene finalmente:	44
3.1.2	Dimensionamiento de las “T”	44
3.1.3	Dimensionamiento de la Placa Cortante	46
3.1.4	Dimensionamiento de las Chapas de refuerzo.....	47
3.1.5	Tamaño de Soldaduras	47
3.2	Fase de Análisis	48
3.3	Fase de Fabricación	49
3.4	Fase de Prueba	49
3.4.1	PROTOCOLO DE CARGA _Software del Actuador MTS	49
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
5	REFERENCIAS	63

6 ANEXOS.....67

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Especificaciones Actuador MTS	20
Tabla 2-2 Comparadores de Carátula Lab. UIS	20
Tabla 2-3 Personal Laboratorio	21
Tabla 3-1 Dimensiones de la Viga W16X26	26
Tabla 3-2 Dimensiones de la Columna 300X300X9.5mm	27
Tabla 3-3 Propiedades de los materiales	27
Tabla 3-4 Tipo de soldadura abocinada	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. The Five Phases of Structural Engineering (SEM, Society for Experimental Mechanics, INS., 1993).....	6
Figura 1-2 Metodología de evaluación	7
Figura 1-3 (a) PRM (b) Nodos en un Pórtico Plano (c) Deformada de un Pórtico Plano (d) Nodo Externo NE (e) Nodo Interno NI	8
Figura 1-4 Protocolo de Carga AISC-2005	11
Figura 1-5 Esquema de la Fase de Análisis.....	12
Figura 1-6 "Fig. 2. Positions of load application and displacement measurements" (KOJI Azuma, 1999)	14
Figura 1-7 "Fig. 1. Specimen T1 (a) test setup" (RICLES, et al., 2002)	15
Figura 1-8 "Fig. 4. Test setup"(CHI, et al., 2005)	15
Figura 1-9 Montaje del specimen- Ubicación LVDT	16
Figura 2-1 Protocolo de Carga para implementar en el Actuador MTS.....	22
Figura 2-2 Montaje Specimen Lab. Estructuras - UIS	23
Figura 2-3 Ubicación Comparadores de carátula.....	24
Figura 2-4 Diagrama de Flujo: Metodología de evaluación.....	25
Figura 3-1 Ubicación Rótulas Plásticas.....	28
Figura 3-2 Diagrama de cuerpo libre de la conexión.....	29
Figura 3-3 Dimensiones de las "T"	34
Figura 3-4 Dimensiones de la columna.....	35

Figura 3-5 Resistencia de la soldadura.....	35
Figura 3-6 Zona de panel.....	36
Figura 3-7 Dimensionamiento zona de panel - soldaduras de tapón.....	37
Figura 3-8 Límites del diámetro de la soldadura tapón.....	37
Figura 3-9 Soldaduras filete y tapón- Unión de chapas y "T" a la columna.....	38
Figura 3-10 Dimensiones Placa Cortante.....	40
Figura 3-11 Dimensiones de las "T".....	45
Figura 3-12 Configuración y acotado de las "T".....	45
Figura 3-13 Acotado en perfil de las "T".....	45
Figura 3-14 Dimensiones de la Placa Cortante.....	46
Figura 3-15 Acotado de la Placa Cortante.....	46
Figura 3-16 Dimensiones de las Chapas de refuerzo.....	47
Figura 3-17 Tamaños de las Soldaduras de Filete.....	47
Figura 3-18 Enmallado del modelo.....	48
Figura 3-19 Ventana de inicio Station Manager.....	50
Figura 3-20 Exclusive Control.....	51
Figura 3-21 Activación del Manual Control.....	51
Figura 3-22 Definir Unidades Tools/Unit Set Editor.....	52
Figura 3-23 Unit Assignment Set Editor.....	53
Figura 3-24 Detectors.....	53
Figura 3-25 Meters.....	54
Figura 3-26 Signal Auto Offset.....	54

Figura 3-27 MPT Procedure Editor and Process Palette	55
Figura 3-28 Segment Command Parameters.....	55
Figura 3-29 Cyclic Command Parameters	56
Figura 3-30 Time Acquisition Parameters	56
Figura 3-31 Peak/Vally Acquisition Parameters	57
Figura 3-32 Data Display Parameters	57
Figura 3-33 Visualización del Protocolo	58
Figura 3-34 Programación de una parte del Protocolo de Carga.....	59
Figura 3-35 Visualización del botón para definir specimen	60
Figura 3-36 Specimen Editor.....	60
Figura 3-37 Definición de carpeta para gravar resultados	61

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1-1: Relación columna fuerte- viga débil.....	9
Ecuación 3-1 Momento Probable.....	27
Ecuación 3-2 Coeficiente Cpr	27
Ecuación 3-3 Relación columna fuerte-viga débil	29
Ecuación 3-4 Sustitución Capacidad a flexión de la columna.....	29
Ecuación 3-5 Capacidades nominales en flexión de las vigas	30
Ecuación 3-6 Cortante en la columna.....	30
Ecuación 3-7 Momento arriba y abajo de la zona de panel	30
Ecuación 3-8 Expresión explícita: Capacidad nominal en flexión	30
Ecuación 3-9 Condición de columna fuerte-viga débil	30
Ecuación 3-10 Resistencia de la soldadura filete	31
Ecuación 3-11 Tamaño de la soldadura	31
Ecuación 3-12 Resistencia del material base	31
Ecuación 3-13 Tamaño de la soldadura	31
Ecuación 3-14 Fluencia a tracción.....	31
Ecuación 3-15 Fluencia a tracción - explícita	32
Ecuación 3-16 Espesor de la placa –Fluencia a tracción	32
Ecuación 3-17 Rotura a tracción.....	32
Ecuación 3-18 Rotura a tracción- explícita	32
Ecuación 3-19 Espesor de la placa-Rotura.....	32

Ecuación 3-20 Rotura por bloque de cortante	32
Ecuación 3-21 Resistencia del electrodo	33
Ecuación 3-22 Longitud del cordón longitudinal	33
Ecuación 3-23 Fluencia a tracción T superior	33
Ecuación 3-24 Rotura a tracción.....	33
Ecuación 3-25 Rotura por bloque de cortante	34
Ecuación 3-26 Resistencia de diseño	34
Ecuación 3-27 Resistencia de diseño- explícita.....	34
Ecuación 3-28 Espesor de la aleta "T"	35
Ecuación 3-29 Área de la soldadura.....	35
Ecuación 3-30 Resistencia del Material Base.....	35
Ecuación 3-31 Espesor de la zona de panel	36
Ecuación 3-32 Resistencia al corte.....	36
Ecuación 3-33 Espesor de la zona de panel	36
Ecuación 3-34 Soldadura de filete transversal.....	38
Ecuación 3-35 Espesor de la soldadura	38
Ecuación 3-36 Soldadura de filete longitudinal.....	38
Ecuación 3-37 Espesor de la soldadura	39
Ecuación 3-38 Diseño Soldadura abocinada	39
Ecuación 3-39 Área de la soldadura abocinada	39
Ecuación 3-40 Resistencia-soldadura abocinada	39
Ecuación 3-41 Resistencia - Soldadura abocinada -explícita	39

Ecuación 3-42 Relación ancho espesor	40
Ecuación 3-43 Coeficiente "Ca "	40
Ecuación 3-44 Relación ancho espesor-explícita	40
Ecuación 3-45 Aplastamiento en los agujeros	41
Ecuación 3-46 Cortante en los pernos.....	41
Ecuación 3-47 Longitud Placa Cortante	41
Ecuación 3-48 Longitud mínima al borde	41
Ecuación 3-49 Distancia del eje de perforación hasta la aleta de la T.....	41
Ecuación 3-50 Resistencia a la rotura por cortante	41
Ecuación 3-51 Área neta sometida a cortante	42
Ecuación 3-52 Resistencia a la fluencia por cortante	42
Ecuación 3-53 Área bruta sometida a corte.....	42
Ecuación 3-54 Capacidad a cortante	42
Ecuación 3-55 Capacidad a cortante -explícita	42
Ecuación 3-56 Tamaño de la soldadura	42
Ecuación 3-57 Resistencia de la soldadura	42
Ecuación 3-58 Resistencia a la rotura por cortante	43
Ecuación 3-59 Área neta sometida a corte.....	43
Ecuación 3-60 Resistencia a la fluencia por cortante	43
Ecuación 3-61 Área bruta sometida a cortante.....	43
Ecuación 3-62 Resistencia a la fluencia por tracción.....	43
Ecuación 3-63 Capacidad de la soldadura: Placa Cortante y Columna.....	44

Ecuación 3-64 Capacidad de la soldadura: Placa Cortante y Columna- explícita	44
Ecuación 3-65 Tamaño de la soldadura	44
Ecuación 3-66 Resistencia de la soldadura	44

METODOLOGÍA DE ENSAYO PARA EVALUACIÓN DE CONEXIONES A ESCALA REAL. CASO DE ESTUDIO: CONEXIÓN METÁLICA¹

Autor: Carolina Quintero Ramírez²

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Palabras claves: metodología conexión metálica, ensayo

En este proyecto se desarrolla un breve recorrido por los conceptos básicos, fundamentales en el estudio y evaluación de conexiones, se presenta un procedimiento de evaluación paso a paso, mostrando cada una de las cinco fases a tener en cuenta: diseño, análisis, fabricación, ensayo (test) y el uso, en general para elementos, componentes estructurales.

Se propone una metodología de ensayo para conexiones teniendo en cuenta las especificaciones de la AISC-2005. Dicho procedimiento se implementa para realizar la precalificación y calificación de conexiones metálicas en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Industrial de Santander -Colombia, mediante un caso teórico de estudio, realizando las modificaciones pertinentes en cuanto a infraestructura.

En el estudio efectuado para este tipo de elemento estructural, nodo, se tiene en cuenta el análisis no lineal, el cual permite visualizar el proceso de plastificación usando un software como el Ansys; por ejemplo se realizó la determinación del tipo de apoyo. En el laboratorio se plantea la evaluación experimental con el protocolo de carga de la AISC, controlada por desplazamiento bajo un ensayo pseudo-dinámico pseudo-estático por las velocidades a las que se trabaja con el Actuador MTS y de acuerdo a los dispositivos de lectura de desplazamiento disponibles. Se presenta igualmente el

¹ **METODOLOGÍA DE ENSAYO PARA EVALUACIÓN DE CONEXIONES A ESCALA REAL.
CASO DE ESTUDIO: CONEXIÓN METÁLICA**

² *Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director:* Ricardo Cruz Hernández

proceso a desarrollar para implementar en el software del actuador el protocolo de carga para la realización del ensayo y en ambos estudios se plantean las respectivas recomendaciones.

TEST METHODOLOGY FOR EVALUATION OF SCALE CONNECTIONS. CASE STUDY: STEEL CONNECTION¹

Author: Carolina Quintero Ramirez²

Facultad de Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Keys words: methodology, steel connection, test

This project develops a brief review of basic concepts crucial to the study and evaluation of connections; it presents a set by set evaluation procedure, showing each of the five stages to consider: design, analysis, manufacturing (fabrication), testing and use, in general for elements and structural components.

It proposes a testing methodology for connections taking into account the specifications of the AISC-2005. This procedure is implemented to perform the prequalification and qualification of steel connections in the Laboratory of Structures of the Universidad Industrial de Santander - Colombia, through a theoretical case study, implementing relevant modifications in infrastructure.

In this study, for this type of structural element: connection, it takes into account nonlinear analysis, which allows to display the plasticization process using a software such as Ansys, for determining the kind of foundation, for example. In the laboratory it raises the experimental evaluation with AISC load protocol, controlled by displacement, under pseudo-dynamic or pseudo-static tests at the speeds at which it works with the Actuator MTS and according to the displacement reading devices available. It also presents the process to develop in the Actuator software, the AISC load protocol to conduct the test and in both studies raises the corresponding recommendations.

¹ TEST METHODOLOGY FOR EVALUATION OF SCALE CONNECTIONS. CASE STUDY: STEEL CONNECTION

² *Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director:* Ricardo Cruz Hernández

INTRODUCCIÓN

Las conexiones constituyen puntos críticos en las construcciones y por tanto son objetivo de interés y estudio para ingenieros e investigadores en todo el mundo. En nuestro país desde aproximadamente el 2004 se han estudiado conexiones metálicas con el fin de precalificarlas y calificarlas, dado que el aumento en la construcción de este tipo ha empezado a ser importante y significativa, es muy importante conocer el comportamiento de estas, sobre todo en zonas de riesgo sísmico medio y alto. Algunos de los parámetros a estudiar en una conexión son: rigidez, disipación de energía, ductilidad, comportamiento histerético, los establecidos por la FEMA 350 para la precalificación; adicionalmente este tipo estudios pretende proponer una metodología que permita estudiar y por tanto ampliar la rama de conexiones disponibles, pues son muy limitadas, así como suministrar técnicas muy prácticas para su construcción.

Nuestro país cuenta con un esquema de zonificación sísmica identificadas como zonas de riesgo sísmico bajo, medio y alto; estas dos últimas exigen requerimientos especiales para el análisis y construcción de edificaciones tal como lo exige nuestra Norma Colombia de Diseño y Construcción Sismo Resistente- NSR 98; sin embargo nuestro país no cuenta con una “norma clara” o especificaciones alrededor del diseño y análisis de conexiones, que garanticen un comportamiento adecuado bajo la acción de cargas sísmicas. Para el uso confiable de las diferentes tipologías se habla a nivel mundial las disposiciones de la AISC-2005 (American Institute of Steel Construction, 2005) de Precalificación y Calificación de las conexiones.

Se hace necesario estudiar las conexiones que están siendo usadas en nuestro país, para obtener una caracterización de su comportamiento sísmico a partir del diseño, análisis y construcción de las mismas.

Los objetivos de este proyecto son:

1. Proponer un procedimiento de evaluación experimental.
2. Implementar la evaluación de conexiones en el Laboratorio de Estructuras de la UIS.
3. Aplicar la metodología a la conexión Caso de Estudio

Este documento plantea el problema que existe alrededor de las conexiones, aclara conceptos y define un procedimiento metodológico claro para realizar la precalificación y calificación, y finalmente lo implementa de forma teórica para un caso de estudio determinado.

