



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE UNA INSTALACIÓN EXPERIMENTAL
PARA EL ENSAYO DE CONEXIONES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ANDRÉS ANTONIO NÚÑEZ ARCE

PROFESOR GUÍA:

RICARDO HERRERA MARDONES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

JUAN FELIPE BELTRÁN MORALES

RAMÓN MONTECINOS CONCHA

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto Fondecyt N°1140628

SANTIAGO DE CHILE

2016

RESUMEN DE MEMORIA PARA OPTAR AL

TÍTULO DE: Ingeniero Civil con mención en Estructuras, Construcción y Geotecnia.

POR: Andrés Antonio Núñez Arce.

FECHA: 25/04/2016

PROFESOR GUÍA: Ricardo Herrera Mardones.

DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE UNA INSTALACIÓN EXPERIMENTAL PARA EL ENSAYO DE CONEXIONES

Actualmente se ha construido un nuevo laboratorio de estructuras entre el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile e IDIEM. Dicho laboratorio, debe ser implementado con instrumentos que permitan estudiar y cuantificar diversos esfuerzos y resistencias de elementos estructurales. Es por ello, que el objetivo del presente trabajo de título es diseñar, fabricar y montar una instalación experimental, en la cual se puedan medir directamente los esfuerzos, rotaciones y deformaciones comprometidos en conexiones y elementos presentes en una configuración viga - columna.

Este trabajo de título, incluye el diseño estructural de las diferentes componentes de la instalación, tales como anclajes, uniones a la probeta de ensayo y elementos secundarios que permitan el correcto ensayo de la probeta en cuestión. Además, se suma la instrumentación necesaria para medir los esfuerzos, rotaciones y deformaciones producidas por la aplicación de fuerzas, tanto en las uniones como en el punto de aplicación de estas y en los extremos de la probeta. Del diseño se desprende el dimensionamiento de diferentes componentes, las cuales debieron enviarse a fabricar a una maestranza asociada.

El desarrollo de esta instalación experimental comprende la adaptación a un sistema de control ya existente en equipos del Departamento de Ingeniería Civil. De esta manera se instrumentará y calibrará la instalación de modo de que se puedan obtener y los posibles estados críticos de las conexiones de diferentes probetas en estudio, en donde, estas están diseñadas para reproducir ciertos modos de falla que se estudiarán.

Se compara la instalación diseñada con otras instalaciones similares en Chile y el mundo, dado que este tipo de probetas han sido estudiadas en diferentes establecimientos de investigación. Esto sumado a que se confecciona un manual de usuario, para el correcto y seguro uso de la instalación experimental, esto debido a la magnitud de las fuerzas que se aplicarán a la probeta. Se debe mencionar que el diseño se realizó con un factor de utilización bajo, además, en el montaje se realizan algunas recomendaciones para tener en consideración en el diseño. Y se muestra hasta el punto en que se logró realizar el montaje de la instalación experimental.

A mi familia y

a Javiera mi compañera

Agradecimientos

Primero agradecer a Dios por darme la posibilidad de estudiar lo que siempre fue mi sueño y darme fuerzas cuando más lo necesitaba.

Agradezco a los profesores de mi comisión profesor Ricardo Herrera, profesor Juan Felipe Beltrán y profesor Ramón Montecinos quienes con su experiencia, consejos, motivación y prestancia guiaron este trabajo de título hasta este punto.

Al profesor de laboratorio Pedro Soto y a Víctor quienes al momento de necesitarlos tanto para realizar calibraciones, mediciones y trabajos en el laboratorio siempre se mostraron prestos a ofrecer su ayuda.

Un agradecimiento especial a Javiera, compañera, amiga y cómplice, gracias por confiar en mí y darme apoyo incondicional en todo momento sobre todo cuando más lo necesité. Y porque sin ti esta memoria sería ilegible.

Al equipo de este proyecto, conformado por Claudio y Constanza quienes compartieron sus conocimientos y ayudaron a llevar a cabo el diseño y montaje de la instalación experimental.

Al “Team muros” compuesto por Sebastián, Ignacio y Ernesto quienes al momento del montaje e instrumentación no dudaron en dar una mano.