1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LAS CONEXIONES METÁLICAS Y SU EVALUACIÓN

1.1 PORTICOS RESISTENTES A MOMENTOS – PRM

Estructura en la que sus miembros, columnas y vigas están unidas rígidamente por sus nodos quienes están en capacidad de transmitir momento, de acuerdo a su capacidad para disipar energía se clasifican en: PRM-E, PRM-I y PRM-O¹

Para la evaluación de las conexiones es importante tener en cuenta:

- **COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO**

Cuando un sistema, elemento estructural es sometido a ciclos de carga la respuesta se representa mediante curvas carga-deformación, las cuales tienen forma de ciclos de histéresis. Esta gráfica es un indicativo de la capacidad de disipación de energía y por tanto representa el comportamiento que ha de tener el sistema, elemento estructural.

- **DUCTILIDAD**

Es la capacidad que tiene un material de soportar grandes deformaciones más allá del límite elástico o del límite donde los esfuerzos son linealmente proporcionales a las deformaciones, pero lo más importante, sin fallar. (AIS Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998)

- **CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA**

¹ PRM-E, PRM-I y PRM-O hacen referencia respectivamente al grado de disipación de energía especial DES, Intermedio DMO y Ordinario DMI (AIS Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998)

La capacidad de disipación de energía se refiere a la capacidad que tiene un elemento estructural, un sistema estructural o una sección de un elemento, de poder trabajar en el rango inelástico sin tener una pérdida apreciable de su resistencia.

- **TENACIDAD**

La tenacidad de un material es el área bajo la curva esfuerzo-deformación hasta el punto donde se lleva el material a la falla; con este valor podemos cuantificar la capacidad que tiene un material de absorber energía por unidad de volumen. Para elementos estructurales como la capacidad de resistir varios ciclos de carga en el rango inelástico sin tener pérdida apreciable de resistencia. (McCormac, J.C.)

1.2 ANTECEDENTES

Se han desarrollado grandes investigaciones en el mundo a estructuras y sistemas estructurales a raíz de las consecuencias que han originado sismos de escala importante, como los de Northridge-1994 y Kobe-1995, en las estructuras metálicas en general, edificios, puentes; desde análisis matemáticos, modelamientos y/o ensayos experimentales que han permitido sin duda predecir el comportamiento de los distintos componentes estructurales ante estas cargas y por ende han transformado la concepción y el diseño de las edificaciones.

El punto crítico de las estructuras lo constituyen las conexiones, en el caso de las conexiones metálicas, publicaciones como la FEMA 350 – 2002 (Federal Emergency Management Agency, June, 2000) recopilan información valiosa acerca de los procedimientos de ensayo y fue base para las recomendaciones y especificaciones de

la AISC (American Institute of Steel Construction, 2005)¹; en la cual se pueden visualizar distintos parámetros para la precalificación y calificación de las conexiones.

- **CONEXIONES**

Los daños reportados en las conexiones de estudio estaban asociados al comportamiento de las mismas en el sistema estructural, pero se presentaron fracturas frágiles. Las causas de los daños en las conexiones mencionadas por H. Acero en sus tesis (ACERO, 2005) se asocian a tres factores: soldadura, diseño y el material.

Con respecto a la soldadura, investigaciones como las adelantadas en el Reino Unido (T.D., et al., 2002) presentaron un modelo simplificado para evaluar la grieta de la fractura en las soldaduras especialmente en las configuraciones de conexión típica, que sufrieron daños durante el sismo de Northridge.

En cuanto al diseño existe un proceso de validación de las conexiones en uso y a proponer en diferentes partes del mundo, partiendo de modelamientos matemáticos, análisis por elementos finitos en software especializado y con el apoyo de los ensayos experimentales.

1.3 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE CONEXIONES

El planteamiento de una metodología de ensayo en general para un elemento o sistema estructural se lleva a cabo en cinco fases, en la Figura 1-1 se puede visualizar la iteración de las mismas enunciadas en el Handbook on Structural Testing (SEM, Society for Experimental Mechanics, INS., 1993) éstas permiten compilar cada uno de los aspectos que se deben tener en cuenta para el análisis experimental resolviendo ciertos interrogantes, presentados a continuación para cada una de ellas, ver figura 1-2.

¹ La primera edición fue en 1997 tras tener las conclusiones iniciales del proyecto SAC post-Northridge. Esta versión retoma toda la experiencia y conocimiento luego de los terremotos en Northridge-94 y Kobe-95.

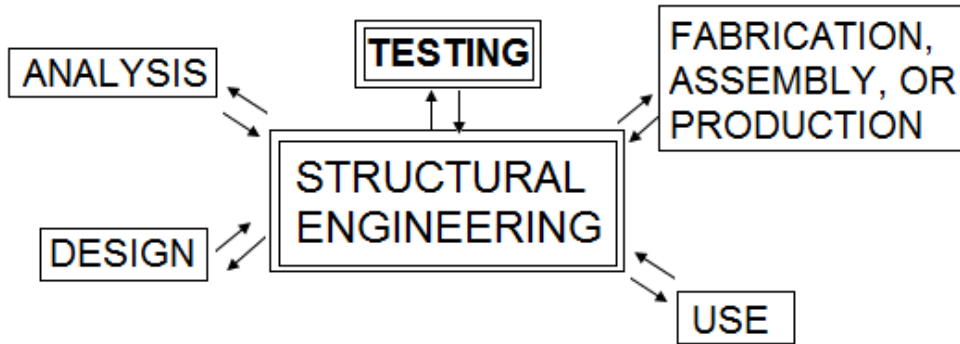


Figura 1-1. The Five Phases of Structural Engineering (SEM, Society for Experimental Mechanics, INS., 1993)

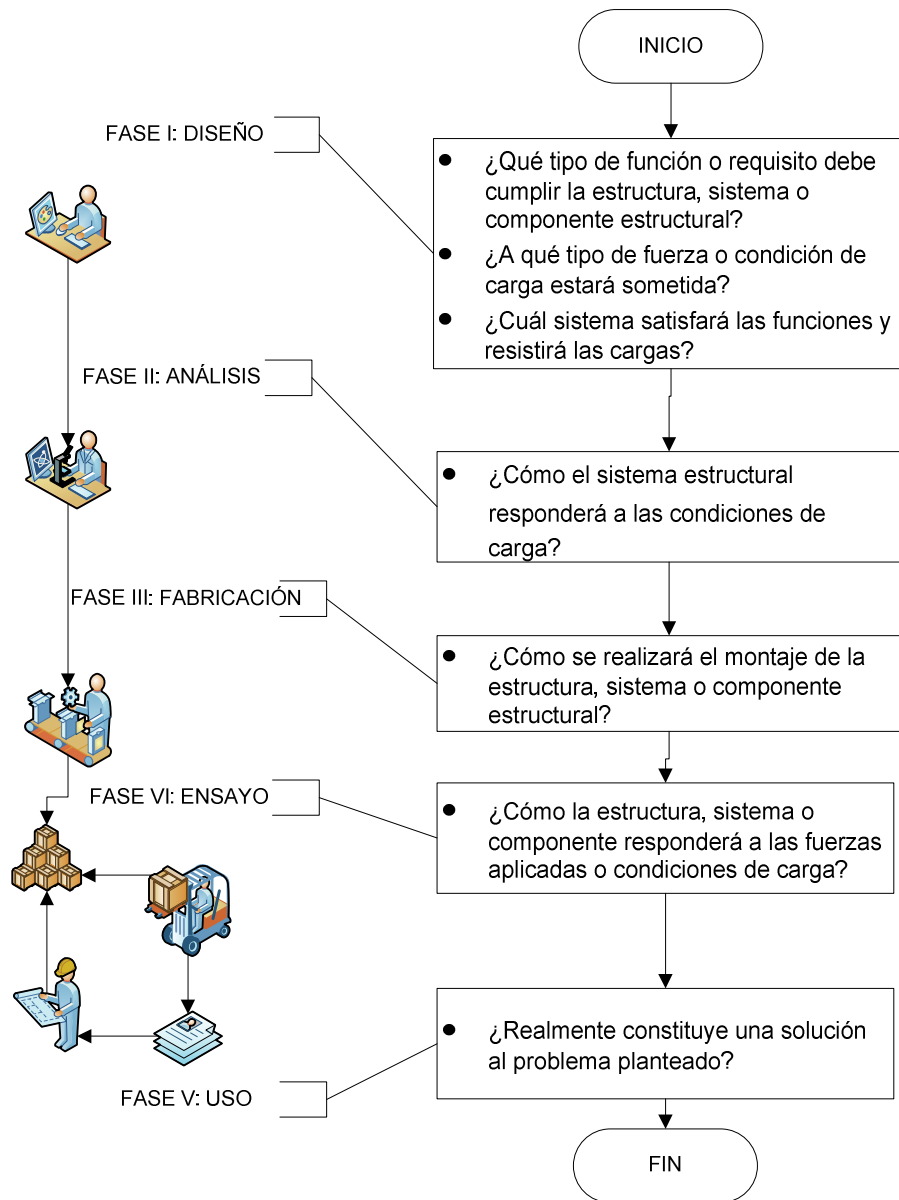


Figura 1-2 Metodología de evaluación

Para cada una de las fases se planté a partir de ahora los parámetros a seguir para resolver cada uno de los interrogantes en el caso del Procedimiento metodológico para la evaluación de una conexión metálica en cuanto a su precalificación y calificación:

1.3.1 Fase de Diseño:

- *¿Qué tipo de función o requisito debe cumplir la estructura, sistema o componente estructural?*

En la Figura 1-3 se puede visualizar el esquema de un PRM¹, los dos modelos (d) y (e) respectivamente son delimitados suponiendo que los puntos de inflexión de acuerdo a la deformada del plano a causa de una fuerza horizontal externa, como la del sismo de diseño por FHE², se presenta en la mitad de la longitud de vigas y columnas.

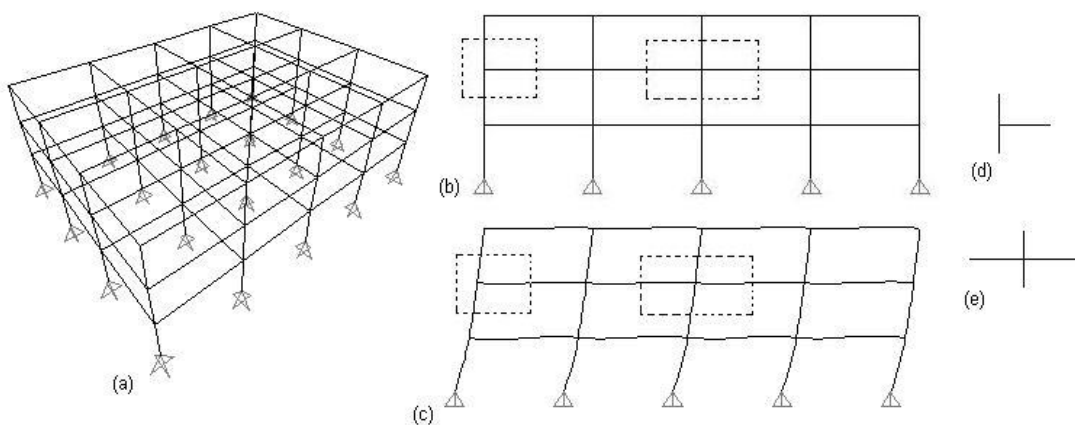


Figura 1-3 (a) PRM (b) Nodos en un Pórtico Plano (c) Deformada de un Pórtico Plano (d) Nodo Externo NE (e) Nodo Interno NI

¹ PRM, Pórtico Resistente a Momentos

² FHE, Fuerza Horizontal Equivalente.

El dimensionamiento de las vigas y columnas va en función del diseño arquitectónico y de la condición de carga de la estructura¹.

El diseño de las estructuras en nuestro país está regido por la NSR-98 (AIS Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998), pero en el caso de las conexiones metálicas se tienen en cuenta especificaciones y normas extranjeras; en el caso de la precalificación y calificación de una conexión metálica existen parámetros y requerimientos de diseño a tener en cuenta, como lo son en nuestro caso:

Requerimiento de la AISC-2005 (American Institute of Steel Construction, 2005), para SMF²:

Garantizar la condición de columna fuerte y viga débil, ver Ecuación 1

$$\frac{\sum M_{pc}^s}{\sum M_{pb}^s} > 1.0$$

Ecuación 1-1: Relación columna fuerte- viga débil

La conexión debe desarrollar una rotación debido al desplazamiento entre niveles de al menos 0.04 radianes.

La capacidad a la flexión, medida en la cara de la columna debe ser de al menos el 80% Mp de la viga, para una rotación debido al desplazamiento de 0.04 radianes

- ¿A qué tipo de fuerza o condición de carga estará sometida?

¹ También están limitadas en la fase 4, por los equipos disponibles, como se verá más adelante.

² De sus siglas en inglés Special Steel Moment Frames

La carga cíclica es generalmente considerada como una buena opción para la simulación de terremotos, sismos; se han realizado estudios para la adopción de un protocolo adecuado que tengan en cuenta la fatiga, la disipación de energía, la ductilidad, plasticidad en las Estructuras Metálicas como en 1998 (A. Plumier & M.R. Agatino and A. Castellani, 1998) Distintos protocolos han sido tomados: incrementos de la carga en función de la rotación plástica de la viga en el voladizo (KOJI Azuma, 1999)(KYUNG-JAE Shin, 2004) otros en función del desplazamiento (SHENG-JIN, et al., 2000); para los diferentes estudios realizados alrededor del mundo se han tomado el de la ATC-24 (CHUNG-CHE, et al., 2001) (CHENG-CHIG, et al., 2003) (CHNG-CHIH, et al., 2004) consolidado en el SAC 2000 reporte no. FEMA 350 (CHEOL-HO, et al., 2003) (CHEOL-HO, et al., 2006) y para la precalificación de las conexiones metálicas finalmente en la AISC-2005 (American Institute of Steel Construction, 2005), ver figura 1-4.

La velocidad de aplicación de la carga es un parámetro muy importante que va ligado a la fatiga a la cual se expone la estructura o sistema, de acuerdo al protocolo asumido. Está limitada por el tipo de equipo que imparte la fuerza, por los instrumentos de lectura para la adquisición de datos y por la fatiga a la cual se piense exponer. La incidencia de esta en la resistencia final del elemento es de un 5% o 10% (BRUNEAU, M. UANG, Ch. WHITTAKER, A. Ductile Design of Steel Structures. Mac Graw Hill, 1998) (PABÓN, y otros, 2004)

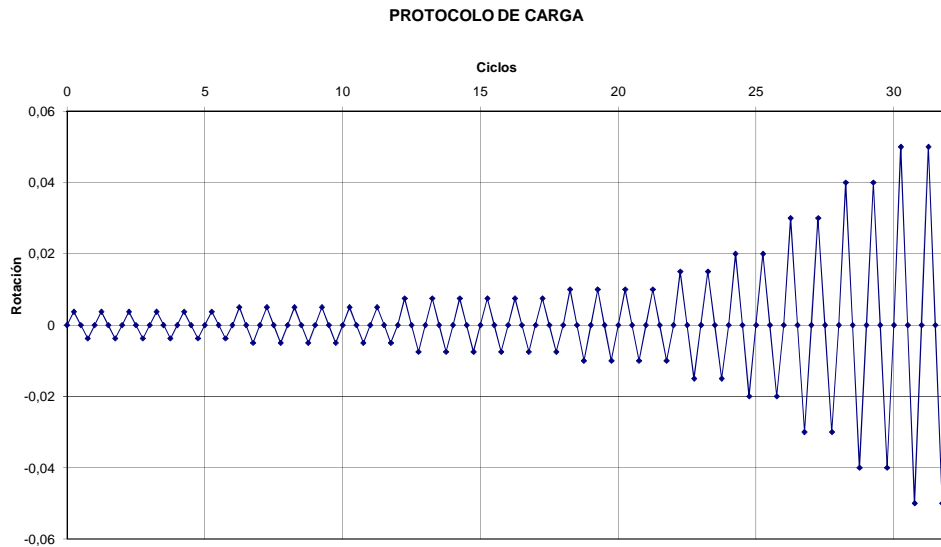


Figura 1-4 Protocolo de Carga AISC-2005

- *¿Cuál sistema satisfará las funciones y resistirá las cargas?*

Se debe definir el tipo de conexión a evaluar, sea existente o propuesta y se realiza el diseño partiendo de las condiciones iniciales planteadas y de la norma NSR-98 (AIS Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 1998)

Dado que se deben satisfacer las condiciones planteadas en un inicio, se trata de un procedimiento iterativo.

1.3.2 Fase de Análisis

- *¿Cómo el sistema estructural responderá a las condiciones de carga?*

En esta fase se define el software de análisis por elementos finitos, en general se tiene un modelo, software y una respuesta, ver *figura 1-5*.

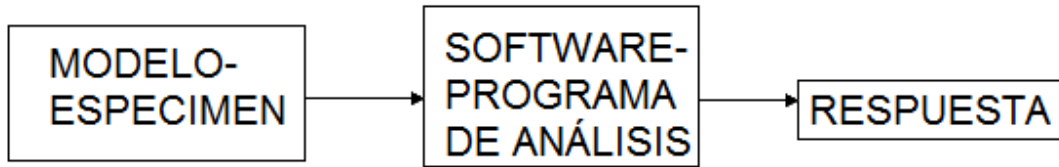


Figura 1-5 Esquema de la Fase de Análisis

Para el modelo: se realiza un diseño en 3D, se define el grado de análisis (si se va a modelar soldadura, tornillos, etc.), debe incluir claramente las condiciones de apoyo del elemento, y este debe corresponder al modelo teórico y experimental para estimar el comportamiento del mismo.

En el programa: para hacer una simulación adecuada, se generan las superficies de contacto, se debe disponer de las curvas de esfuerzo-deformación para los distintos materiales, se definen los apoyos congruentes al modelo en el diseño y a la disposición en el laboratorio.

La respuesta: esta fase es un proceso iterativo, dado que al darle las condiciones al modelo, se debe buscar el enmallado adecuado hasta que los resultados no difieran de forma sustancial. Y de acuerdo a la condición de esfuerzos final obtenida se realizarán cambios como: aumento de las dimensiones o disponer elementos adicionales que permitan mejorar su comportamiento ante la carga impartida.

Tipo de datos y gráficas a analizar: se tendrán datos de deformación y estados de esfuerzos para cada uno de los elementos que conformen la conexión, las rotaciones tanto de la viga como de la columna para analizar la zona de panel y para cada paso del protocolo, la fuerza necesaria para realizar dicho desplazamiento. A partir de esta información se evalúa:

Rigidez: mediante la correlación de las rotaciones de la viga y la columna en la zona de panel. Entendiendo que si la relación de estas es uno se tendrá una conexión totalmente rígida.

De acuerdo al grado de rotación que presente, mayor a 0.04 la conexión se puede implementar en Zonas DES, si es mayor a 0.02 en Zonas DMO y para la Zona DMI no hay requerimiento especial con respecto a esta.

En función al resultado del análisis se puede, según el caso, obtener correcciones al modelo inicial¹, hasta que realmente cumpla con los requerimientos propuestos.

1.3.3 Fase de Fabricación

- *¿Cómo se realizará el montaje de la estructura, sistema o componente estructural?*

Realice una evaluación completa de la capacidad con la que se cuenta, entendida esta como los recursos físicos (Instrumentación, equipos, herramienta) humanos y monetarios

1.3.4 Fase de Prueba

- *¿Cómo la estructura, sistema o componente responderá a las fuerzas aplicadas o condiciones de carga?*

Los ensayos experimentales simulan el comportamiento real de una estructura o sistema estructural ante un protocolo de carga adecuado ya sea pseudo-estático o pseudo-dinámico para conexiones metálicas se realiza mediante un modelo a escala real; se ha demostrado que este tipo de estudio arroja resultados muy satisfactorios

¹ Dependiendo del tipo de corrección, puede existir la necesidad de regresar a la fase uno y rediseñar o diseñar elementos auxiliares.

para la correcta evaluación de las mismas. En el caso del estudio de conexiones en PRM se tienen dos tipos de configuración en un plano: nodo interno y externo, ver figura 2.

Definida la capacidad del laboratorio y el tipo de nodo a ensayar, uno de las decisiones a tomar es en qué posición se realizará el ensayo, en varios países para nodos internos (K. C., y otros, 1995) (KOJI Azuma, 1999) (SHENG-JIN, et al., 2000) (CHENG-CHIG, et al., 2003) han realizado ensayos con la columna acostada y la viga en pie, ver figura 1-6, en otras ocasiones lo han realizado con todo el conjunto en pie, ver figura 1-7, (CHIA-MING, et al., 1998) (RICLES, et al., 2001) (RICLES, et al., 2002) y para nodos internos se puede tener una configuración como la mostrada en la figura 1-8.

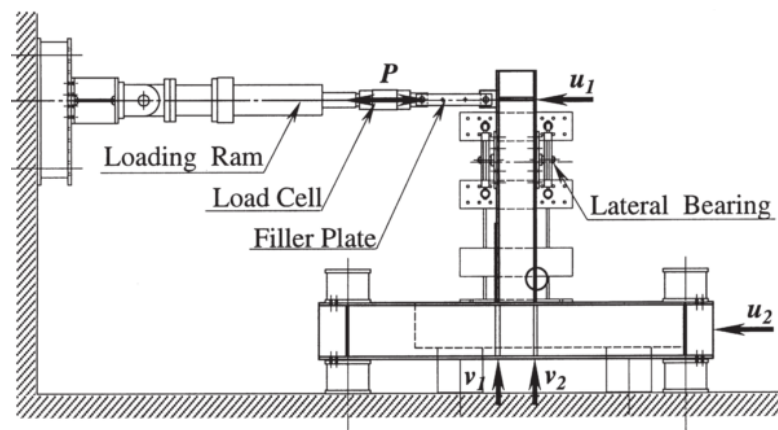


Figura 1-6 "Fig. 2. Positions of load application and displacement measurements" (KOJI Azuma, 1999)

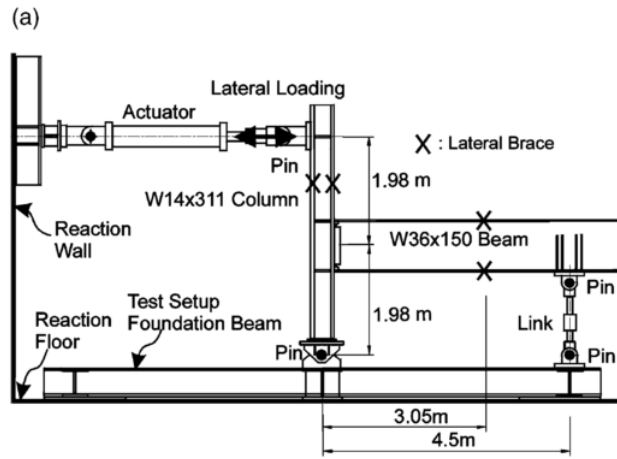


Figura 1-7 "Fig. 1. Specimen T1 (a) test setup" (RICLES, et al., 2002)

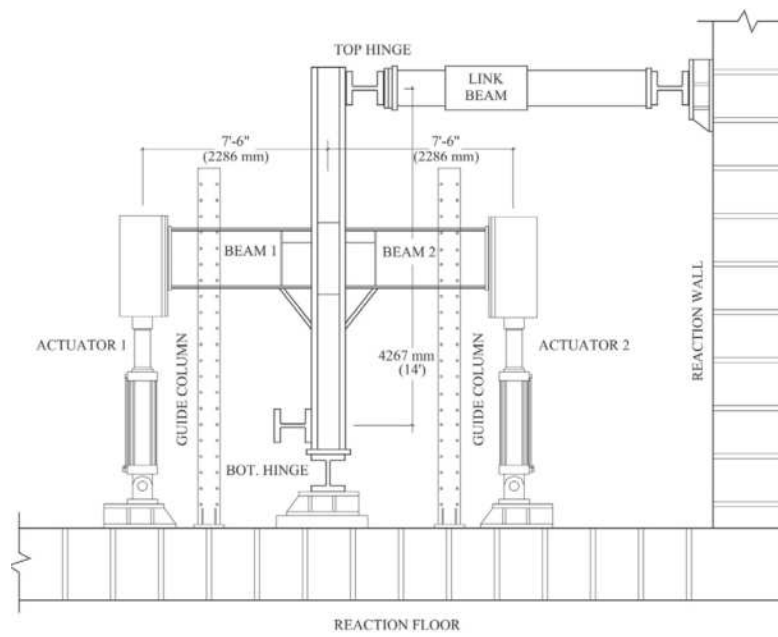


Figura 1-8 "Fig. 4. Test setup"(CHI, et al., 2005)

La definición del número de dispositivos de lectura de desplazamiento parte de que datos son necesarios para la evaluación. Este tipo de elementos permite tener control del experimento, por tanto deben ser calibrados e instalados correctamente. Un ejemplo de la ubicación de estos para un test, puede ser visto en la Figura 1-9.

Elementos como “arriostramientos laterales” deben ser tenidos en cuenta desde el diseño, determinando la ubicación del mismo , y desde el análisis evaluando su comportamiento y correcta función, ver Figura 1-9 como “ Lateral bracing”

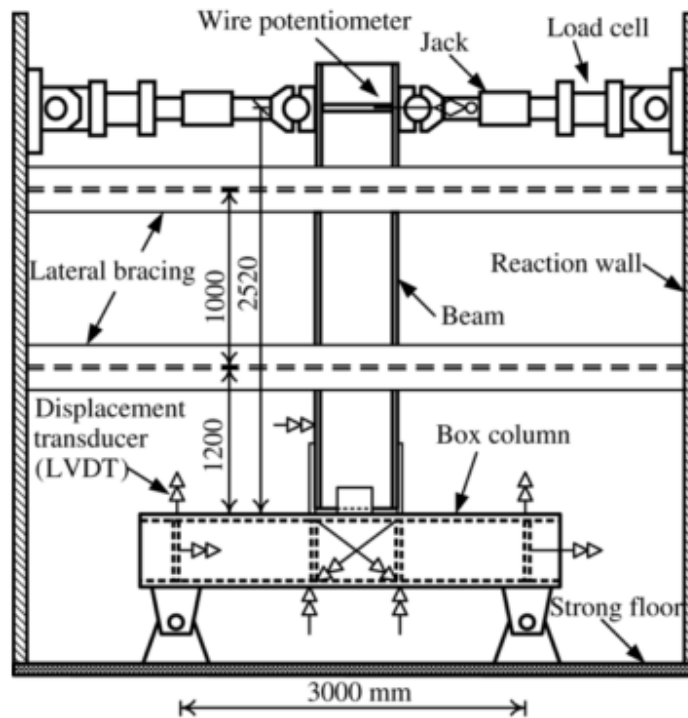


Fig. 15. Full-scale test setup and instrumentation.

Figura 1-9 Montaje del specimen- Ubicación LVDT

Esta fase contempla el tipo de información que se necesite o se solicite del modelo, para poder determinar el tipo de ensayo junto con las capacidades disponibles. Las

pruebas sirven para verificar los análisis efectuados, proporciona información sobre los criterios de diseño usados y acerca de los factores de seguridad; y finalmente dan prueba de que se cumplen las funciones y soporta las fuerzas o condiciones de carga impuestas.

1.3.5 Fase de Uso

- *¿Realmente constituye una solución al problema planteado?*

Dado que se tiene un modelo, y con este se trata de hacer una representación de nuestra estructura, se usan fuerzas o protocolos de carga, y otros factores alrededor del mismo son ideales o no son considerados en el proceso, en muchas ocasiones los problemas que requieren una solución estructural son descubiertos una vez se ha construido y entra en la etapa de uso; es decir durante su vida útil. Por lo tanto, la fase de utilización de una estructura es importante porque da la verificación final de diseño y también puede proporcionar nuevas exigencias. Es la fase más lenta y los resultados son evaluados con el paso de los años, sobre todo en caso de una eventualidad natural como un sismo.