A mis amigos que de una u otra forma estuvieron involucrados en el desarrollo de este trabajo y que si los nombrara a todos sería muy extenso y podría cometer alguna omisión injusta.

Y dar gracias a los míos por estar incondicionalmente conmigo durante todos estos años de estudio. Gracias papá, mamá, Roxana, Cynthia, Alonso, Abuelitos Gabriel y María, tíos, primos y a los que ya no están, en especial a mi abuelita Olga. Agradecerles por el cariño, compañía y apoyo en todo momento.

Tabla de Contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Alcances por Capítulo	3
2. Revisión de Antecedentes.....	5
2.1. Marco Teórico	5
2.2. Normas a Utilizar.....	7
2.3. Laboratorio de Estructuras	8
2.4. Actuador Hidráulico	10
2.5. Gatos Hidráulicos	12
2.6. Instrumentos de medición	13
2.6.1. <i>Sensor de desplazamiento (LVDT)</i>	13
2.6.2. <i>Sensor de rotación (Inclinómetro)</i>	16
2.6.3. <i>Celda de Carga U15</i>	17
2.7. Calibración de LVDT	18
2.8. Calibración de Inclinómetros	19
2.9. Calibración de Celdas de Carga	20
2.10. Sistema de Adquisición de Datos.....	21
2.11. Sistema de Actuador Hidráulico	22
2.12. Sistema Gatos Hidráulicos	24
2.13. Controlador PID	24
2.14. Instalaciones Experimentales Similares	26
3. Diseño Experimental	32
3.1. Parámetros de diseño	32
3.2. Límites de Medición	33

3.2.1.	<i>Solicitaciones Máximas</i>	33
3.2.2.	<i>Deformaciones</i>	36
3.2.3.	<i>Velocidades de Aplicación de Cargas</i>	37
3.3.	<i>Materiales</i>	37
4.	<i>Instalación Experimental</i>	39
4.1.	<i>Descripción del Mecanismo de Acción</i>	39
4.2.	<i>Elementos que Componen el Sistema Estructural</i>	41
4.2.1.	<i>Conexión Base-Columna</i>	41
4.2.2.	<i>Compresión Axial de la Columna</i>	43
4.2.3.	<i>Conexión Actuador-Columna</i>	45
4.2.4.	<i>Conexión Vigas-Losa</i>	47
4.2.5.	<i>Restricción Fuera del Plano</i>	49
5.	<i>Sistema de Control y Adquisición de Datos</i>	51
5.1.	<i>Introducción al Sistema de Control y Adquisición de Datos</i>	51
5.1.1.	<i>Adquisición y distribución de señales</i>	51
5.2.	<i>Calibración de los sistemas de control</i>	57
5.2.1.	<i>Calibración del sistema control del actuador hidráulico</i>	57
5.2.2.	<i>Calibración del sistema de control de los gatos hidráulicos</i>	57
5.3.	<i>Instrumentación en el Ensayo</i>	58
6.	<i>Montaje Experimental</i>	62
7.	<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>	72
	<i>Bibliografía</i>	74
	<i>Anexos</i>	76
Anexo A	76
Anexo B	78
Anexo C	163

Anexo D.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo E.....	162

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Protocolo de carga (SAC Join Venture).....	36
Tabla 5.1. Características de entrada de la tarjeta de adquisición NI 9235	56
Tabla 5.2. Características de entrada de la tarjeta de adquisición NI 9237	56
Tabla 5.3. Secuencia de canales del sistema de adquisición de datos.....	61