2 METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE CONEXIONES METÁLICAS: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS- UIS

2.1 Fase de Diseño:

Se parte de los requerimientos enunciados en el capítulo anterior para efectuar el diseño de nuestra conexión.

El protocolo de carga¹ es el mostrado en la figura 1-4

Se definen los elementos que harán parte de la conexión, y se dimensionan para que resista el Mpr^2 . Para la realización del diseño, especificaciones internacionales (American Institute of Steel Construction, 2005) nos ofrecen de acuerdo al tipo de esfuerzo al que estén sometidos cada uno de los elementos, ecuaciones para obtener el modelo; por tanto se debe realizar un diagrama de cuerpo libre para la conexión y cada uno de sus elementos, y plantear finalmente las expresiones adecuadas para satisfacer cada una de esas solicitaciones encontradas.

Pasos:

1. Se define el tipo de nodo a evaluar.
2. Posición del specimen.
3. Se adopta el protocolo de carga dado por la AISC.
4. Se propone la configuración del nodo
5. Se diseña bajo las especificaciones de la AISC (Para el Mpr) y la NSR-98 (Según los requerimientos)

¹ El protocolo se termina de definir en la Fase de Ensayo

² Mpr , Momento probable ubicado a una distancia L_h de la cara de la columna (rótula plástica)

2.2 Fase de Análisis

Se desarrolla un modelo matemático que represente la conexión de forma adecuada, es de vital importancia prestar atención a las condiciones de borde, tipo de apoyos.

Pasos:

1. Realizar modelo en 3D
2. Software de Análisis
 - a. Definir las condiciones de apoyo (diseño, ensayo- test)
 - b. Tipo de análisis a realizar: Lineal / No lineal
 - c. El Enmallado acorde con los elementos disponibles.
3. Respuesta del sistema

2.3 Fase de Fabricación

A partir del plano de diseño de la conexión y el plano del laboratorio o lugar de ensayo, se desarrollará un plano de taller que incluya los apoyos del espécimen y elementos auxiliares para los equipos de carga y toma de lecturas.¹

Una vez se tenga el espécimen y los elementos auxiliares, se deben corroborar las dimensiones y la resistencia del material.

¹ La elaboración de los elementos se debe realizar post verificación de la capacidad del laboratorio, para verificar el diseño.

2.4 Fase de Prueba

2.4.1 Capacidad del Laboratorio de Caracterización de Materiales- Edificio Álvaro Beltrán Pinzón

El laboratorio de Estructuras cuenta con un muro de reacción de aproximadamente siete metros de altura y cinco de ancho este tiene platinas dispuestas para el anclaje de las diferentes estructuras a ensayar; al igual que el piso de reacción, ver plano en Anexos.

2.4.2 Equipos e instrumentación

Para la aplicación de la carga se cuenta con el Actuador MTS, ver tabla 2-1.

Actuador MTS	
<i>Modelo No.</i>	243,35 T
<i>Serial No.</i>	10186104
<i>Force Comp.</i>	365 Kn (82 kips)
<i>Force Ten.</i>	240 Kn (54 kips)
<i>Static Stroc</i>	254 mm
<i>Dyn. Stroc</i>	254 mm

Tabla 2-1 Especificaciones Actuador MTS

Los dispositivos para lectura de desplazamiento disponibles, ver tabla 2-2.

Deformímetros			
1	<i>Tipo</i>	<i>Marca</i>	<i>Precisión</i>
2	Análogo	Borletti	0,01 mm
3		Humboldt	0,001" (pulg)
4		SaginoMiya	0,01 mm
5	Digitales		0,001 mm

Tabla 2-2 Comparadores de Carátula Lab. UIS

2.4.3 Personal

Para realizar correctamente el ensayo es necesario contar con personal capacitado de laboratorio, ver tabla 2-3

<i>Personal</i>	<i>Función</i>
Laboratoristas	Manejo del Software MPT Seguridad Industrial Instalación de dispositivos

Tabla 2-3 Personal Laboratorio

2.4.4 Implementación y ajuste de equipos

Dadas las capacidades de desplazamiento máximo del equipo, Actuador MTS, se ajusta el protocolo de carga para realizar la prueba bajo control por desplazamiento, ver Figura 2-1 y para dar cumplimiento de la especificación en la cual una conexión en zonas de riesgo sísmico alto debe desarrollar una rotación de al menos 0.04 rad, se tiene que la longitud máxima de viga a usar es de tres metros (3 m).

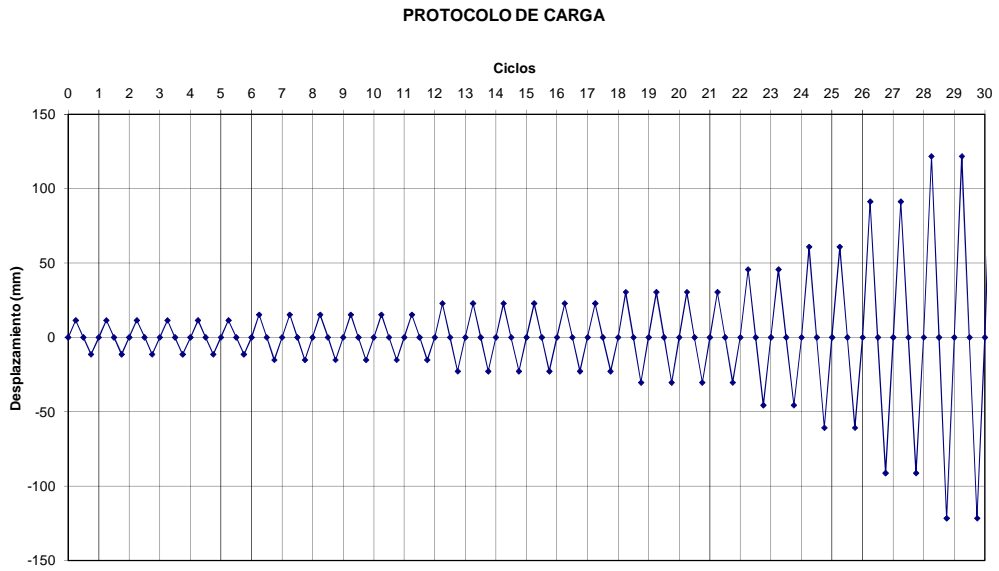


Figura 2-1 Protocolo de Carga para implementar en el Actuador MTS

De acuerdo a las instalaciones del laboratorio se adoptó la siguiente posición del espécimen, ver Figura 2-2.

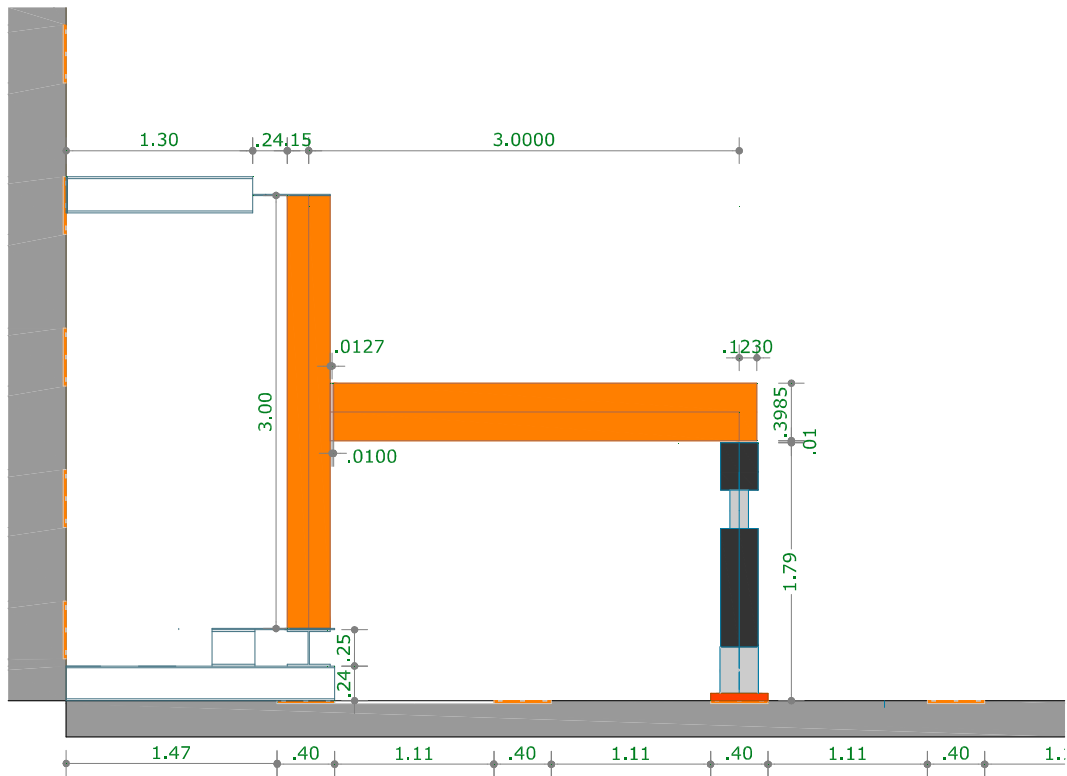


Figura 2-2 Montaje Specimen Lab. Estructuras - UIS

Los dispositivos de lectura de deformación, comparadores de carátula estarán ubicados de acuerdo a la Figura 2-3.

De acuerdo a la numeración mostrada en la Figura 2-3, el comparador de carátula # 1 servirá de control para el apoyo, en caso de que se presente desplazamiento horizontal; el # 2 y el # 3 me permitirán conocer la rotación de la viga; el # 5 y # 6 la rotación de la columna y con el # 4 y # 5 podremos ver el de la zona de panel.

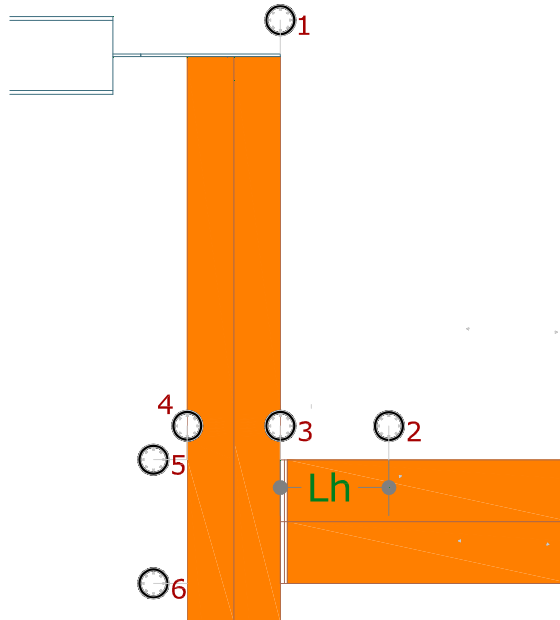


Figura 2-3 Ubicación Comparadores de carátula

2.5 Fase de Uso

Constituye la fase más importante para la validación del estudio realizado, una vez el modelo ha cumplido a cabalidad lo propuesto a nivel analítico y experimental se implementa; a partir de aquí durante su vida útil, puede ser analizado su desempeño ante las condiciones ambientales y de carga natural.

Finalmente se tiene el siguiente diagrama resumen de la Metodología de evaluación, ver figura 2-1:

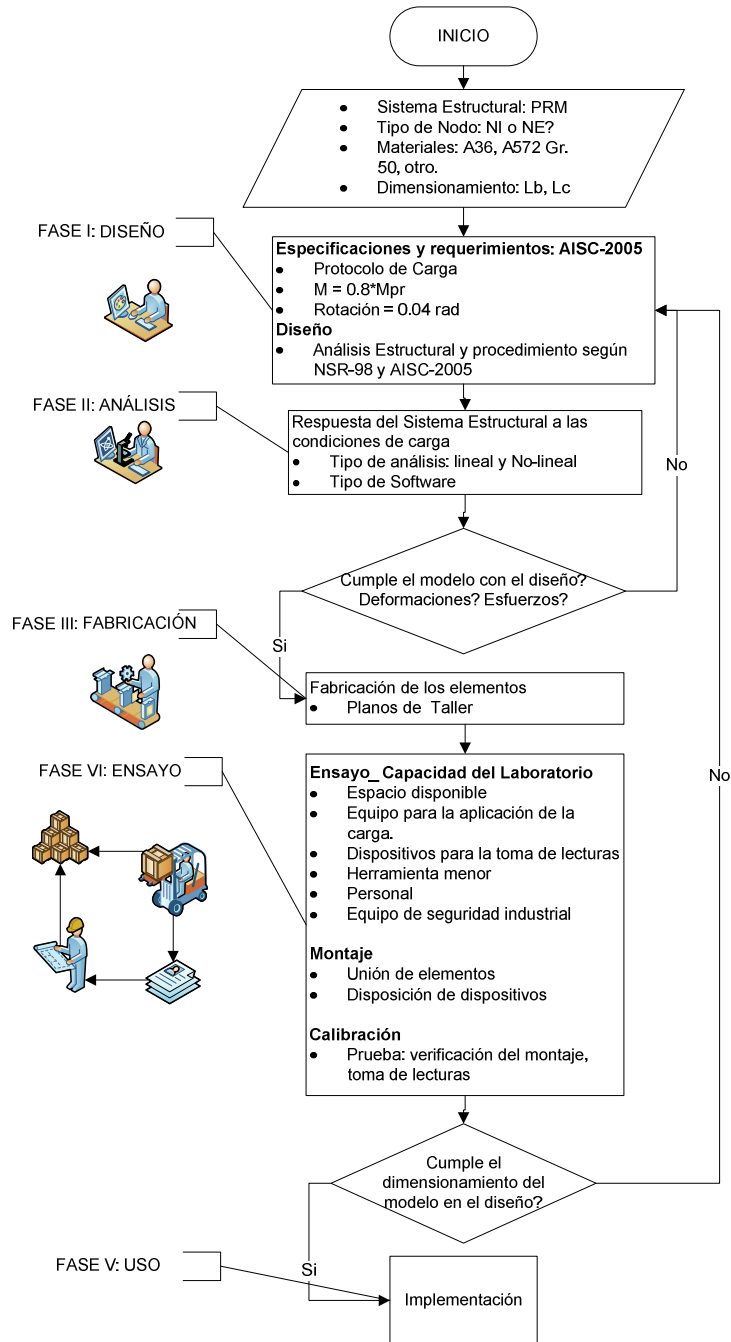


Figura 2-4 Diagrama de Flujo: Metodología de evaluación

3 IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO: CONEXIÓN METÁLICA- CASO DE ESTUDIO

Descripción del espécimen:

Se trata de una conexión viga- columna unida mediante dos T y con una Placa de Cortante que une el alma de la viga con la cara de la columna, mediante soldaduras de filete. Las T son elaboradas en taller con soldadura abocinada, unidas a la viga y la columna mediante soldadura de filete.

La viga es un perfil W16X26 en acero A572 Gr 50 y la columna es de sección cajón constituida por dos perfiles C300X300X9.5mm en acero A36, ver tablas 1 y 2. Las T y la Placa de Cortante son de acero A36. Las propiedades de los materiales en la tabla 3.

Viga	W16
<i>bf (mm)</i>	139,
<i>tfb (mm)</i>	8,76
<i>twb (mm)</i>	6,35
<i>db (mm)</i>	398,
<i>Zbx (mm³)</i>	7,24
<i>Zby (mm³)</i>	8,98
<i>Ab (mm²)</i>	4954
<i>Ibx (mm⁴)</i>	1,25
<i>Iby (mm⁴)</i>	3,99
<i>Lt (mm)</i>	5700
<i>Lb (mm)</i>	5670

Tabla 3-1 Dimensiones de la Viga W16X26

Columna	300X150X9,5 mm
<i>bc (mm)</i>	300
<i>tc (mm)</i>	9,5
<i>dc (mm)</i>	300
<i>Zc (mm³)</i>	1,20E+06
<i>Ac (mm²)</i>	11039
<i>lcx (mm⁴)</i>	1,55E+08
<i>Lc (mm)</i>	3000

Tabla 3-2 Dimensiones de la Columna 300X300X9.5mm

Materiales	Acero	Fy (Mpa)	Fy (Mpa)
<i>Viga</i>	A572 Gr 50	345	450
<i>Columna</i>	A36	253	253
<i>T y Placa Cortante</i>	A36	408	408

Tabla 3-3 Propiedades de los materiales

Se usan pernos de montaje en el caso de la Placa de Cortante.

3.1 Fase de Diseño

A continuación se desarrolla el procedimiento de diseño para la conexión descrita anteriormente:

3.1.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

3.1.1.1 Calcular el momento plástico AISC 2005

$$M_{pr} = C_{pr} R_y Z_b F_y$$

Ecuación 3-1 Momento Probable

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.2$$

Ecuación 3-2 Coeficiente Cpr

3.1.1.2 Determinar la posición de la rótula plástica, L_h

Cumpliendo con la condición de columna fuerte y viga débil, se plantean las expresiones 4-4, 4-5, 4-6, 4-7, 4-8, 4-9 y 4-10 a partir de las figuras 4 y 5, para finalmente obtener la longitud a la que se ubica, así:

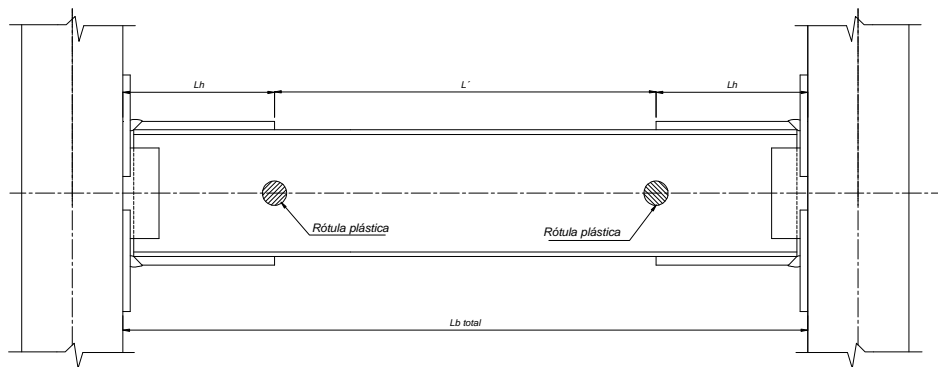


Figura 3-1 Ubicación Rótulas Plásticas

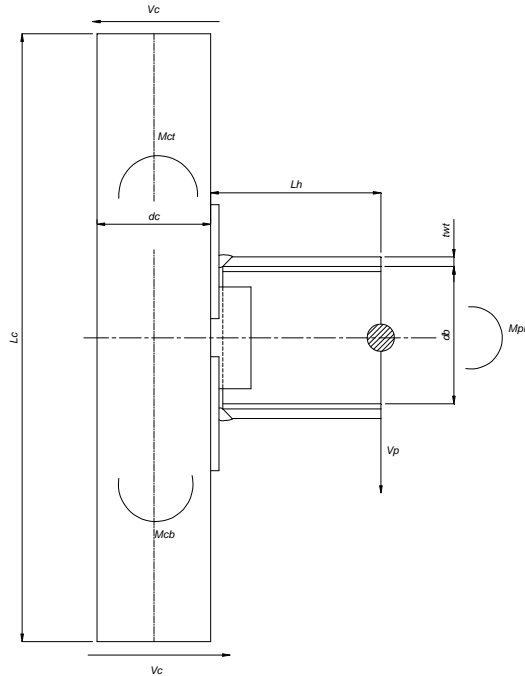


Figura 3-2 Diagrama de cuerpo libre de la conexión

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1.0$$

Ecuación 3-3 Relación columna fuerte-viga débil

$$\frac{\sum Z_c (F_{yc} - P_{uc} / A_g)}{\sum M_{pb}^*} > 1.0$$

Ecuación 3-4 Sustitución Capacidad a flexión de la columna

$$\sum M_{pb}^* = M_{ct} + M_{cb}$$

Ecuación 3-5 Capacidades nominales en flexión de las vigas¹

$$V_c = \frac{M_{pr} + V_p(l_h + d_c/2)}{L_c}$$

Ecuación 3-6 Cortante en la columna

$$M_{ct} = M_{cb} = V_c \left(\frac{L_c - d_b}{2} \right)$$

Ecuación 3-7 Momento arriba y abajo de la zona de panel

$$\sum M_{pb}^* = V_c(L_c - d_b)$$

$$\sum M_{pb}^* = \left[\frac{M_{pr} + \frac{2M_{pr}}{L_{btotal} - 2l_h} \left(l_h + \frac{d_c}{2} \right)}{L_c} \right] (L_c - d_b)$$

Ecuación 3-8 Expresión explícita: Capacidad nominal en flexión

$$\left[\frac{2Z_c F_{yc}}{1 + \frac{2}{L_{btotal} - 2l_h} \left(l_h + \frac{d_c}{2} \right)} \right] \frac{M_{pr}(L_c - d_b)}{L_c} > 1.0$$

Ecuación 3-9 Condición de columna fuerte-viga débil

¹ $\sum M_{pb}^*$, Suma de las capacidades nominales en flexión de las vigas.

3.1.1.3 Definir espesor de la T superior e inferior

Soldadura T inferior: resistencia de la soldadura filete entre el alma de la T y la aleta de la viga, resistencia del material base:

$$\phi_n R_n = \phi_n F_w A_w \geq \frac{M_{pr}}{d_b - t_f}$$

Ecuación 3-10 Resistencia de la soldadura filete

$$t_w \geq \frac{M_{pr}}{\phi_n 0.6 F_{EXX} 0.707 (2W_i) (d_b - t_{fb})}$$

Ecuación 3-11 Tamaño de la soldadura

$$\phi_d R_n = \phi_d F_{BM} A_{BM} \geq \frac{M_{pr}}{d_b - t_{fb}}$$

Ecuación 3-12 Resistencia del material base

$$t_w \geq \frac{M_{pr}}{\phi_d F_y (2W_i) (d_b - t_{fb})}$$

Ecuación 3-13 Tamaño de la soldadura

Resistencia de diseño a tracción de la T inferior: Fluencia a tracción, rotura a tracción y rotura por bloque a cortante:

$$\phi_d R_n = \phi_d A_g F_y \geq \frac{M_f}{d_b}$$

Ecuación 3-14 Fluencia a tracción

$$\phi_d R_n = \phi_d b_t t_{wt} F_y \geq \frac{M_f}{d_b}$$

Ecuación 3-15 Fluencia a tracción - explícita

$$t_{wt} \geq \frac{M_f}{\phi_d b_t F_y d_b}$$

Ecuación 3-16 Espesor de la placa –Fluencia a tracción

$$\phi_n R_n = \phi_n A_n F_u \geq \frac{M_f}{d_b}$$

Ecuación 3-17 Rotura a tracción

$$\phi_n R_n = \phi_n 0.85 b_t t_{wt} F_u \geq \frac{M_f}{d_b}$$

Ecuación 3-18 Rotura a tracción- explícita

$$t_{wt} \geq \frac{M_f}{\phi_n 0.85 b_t F_u d_b}$$

Ecuación 3-19 Espesor de la placa-Rotura

3

$$R_n = 0.6 F_u A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u A_{nt} \leq 0.6 F_y A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u A_{nt}$$

Ecuación 3-20 Rotura por bloque de cortante

Calcular el espesor de la soldadura de Filete entre el alma de la T y la aleta de la viga, resistencia del electrodo, ver ecuación 4-22:

$$\phi_n R_n = \phi_n F_w A_w = \phi_n 0.6 F_{EXX} 0.707 t_w (1.5 W_t + 2 W_l) \geq \frac{M_{pr}}{d_b - t_{fb}}$$

Ecuación 3-21 Resistencia del electrodo

$$W_l \geq \frac{M_{pr}}{2 \phi_n 0.6 F_{EXX} 0.707 t_w (d_b - t_{fb})} - \frac{1.5 W_t}{2}$$

Ecuación 3-22 Longitud del cordón longitudinal

Chequeo de los Estados límites: fluencia, rotura y bloque de cortante por tracción en el alma:

$$\phi_d R_n = \phi_d A_g F_y \geq \frac{M_f}{d_b}$$

Ecuación 3-23 Fluencia a tracción T superior

2

$$\phi_n R_n = \phi_n A_n F_u \geq \frac{M_f}{d_b}$$

Ecuación 3-24 Rotura a tracción

$$R_n = 0.6F_u A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u A_{nt} \leq 0.6F_y A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u A_{nt}$$

Ecuación 3-25 Rotura por bloque de cortante

3.1.1.4 Determinar espesor de la aleta de la T: Resistencia de diseño

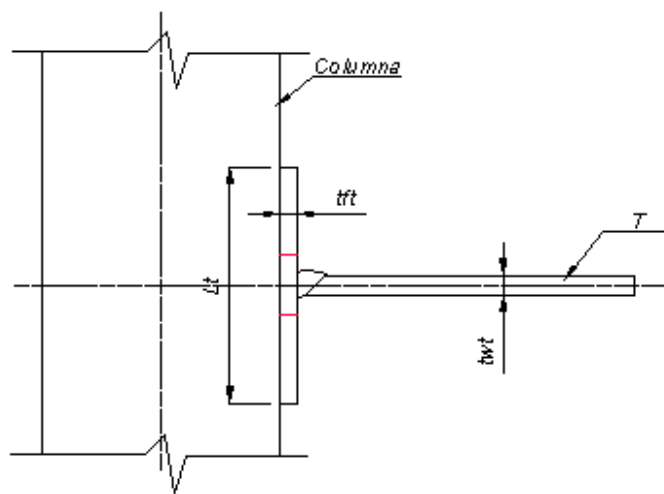


Figura 3-3 Dimensiones de las "T"

$$\phi_d R_n = \phi_d 0.6F_y A_g \geq \frac{M_f}{d_b}$$

Ecuación 3-26 Resistencia de diseño

$$\phi_d R_n = \phi_d 0.6F_y 2t_f b_c \geq \frac{M_f}{d_b}$$

Ecuación 3-27 Resistencia de diseño- explícita

$$t_{ft} \geq \frac{M_f}{\phi_d 0.6 F_y 2 b_c d_b}$$

Ecuación 3-28 Espesor de la aleta "T"

Unión entre la T y la cara de la columna: resistencia de la soldadura, del material base y verificación de la zona de panel (en caso de tener que reforzarla): resistencia al corte, Espesor de la zona de panel y dimensionamiento de las chapas de refuerzo

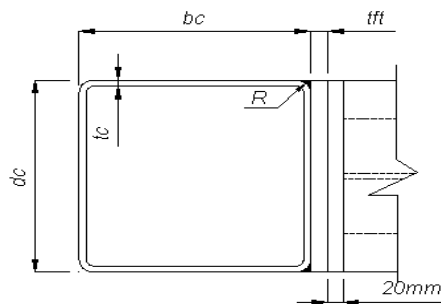


Figura 3-4 Dimensiones de la columna

$$\phi_n R_n = \phi_n A_w F_w \geq \frac{M_f}{d_b}$$

Figura 3-5 Resistencia de la soldadura

$$A_w = \frac{5}{8} R \cdot 2 \cdot Lt$$

Ecuación 3-29 Área de la soldadura

$$\phi_d R_n = (6k + N + 2t_{ft}) F_{yw} t_p \leq \frac{M_f}{d_b}$$

Ecuación 3-30 Resistencia del Material Base

$$t_p \geq \frac{M_f}{2(6k + t_{wt} + 2t_{ft})F_{yw}d_b}$$

3.1.1.5 verificación de la zona de panel

Ecuación 3-31 Espesor de la zona de panel

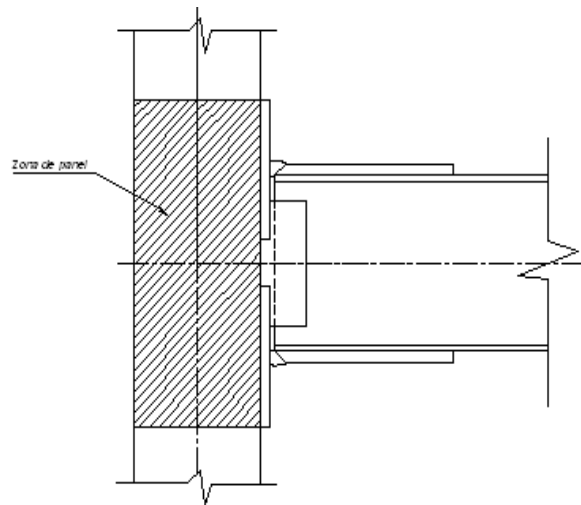


Figura 3-6 Zona de panel

$$\phi_v R_v = \phi_v 0.6 F_y d_c t_p \left[1 + \frac{3b_c t_c^2}{d_b d_c t_p} \right] \geq \frac{M_f}{d_b}$$