Índice de Figuras

Figura 2-1 Edificio ante cargas sísmicas y gravitacionales	6
Figura 2-2 Conexión totalmente soldada y conexión T-Stub [9].....	7
Figura 2-3 Ubicación del Laboratorio de Estructuras dentro de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.....	8
Figura 2-4 Muro y Losa de Reacción del Laboratorio de Estructuras.....	9
Figura 2-5 Puente grúa del Laboratorio de Estructuras.....	10
Figura 2-6 Actuador Hidráulico.....	11
Figura 2-7 Gatos hidráulicos	12
Figura 2-8 Bomba de aceite gatos hidráulicos	13
Figura 2-9 LVDT de la instalación experimental.....	14
Figura 2-10 Embobinados primario y secundarios y núcleo ferromagnético de un LVDT	15
Figura 2-11 Rango de linealidad de un LVDT	15
Figura 2-12 Inclinómetro de la instalación experimental y rango de linealidad	16
Figura 2-13 Características del inclinómetro	16
Figura 2-14 Celda de carga U15 HBM	17
Figura 2-15 Calibración de LVDT	18
Figura 2-16 Calibración Inclinómetros.....	19
Figura 2-17 Calibración Celdas de Carga U15 e Interface.....	20
Figura 2-18 Componentes de un sistema de ensayos	22

Figura 2-19 Componentes del actuador hidráulico y sensores.....	23
Figura 2-20 Bomba del actuador hidráulico.....	23
Figura 2-21. Instalación experimental de Engelhardt [15]	28
Figura 2-22 Falla por rótula plástica en un espécimen [14].....	28
Figura 2-23 Relación entre el número de ciclos y el ángulo θ [14].....	29
Figura 2-24 Relación entre el desplazamiento de la columna Δ y la fuerza del actuador [14]	29
Figura 2-25 Relación entre θ y la fuerza del actuador [14].....	30
Figura 2-26 Relación entre la rotación plástica de la viga y el momento plástico [14]...30	
Figura 2-27 Relación entre la rotación plástica de la zona panel y el momento plástico [14]	31
Figura 3-1 Planta y elevación de edificio típico [17]	33
Figura 3-2 Esfuerzo Axial de la columna y apoyos rotulados ante una compresión en el eje “z” y carga puntual en el eje “x” en el extremo de la columna (rojo: Compresión, amarillo: Tracción, Utilizando el programa SAP2000)	34
Figura 3-3 Corte en la probeta cruciforme ante una compresión en el eje “z” y carga puntual en el eje “x” en el extremo de la columna (rojo: Corte negativo, Utilizando el programa SAP2000).....	34
Figura 3-4 Momento en la probeta cruciforme ante una compresión en el eje “z” y carga puntual en el eje “x” en el extremo de la columna (rojo: momento negativo, amarillo:momento positivo, Utilizando programa SAP2000)	35
Figura 3-5 Reacciones de la probeta cruciforme ante una compresión en el eje “z” y carga puntual en el eje “x” en el extremo de la columna	35
Figura 4-1 Instalación Experimental	40

Figura 4-2 Instalación experimental 3D	40
Figura 4-3 Conexión Base-Columna	41
Figura 4-4 Esquema del Pasador	42
Figura 4-5 Compresión Axial de la Columna	44
Figura 4-6 Sujeción de barras en Compresión Axial de la Columna	45
Figura 4-7 Conexión Actuador-Columna	46
Figura 4-8 Conexión Vigas-Losas	48
Figura 4-9 Marco de restricción fuera del plano	49
Figura 5-1 PLC actuador hidráulico	53
Figura 5-2 PLC gatos hidráulicos	53
Figura 5-3 Tarjetas de adquisición NI 9235 y NI 9237	54
Figura 5-4 Chasis de adquisición de datos	55
Figura 5-5 Disposición de LDVT en zona panel e inclinómetros	59
Figura 5-6 Disposición de LVDT en conexión rotulada	60
Figura 5-7 Disposición de LDVT y celda de carga en link rígido	60
Figura 5-8 Disposición celda de carga en viga de compresión axial	60
Figura 6-1 Posicionamiento de columnas	62
Figura 6-2 Viga del marco de restricción lateral	63
Figura 6-3 Espaciador conexión Actuador-Columna	63
Figura 6-4 Espaciador anclado al muro de reacción	64

Figura 6-5 Gussets de la instalación experimental.....	64
Figura 6-6 Montaje de perfiles cajón del marco de restricción fuera del plano.....	65
Figura 6-7 Perfiles Canal (puntales diagonales).....	65
Figura 6-8 Aplicación de Nivelante.....	66
Figura 6-9 Postensado de barras de anclaje sobre y bajo la losa	67
Figura 6-10 Posicionamiento de la Columna de la Probeta	68
Figura 6-11 Posicionamiento de Conexión Viga-Columna	68
Figura 6-12 Montaje de la Viga de la Probeta	69
Figura 6-13 Posicionamiento de Conexiones Superiores y Llave de Corte.....	69
Figura 6-14 Soportes LVDT.....	71

Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Motivación

En Julio de 1994 en la localidad de Northridge, California, Estados Unidos, ocurrió un terremoto 6.7 grados Richter, el cual evidenció que los códigos de diseño utilizados a esa actualidad tenían serias deficiencias, las cuales produjeron múltiples fallas en las conexiones de estructuras de acero. Estas deficiencias motivaron a que FEMA (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias, siglas en inglés) encargara un estudio de conexiones de acero para verificar qué tipo de conexiones era la óptima en edificaciones industriales compuestas por marcos de momento. Este estudio terminó en el reporte FEMA 350 [1].

En Chile, el terremoto del día 27 de Febrero de 2010, con epicentro ubicado frente a las localidades de Curanipe y Cobquecura (magnitud 8.8 Richter) produjo fallas en numerosas construcciones, viéndose afectadas una gran cantidad de instalaciones industriales que resultaron seriamente dañadas [2], algunas de las cuales estuvieron cerca de un mes sin producción [3]. Ante un sismo de esta magnitud, existen varios modos de falla en conexiones apernadas y soldadas, por los cuales las estructuras pueden sufrir daño.

En particular, para el diseño de marcos rígidos, se busca que el comportamiento estructural sea columna fuerte – viga débil, tal como lo resalta Swanson y León [4] y Swanson [5], en donde se hace énfasis en que la resistencia sea mayor cerca de la columna, y mediante un cambio de sección en la viga o utilizando conexiones apernadas, la resistencia de la viga sea menor.

El diseño de estructuras de acero en Chile, sigue las normas AISC 360 [6], AISC 341 [7] y NCh2369 [8]. Para zonas de sismicidad alta, la AISC 341, requiere conexiones

precalificadas en marcos especiales de momento. Es importante mencionar que en Chile hasta el momento no hay capacidad de ensayar conexiones a escala real.

En el Laboratorio de Estructuras del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile se necesita un equipo en donde se puedan ensayar y medir la resistencia de conexiones, giros y desplazamiento de las diferentes componentes de la probeta cruciforme de acero a ensayar.

Para el diseño se utilizaron algunas metodologías utilizadas por Bravo [9] y Nacif [10] , para la fabricación se usaron algunas técnicas expuestas por Barrientos [11] y para el montaje se utilizaron sistemáticas similares a Parra [12].

Mediante esta instalación experimental, se podrán comprobar si es que las resistencias usadas en el diseño de pernos y conexiones AISC 360, son suficientes para las solicitaciones como lo señala Swanson [5] en sus ensayos experimentales en conexiones T-Stub.

Para el diseño de los anclajes de esta instalación experimental se utilizó la AISC 360 definiendo la resistencia de estos elementos, en conjunto a la ACI 318 [13] para verificar las cargas que puede soportar la losa de hormigón. En donde dependiendo de la geometría y solicitaciones se pudieron dimensionar los diferentes apoyos de esta.

En el diseño de la instalación, tanto de anclajes como uniones, requiere que la instalación experimental descargue los esfuerzos hacia la losa y muro de reacción, esfuerzos que se generan debido a una carga puntual lateral y compresión axial en el extremo superior de la columna de la probeta los cuales generan deformaciones y esfuerzos (axial, corte y momento) en la conexión.

1.2. Objetivos

Objetivo General

El objetivo de este trabajo de título es diseñar, fabricar y montar una instalación experimental capaz de ensayar una unión viga - columna a escala real de manera eficaz, para así poder medir los esfuerzos generados por una fuerza cíclica cuasi estática en la conexión.