Ecuación 3-32 Resistencia al corte¹

$$t \geq \frac{d_z + w_z}{90}$$

Ecuación 3-33 Espesor de la zona de panel²

¹ AISC-2005 Sección J10

² AISC 2005 en 9.3b

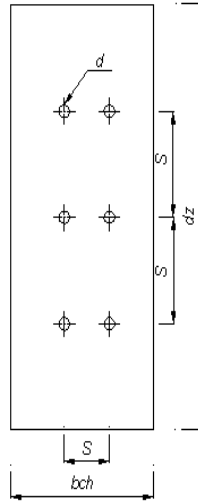


Figura 3-7 Dimensionamiento zona de panel - soldaduras de tapón

$$d \begin{cases} \geq t_{ch} + 8mm \\ \leq d_{min} + 3mm \\ \leq 2\frac{1}{4}t_w \end{cases}$$

Figura 3-8 Límites del diámetro de la soldadura tapón¹

$$t_w = \begin{cases} t_{ch}, & t_{ch} \leq 16 \text{ mm} \\ \frac{t_{ch}}{2}, & t_{ch} > 16 \text{ mm} \\ \text{Pero no menor que } 16 \text{ mm} \end{cases}$$

Diseño de soldadura: chapas de refuerzo y columna, filete transversal y longitudinal y abocinada

¹ AISC 2005 SECCION J2.3

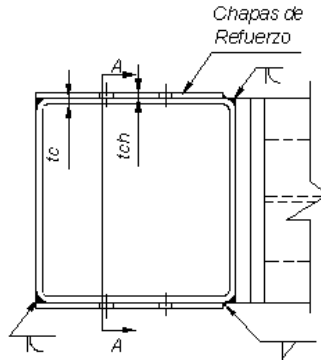


Figura 3-9 Soldaduras filete y tapón- Unión de chapas y "T" a la columna

$$\phi_w 0.6 F_{EXX} A_{efreqf} = \phi 0.6 F_y A_g$$

Ecuación 3-34 Soldadura de filete transversal

$$t_w \geq \frac{\frac{\phi_d F_y b_{ch} t_{ch}}{0.707 w_z} - 3 \frac{\pi d^2}{4}}{0.707 w_z}$$

Ecuación 3-35 Espesor de la soldadura

$$\phi_n 0.6 F_{EXX} (0.707 t_w 2L_t + 3 \frac{\pi d^2}{4}) \geq \phi_d 0.6 F_y d_z t_{ch}$$

Ecuación 3-36 Soldadura de filete longitudinal

$$t_w \geq \frac{\frac{\phi_d F_y d_z t_{ch}}{3} - \frac{\pi d^2}{4}}{0.707 * 2L_t} \phi_n F_{EXX}$$

Ecuación 3-37 Espesor de la soldadura¹

$$\phi_w 0.6 F_{EXX} A_{efreqf} \geq \phi_d 0.6 F_y A_g$$

Ecuación 3-38 Diseño Soldadura abocinada

$$A_{efreqf} = \frac{5}{8} R * 2L_t + 3 \frac{\pi d^2}{4}$$

Ecuación 3-39 Área de la soldadura abocinada

$$\phi_n 0.6 F_{EXX} \left(\frac{5}{8} R * 2L_t + 3 \frac{\pi d^2}{4} \right) \geq \phi_d 0.6 F_y d_z t_{ch}$$

Ecuación 3-40 Resistencia-soldadura abocinada

$$\phi_n 0.6 F_{EXX} \left(\frac{5}{2} t_c L_t + 3 \frac{\pi d^2}{4} \right) \geq \phi_d 0.6 F_y d_z t_{ch}$$

Ecuación 3-41 Resistencia - Soldadura abocinada -explícita

¹ Delimitar a las dimensiones máximas y mínimas establecidas en la Tabla J 2.4 AISC 2005

3.1.1.6 Diseño de placa cortante

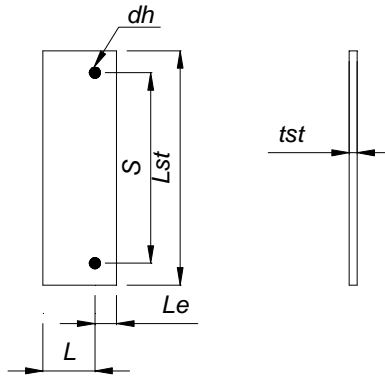


Figura 3-10 Dimensiones Placa Cortante

$$\frac{b_c}{t_c} \leq \lambda_{ps}$$

Ecuación 3-42 Relación ancho espesor¹

Cuando:

$$C_a = \frac{P_u}{\phi_b P_y} \leq 0.125$$

Ecuación 3-43 Coeficiente "Ca "

Entonces

$$\lambda_{ps} = 3.14 \sqrt{\frac{E_s}{F_y} [(1 - 1.54 C_a)]}$$

Ecuación 3-44 Relación ancho espesor-explicita

¹ Tabla I-8-1 AISC

3.1.1.6.1 Chequeo pernos tipo A307: Aplastamiento en loa agujeros, cortante en los pernos

$$\phi R_n = \phi 2.4 d_h t_{st} F_u$$

Ecuación 3-45 Aplastamiento en los agujeros

$$\phi R_n = \phi 0.5 F_u m A_b$$

Ecuación 3-46 Cortante en los pernos

3.1.1.6.2 Dimensionamiento Placa Cortante (FEMA)

$$l_{st} = d_b - 2k - 50 \text{ mm}$$

Ecuación 3-47 Longitud Placa Cortante

$$L_e \begin{cases} \geq 19 \text{ mm}, & \text{Tabla F.2.10} \\ \geq 1.5 d_b = 19 \text{ mm}, & \text{F.2.10.3.10} \end{cases}$$

Ecuación 3-48 Longitud mínima al borde¹

$$L \geq L_e + a \text{ (mm)}$$

Ecuación 3-49 Distancia del eje de perforación hasta la aleta de la T

Chequeo: Resistencia a la rotura por cortante, a la fluencia por cortante

$$\phi_n R_n = \phi_n 0.6 F_u A_{nv} \geq V_f$$

Ecuación 3-50 Resistencia a la rotura por cortante

¹ NSR 98 Tabla F 2.10

$$A_{nv} = (d_b - 2(d_h + 3 \text{ mm}))t_{wb}$$

Ecuación 3-51 Área neta sometida a cortante

$$\phi_d R_n = \phi_d 0.6 F_y A_g \geq V_f$$

Ecuación 3-52 Resistencia a la fluencia por cortante

$$A_g = d_b t_{wb}$$

Ecuación 3-53 Área bruta sometida a corte

Diseño soldadura de filete entre viga y placa de cortante

$$\phi_w 0.6 F_{EXX} A_{efreq_f} = \phi 0.6 F_y A_g$$

Ecuación 3-54 Capacidad a cortante

$$\phi_n 0.6 F_{EXX} 0.707 t_w L_{st} = \phi_d 0.6 F_y L_{st} t_{st}$$

Ecuación 3-55 Capacidad a cortante -explícita

$$t_w = \frac{\phi_d F_y t_{st}}{\phi_n F_{EXX} 0.707}$$

Ecuación 3-56 Tamaño de la soldadura

$$\phi_n R_n = \phi_n F_w A_w = \phi_n 0.6 F_{EXX} 0.707 t_w L_{st} \geq V_f$$

Ecuación 3-57 Resistencia de la soldadura

3.1.1.6.3 Estados límites PLACA CORTANTE:

Resistencia a la rotura por cortante, a la fluencia por cortante y a la fluencia por tracción

$$\phi_n R_n = \phi_n 0.6 F_u A_{nv} \geq V_f$$

Ecuación 3-58 Resistencia a la rotura por cortante

$$A_{nv} = [l_{st} - 2(d_h + 3mm)] t_{st}$$

Ecuación 3-59 Área neta sometida a corte

$$\phi_d R_n = \phi_d 0.6 F_y A_g \geq V_f$$

Ecuación 3-60 Resistencia a la fluencia por cortante

$$A_g = l_{st} t_{st}$$

Ecuación 3-61 Área bruta sometida a cortante

$$\phi_d M_n = \phi_d F_y S_x \geq M_u = V_f e_x$$

Ecuación 3-62 Resistencia a la fluencia por tracción

Diseño de la soldadura de filete entre placa de cortante y columna

Tamaño

$$\phi_w 0.6 F_{EXX} A_{efreq_f} = \phi 0.6 F_y A_g$$

Ecuación 3-63 Capacidad de la soldadura: Placa Cortante y Columna

$$\phi_n 0.6 F_{EXX} 2(0.707 t_w L_{st}) = \phi_d 0.6 F_y L_{st} t_{st}$$

Ecuación 3-64 Capacidad de la soldadura: Placa Cortante y Columna- explícita

$$t_w = \frac{\phi_d F_y t_{st}}{\phi_n F_{EXX} 1.414}$$

Ecuación 3-65 Tamaño de la soldadura

$$\phi R_n = C C_1 q t_w l \leq V_f$$

Ecuación 3-66 Resistencia de la soldadura¹

Llevando a cabo el procedimiento de diseño planteado anteriormente, se obtiene finalmente:

3.1.2 Dimensionamiento de las “T”

Ver figura 5-1, 5-2 y 5-3

¹ LRFD 1999 Tabla 8-38

Las "T"	
Lt (mm)	180
tft (mm)	12,7
twt (mm)	12,7
Lh (mm)	350
wt1 (mm)	47
wt2 (mm)	47
Wl	200

Figura 3-11 Dimensiones de las "T"

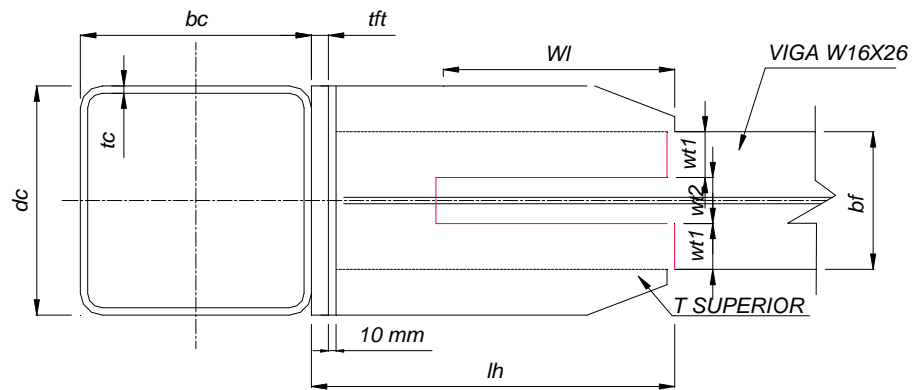


Figura 3-12 Configuración y acotado de las "T"

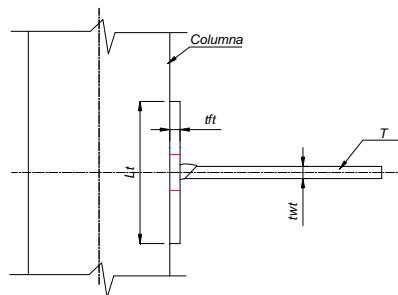


Figura 3-13 Acotado en perfil de las "T"

3.1.3 Dimensionamiento de la Placa Cortante

Ver figura 5-4 y 5-5

Placa Cortante	
L_{st} (mm)	200
L_{st}' (mm)	227
t_{ft} (mm)	12,7
t_{st} (mm)	6
S (mm)	100
dh (mm)	12,7
L (mm)	50
Le (mm)	25

Figura 3-14 Dimensiones de la Placa Cortante

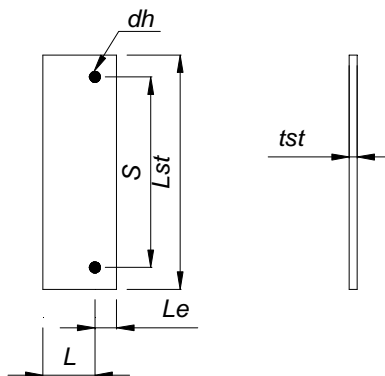


Figura 3-15 Acotado de la Placa Cortante

3.1.4 Dimensionamiento de las Chapas de refuerzo

Chapas de refuerzo	
dz (mm)	600
bch (mm)	280
S1 (mm)	90
S2 (mm)	100
tch (mm)	6,4
d (mm)	17,35

Figura 3-16 Dimensiones de las Chapas de refuerzo

3.1.5 Tamaño de Soldaduras

Filete			
Proceso: SMAW			
Electrodo	E7018	Parámetros	
Alma de la T inferior con la Aleta de la viga		tw (mm)	8
		Wi (mm)	325
Alma de la T superior con la Aleta de la viga		tw (mm)	8
		Wt1/2 (mm)	47
		Wl (mm)	200
Chapa de refuerzo con la Columna	Transversal	tw (mm)	6
	Longitudinal	tw (mm)	6
Alma de la viga con la Placa cortante		tw (mm)	6
Columna con la Placa Cortante		tw (mm)	5

Figura 3-17 Tamaños de las Soldaduras de Filete

Abocinada
Proceso: GMAW
Resistencia 70 ksi
Aleta de la T con la Columna
Chapa de refuerzo con la Columna

Tabla 3-4 Tipo de soldadura abocinada

3.2 Fase de Análisis

Se evalúa el modelo en un software de análisis, Ansys, para la verificación de las condiciones de borde, de apoyo, ver figura 3-18

1. Se debe verificar la continuidad del enmallado
2. Se trata de un análisis bajo cargas pseudo-estáticas / pseudo-dinámicas, dado que la velocidad de aplicación de la carga variante en ciclos es muy baja.
3. Se efectúa con propiedades No lineales de los materiales, ya que el interés está en ver la plastificación de la misma.

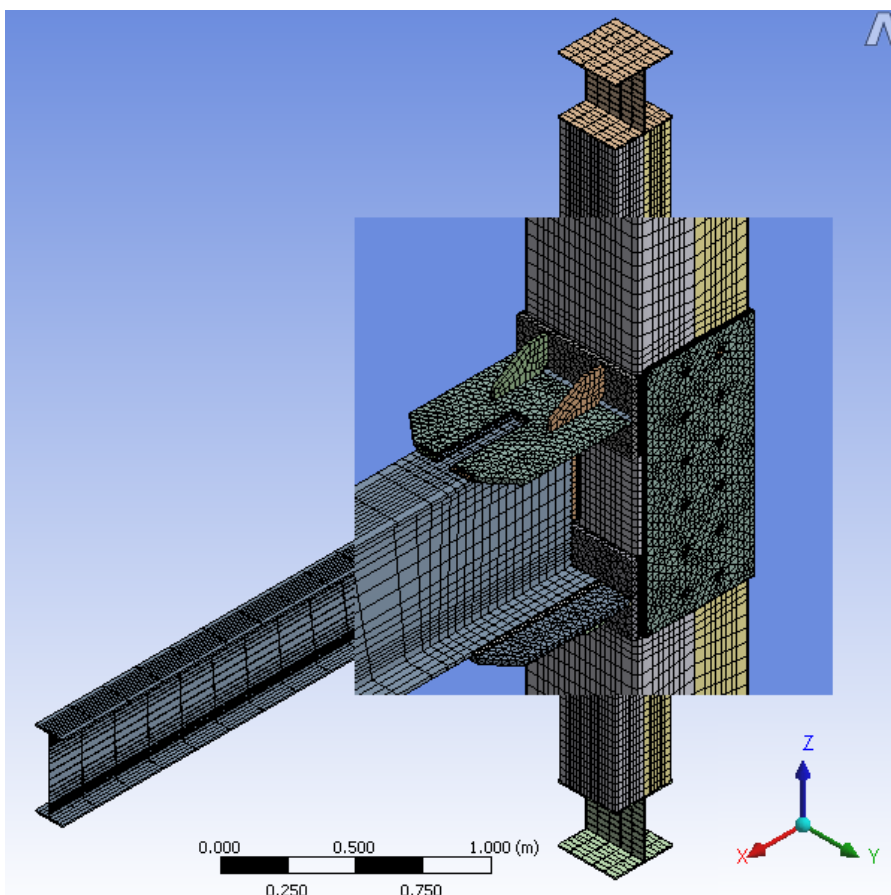


Figura 3-18 Enmallado del modelo

De acuerdo al modelo desarrollado, se tiene coherencia entre la condición de borde teórica, matemática y experimental. En la realizada en Ansys se dispone un empotramiento en la base del apoyo (sección I) y se restringe el desplazamiento de la aleta superior permitiendo que el espécimen rote gracias al alma.

3.3 Fase de Fabricación

De acuerdo a los esquemas contenidos en los Anexos, correspondientes al montaje en el laboratorio y el dimensionamiento de la conexión; se dispone de lo necesario para el mismo.

3.4 Fase de Prueba

3.4.1 PROTOCOLO DE CARGA _Software del Actuador MTS

3.4.1.1 Inicio: Station Manager

Es un software diseñado para controlar al Actuador MTS de forma óptima, se recomienda encender la Estación antes de dar inicio al programa. La interfaz de inicio se puede visualizar en la figura 8.

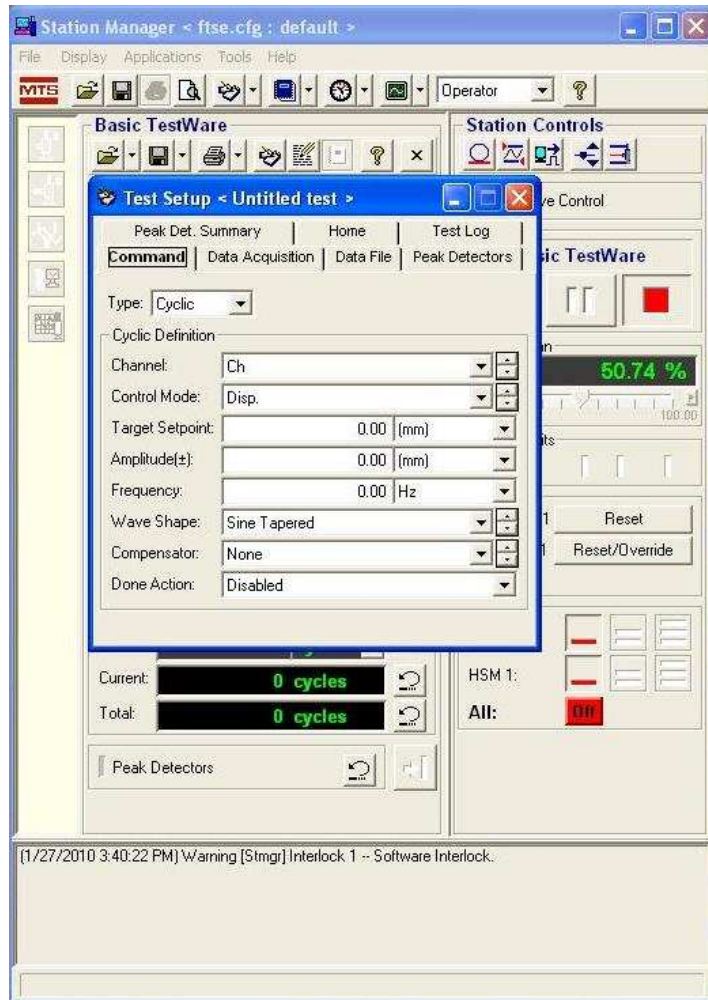


Figura 3-19 Ventana de inicio Station Manager

3.4.1.2 Condición inicial del Software

Para la protección y el correcto funcionamiento del equipo se debe realizar las siguientes revisiones:

Para realizar el control desde el software, asegurarse de activar Exclusive Control y Manual Control, respectivamente en las figuras 3-20 y 3-21

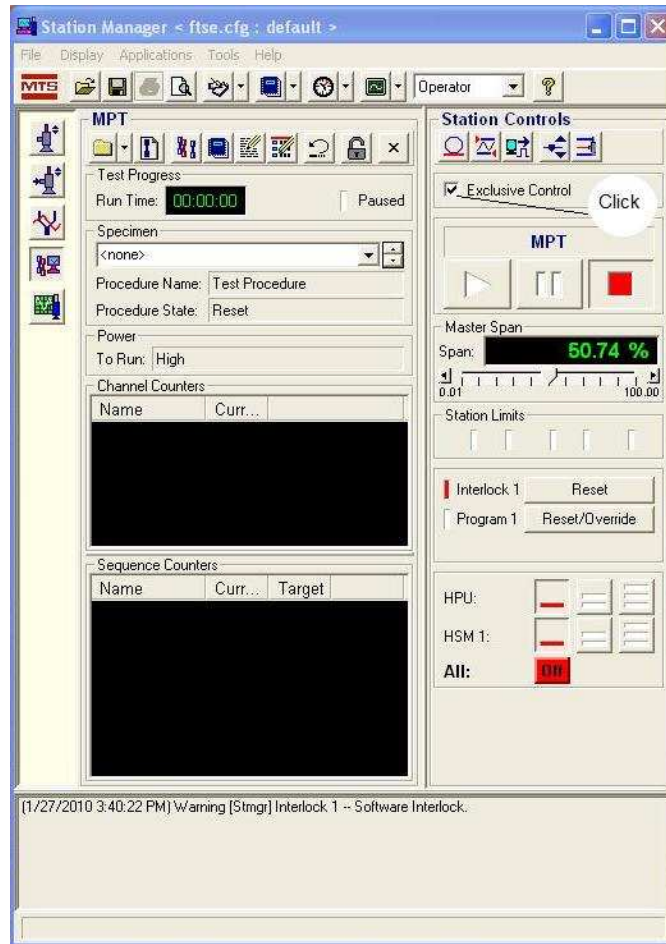


Figura 3-20 Exclusive Control



Figura 3-21 Activación del Manual Control

- Cerciorarse de las Unidades de trabajo, ver figuras 3-22 y 3-23

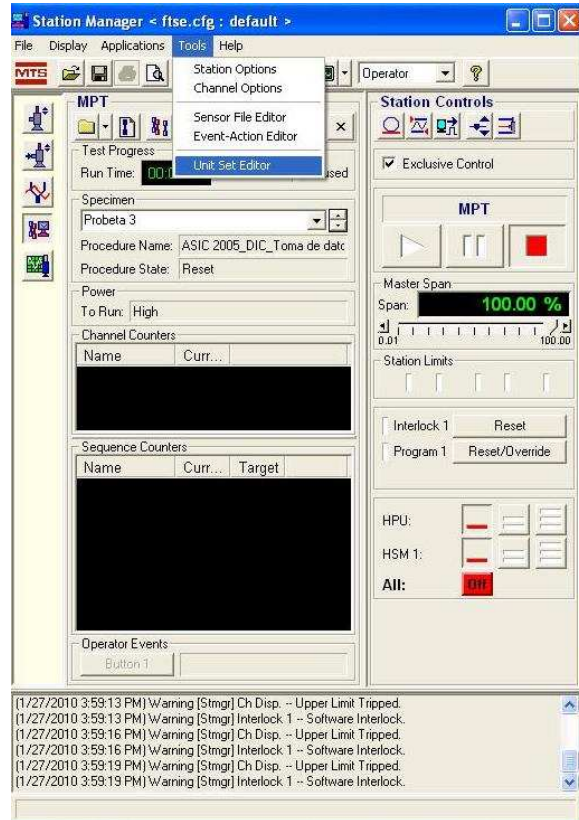


Figura 3-22 Definir Unidades Tools/Unit Set Editor

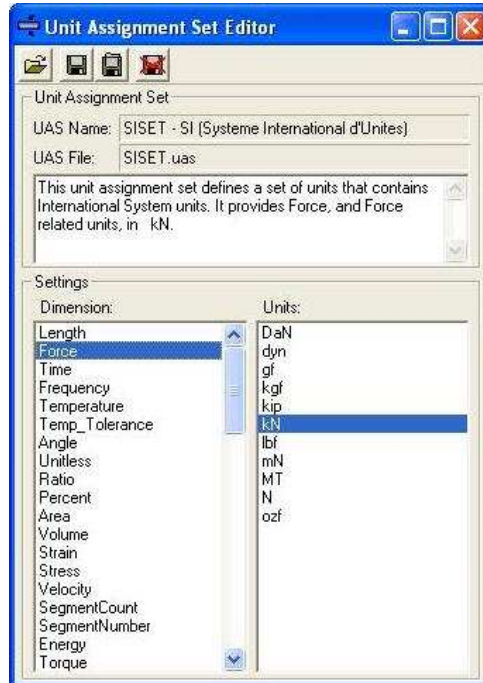


Figura 3-23 Unit Assignment Set Editor

- Verificar los límites superior e inferior para la fuerza y el desplazamiento respectivamente, ver figura 3-24; este permite mantener al equipo en un rango adecuado de trabajo.



Figura 3-24 Detectors

- Mantener abiertas las ventanas Meters y la Signal Auto permiten visualizar tanto los cambios en desplazamiento y en fuerza instantáneos, y “tarar” las dos formas de control en el punto de arranque, respectivamente, ver figuras 3-25 y 3-26



Figura 3-25 Meters



Figura 3-26 Signal Auto Offset

3.4.1.3 MPT_ Procedure Editor

Existe una herramienta de programación, el MPT el cual permite desarrollar un algoritmo confiable del test a realizar, tiene una paleta de herramientas adicional que permite desarrollar paso a paso el control por carga o desplazamiento en el tiempo, ver figura 3-27.

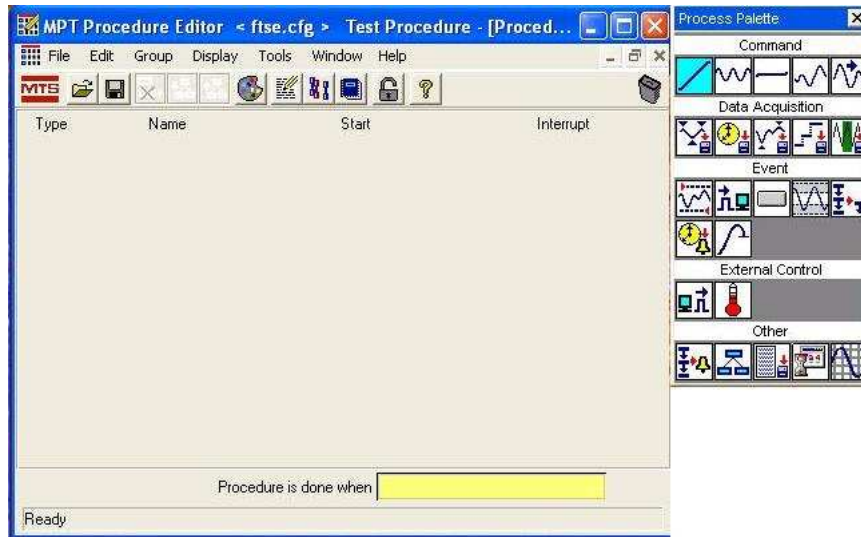


Figura 3-27 MPT Procedure Editor and Process Palette

En la ventana Process Palette, se pueden ver cuatro tipo de botones: Command, Data Acquisition, External Control y Other.

- Command: Permite definir el tipo de curva que seguirá el desplazamiento o fuerza, el tiempo, frecuencia y /o ciclos. Por ejemplo: Segment Command Parameters en la figura 3-28, Ciclic Command Parameters en la figura 3-29



Figura 3-28 Segment Command Parameters

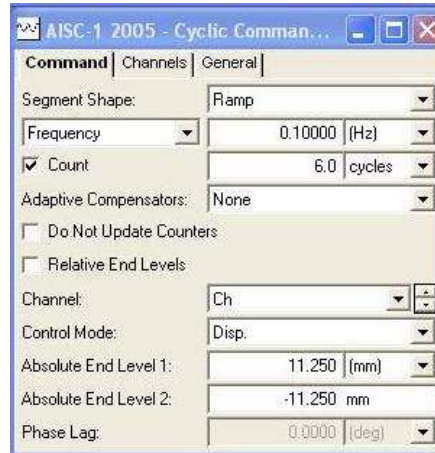


Figura 3-29 Cyclic Command Parameters

- Data Acquisition: Permite establecer los parámetros para la toma de datos, por ejemplo durante todo el proceso o solo los máximos y mínimos; un parámetro de especial cuidado para definir lo constituye el número de datos por segundo que se desean tomar, este puede estar delimitado por los demás dispositivos para las diferentes lecturas; también el Buffer Size para disponer un número de datos por prueba, ver figuras 3-30 y 3-31.

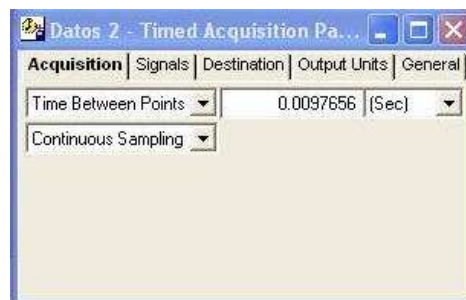


Figura 3-30 Time Acquisition Parameters

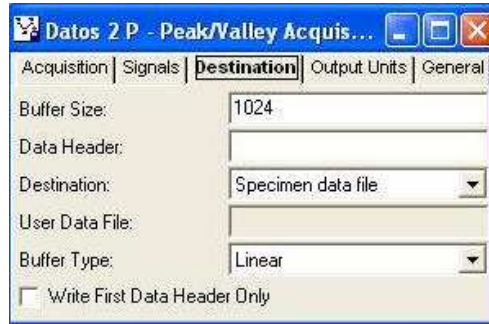


Figura 3-31 Peak/Vally Acquisition Parameters

- External Control: Permite adicionar otro tipo de control, como el de temperatura, pero requiere de otros dispositivos para tal fin.
- Other: Encontramos el graficador de las señales que hayan sido programadas en Data Display Parameters, ver figura 3-32, obteniendo durante la prueba una señal como la mostrada en la figura 3-33.

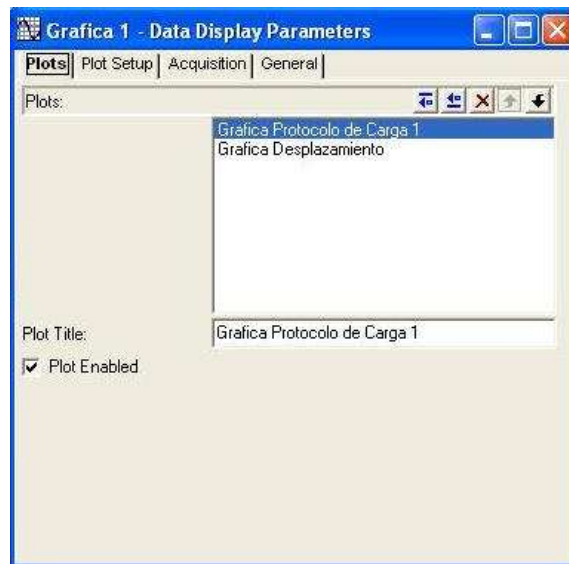


Figura 3-32 Data Display Parameters

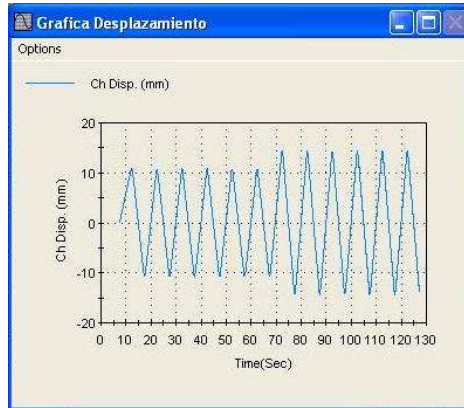


Figura 3-33 Visualización del Protocolo

3.4.1.4 Programación: Protocolo de carga AISC-2005

- El protocolo de carga de la AISC-2005, ver figura 3, realiza con control por desplazamiento en el tiempo mediante la repetición de una amplitud en un número determinado de ciclos. En la figura 3-34 se puede visualizar un esquema de programación, al agregar un botón se despliegan cuatro columnas: type, Name, Start e Interrupt; se dispone del nombre, el paso de programación anterior para dar inicio y del paso en el que debe terminar el proceso, respectivamente.

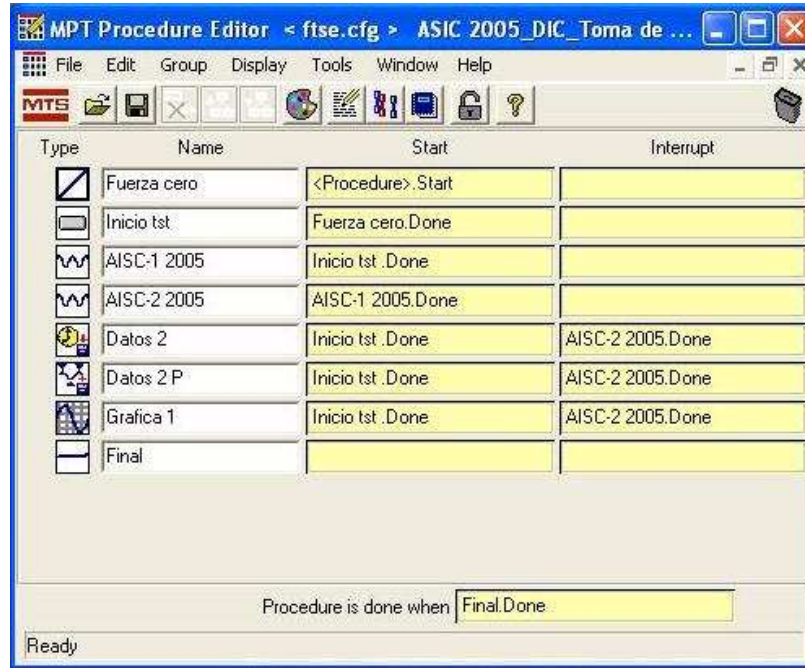


Figura 3-34 Programación de una parte del Protocolo de Carga

- Para ejecutar el algoritmo programado es necesario crear un Specimen en la barra de herramientas del MPT, ver figura 24, a partir de este se desprende una ventana donde le será asignado el nombre, por ejemplo “Probeta 3” e incluso direccionar los datos a una ubicación específica tal como lo muestra las figuras 3-35, 3-36 y 3-37



Figura 3-35 Visualización del botón para definir specimen

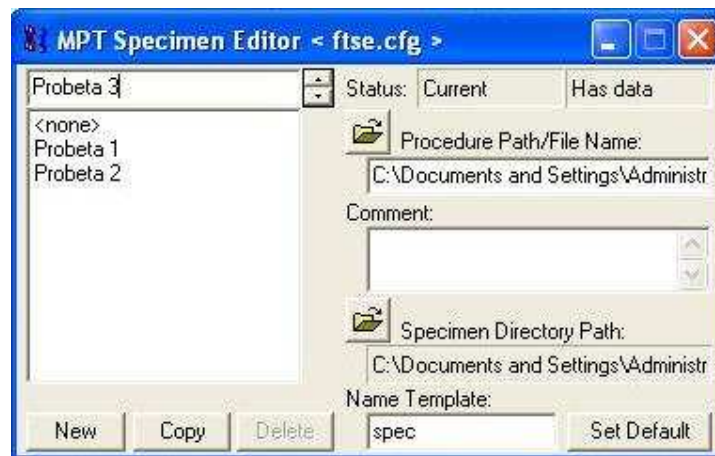


Figura 3-36 Specimen Editor



Figura 3-37 Definición de carpeta para grabar resultados

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

1. Se propuso un procedimiento de evaluación experimental para conexiones
2. Se implementó el procedimiento para la evaluación de conexiones en el Laboratorio de Estructuras de la UIS.
3. Se aplicó la metodología a la conexión: Caso de Estudio

5 REFERENCIAS

A. Plumier & M.R. Agatino and A. Castellani C.A. Castiglioni & C. Resistance of steel connections to low-cycle fatigue [Conference] // 11th European Conference on Earthquake Engineering 1998. - Balkema Rotterdam : [s.n.], 1998. - ISBN 90-5410-982-3.

ACERO Hernán Precalificación de una conexión soldada a momento viga-columna para aplicaciones en edificios metálicos [Libro]. - Santiago de Cali : Trabajo de grado-Maestría, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, 2005.

AIS Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente [Libro]. - Santa Fe de Bogotá D.C. : [s.n.], 1998. - Vols. ISBN 958-963-94-0-2.

American Institute of Steel Construction AISC. Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment- Frame for Seismic Applications [Book]. - 2005.

CHENG-CHIG Chen, JEN-MING Lee and MING-CHIH Lin Behaviour of steel moment connections with a single flange rib [Journal] // Elsevier. - [s.l.] : Engineering Structures, 2003. - Vol. 25.

CHEOL-HO Lee [et al.] Cyclic seismic testing of steel moment connections reinforced with welded straight haunch [Journal] // Elsevier. - [s.l.] : Engineering Structures, 2003. - Vol. 25.

CHEOL-HO Lee and JAE-HOON Kim Seismic design of reduced beam section steel moment connections with bolted web attachment [Journal] // Elsevier. - [s.l.] : Journal of Constructional Steel Research, 2006. - Vol. 63.

CHI Brandon, UANG Chia-Ming and CHEN Albert Seismic rehabilitation of pre-Northridge steel moment connections A case study [Journal] // Elsevier. - [s.l.] : Journal Constructional Steel Research, 2005. - 62.

CHIA-MING Uang, DUANE Bondad and CHEOL-HO Lee Cyclic performance of haunch repaired steel moment connections experimental testing and analytical modeling [Journal] // Elsevier. - San Diego y Masan : Engineering Structures, 1998. - 4-6 : Vol. 20.

CHNG-CHIH Chen, CHUN-CHOU Lin and CHIA-LIANG Tsai Evaluation of reinforced connections between steel beams and box columns [Journal] // Elsevier. - [s.l.] : Engineering Structures, 2004. - Vol. 26.

CHUNG-CHE Chou and CHIA-MING Uang Cyclic performance of a type of steel beam to steel-encased reinforced concrete column moment connection [Journal] // Elsevier. - [s.l.] : Journal of Constructional Steel Research, 2001. - Vol. 58.

Federal Emergency Management Agency FEMA 350 Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings [Book]. - Washington, DC. : [s.n.], June, 2000.

GOMEZ A. Rubén D. y ZAPATA D. Milton J. Calificación de un sistema de conexión sísmica para pórticos resistentes a momentos en acero estructural-Tesis [Libro]. - Medellín : Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas, 2006.

K. C. Tsai, SHIUN Wu y E. P. Popov Cyclic performance of steel beam-column moment joints [Publicación periódica] // Elsevier. - Taiwan : Engineering Structures, 1995. - 8 : Vol. 17.

KOJI Azuma YOSHIAKI Kurobane, YUJi Makino Cyclic testing of beam-to-column connections with weld defects and assessment of safety of numerically modeled connections from brittle fracture [Journal] // Elsevier. - [s.l.] : Engineering Structures, 1999. - Vol. 22.

KYUNG-JAE Shin YOUNG-JU Kim , YOUNG-SUKK Oh, TAE-SUP Moon Behavior of welded CFT column to H beam connections with external stiffeners [Journal]. - South Korea : Engineering Structures, 2004. - Vol. 26.

McCormac, J.C. Diseño de Estructuras de Acero- Método LRFD [Libro].

PABÓN Camilo F y POSADA Juan C. Diseño y ensayo de conexiones viga-columna en estructuras de acero [Libro]. - Medellin : Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Ingeniería Civil, 2004.

RICLES J.M. [et al.] Development of improved welded moment connections for earthquake-resistant design [Journal]. - [s.l.] : Journal Constructional Steel Research, 2001. - 58.

RICLES James M. [et al.] Ductile details for welded unreinforced moment connections subject to inelastic cyclic loading [Journal] // Elsevier. - [s.l.] : Engineering Structures, 2002. - 25.

RODRIGUEZ R. Sandra Y. y HERNÁNDEZ Andrés F. Modelación de una conexión viga-columna en pórticos de acero resistentes a momento con análisis no lineal, para

aplicaciones sísmicas- Tesis [Libro]. - Medellín : Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, 2008.

SEM, Society for Experimental Mechanics, INS. Handbook on Structural Testing [Book]. - [s.l.] : The fairmont press, INC, 1993.

SHENG-JIN Chen and Y.C Chao Effect of composite action on seismic performance of steel moment connections with reduced beam sections [Journal] // Elsevier. - [s.l.] : Journal of Constructional Steel Research, 2000. - Vol. 57.

T.D. Righiniotis, E. Omer and Elghazouli A.Y. A simplified crack model for weld fracture in steel moment connections [Journal] // Elsevier. - [s.l.] : Engineering Structures, 2002. - Vol. 24.

6 ANEXOS

Planos, esquemas de diseño y montaje

Soldaduras

<u>Filete</u>				<u>Abocinada</u>		<i>Parámetros</i>
Proceso: SMAW				Proceso: GMAW		
Electrodo	E7018	<i>Parámetros</i>		Resistencia	70 ksi	
Alma de la T inferior con la Aleta de la viga		tw (mm)	8	Aleta de la T con la Columna		
		Wl (mm)	325	Chapa de refuerzo con la Columna		
Alma de la T superior con la Aleta de la viga		tw (mm)	8			
		Wt1/2 (mm)	47			
		Wl (mm)	200			
Chapa de refuerzo con la Columna	Transversal	tw (mm)	8			
	Longitudinal	tw (mm)	8			
Alma de la viga con la Placa cortante		tw (mm)	8			
Columna con la Placa Cortante		tw (mm)	5			