Objetivos Específicos

- Revisar el estado del arte en este tipo de instalaciones en Chile y en el mundo, a modo de realizar un contraste entre las tecnologías actuales y las existentes en nuestro país.
- Obtener un diseño óptimo y seguro de la instalación experimental.
- Elegir la instrumentación de la instalación experimental de tal manera que se puedan obtener todas las variables de interés.
- Montar la instalación experimental sin accidentes, por maniobras mal ejecutadas o descuidos en el ensamble de esta.
- Generar un manual de operación del sistema.

1.3. Alcances por Capítulo

La presente memoria consta de 7 capítulos, en los cuales se abordan los puntos relevantes para el desarrollo de este trabajo de título.

En el Capítulo 2 se muestra una revisión de documentos y antecedentes relevantes para el desarrollo de esta memoria. En este capítulo se muestran las normas y estándares que se utilizaron para realizar el diseño de las diferentes componentes de la instalación experimental; además, se muestra el lugar que se dispone para el emplazamiento del ensayo. Adicionalmente, en esta sección se muestran los elementos e instrumentos que se utilizan para llevar a cabo el montaje, ensaye, control y adquisición de datos de la instalación experimental y se explicitan los sistemas de

control que se utilizan en los diferentes instrumentos. Finalmente, se presenta el estado actual de instalaciones experimentales similares en Chile y el mundo.

En el Capítulo 3 se presentan los parámetros considerados para el diseño de la instalación experimental, se especifican las limitantes que posee en términos de carga, deformaciones, espaciales del laboratorio (alturas y dimensiones máximas) y velocidades de aplicación de cargas a las probetas cruciformes. Además, se muestran las características de los materiales utilizados para el desarrollo de la instalación experimental.

En el Capítulo 4 se describe detalladamente el mecanismo de acción para el ensayo de probetas cruciformes, se detallan los elementos que componen la instalación experimental, mostrando su funcionalidad, y adicionalmente, se referencian las ecuaciones con las cuales se llevó a cabo el diseño de todo el sistema y conexiones entre elementos.

En el Capítulo 5 se explicitan los alcances de este trabajo en el sistema de control y adquisición de datos, además de mostrar los elementos y tipo de control que se utiliza en los ensayos, teniendo también incluida la calibración de los elementos de control y adquisición de datos en los diferentes sistemas. Se presentan también la localización de los sensores para la instrumentación en la instalación experimental.

En el Capítulo 6 se muestra el procedimiento de montaje de la instalación experimental, indicando las precauciones y metodología de montaje sugerida para los próximos ensayos que se realizarán.

En el Capítulo 7 se realiza un análisis global de todo el trabajo desarrollado, enfocado al cumplimiento de los objetivos planteados en esta misma sección, entregando además algunas recomendaciones para el uso de esta instalación experimental y posibles mejoras a futuro.

Capítulo 2

2. Revisión de Antecedentes

2.1. Marco Teórico

La instalación experimental está basada en una modelación en dos dimensiones de una conexión viga-columna para un edificio de doce pisos, ante una solicitación tanto de peso propio como de carga sísmica, tal como lo muestra la Figura 2-1.

Para el desarrollo y dimensionamiento de la instalación experimental se utiliza una simplificación o modelación en dos dimensiones de un edificio con una planta típica de doce pisos de altura Figura 3-1. Para esta modelación en dos dimensiones; primero se debe escoger un eje perimetral resistente de la planta típica, luego, se elige una columna que no se encuentre en una esquina del edificio en planta, para finalmente, seleccionar un piso del edificio. Una vez determinadas las variables anteriores se puede diseñar la probeta cruciforme y al mismo tiempo, conocer los esfuerzos a los cuales está siendo sometida tanto por las cargas cíclicas (de un sismo), como gravitacionales (del peso propio).

Cuando un edificio está sometido a una carga lateral, en un modelo de dos dimensiones, se puede observar una deformación similar a la que aparece en la Figura 2-1 en donde se aprecian dos apoyos rotulados en los extremos de las vigas. Estos apoyos rotulados sin restricción de movimiento horizontal están modelados de este modo, debido a que, como el edificio está siendo afectado cíclicamente por un sismo, en la mitad de la viga de piso del edificio se forma un punto de inflexión, el cual se modela como si no tuviera movimiento vertical en el punto. De esta manera, en la probeta, las vigas que se conectan a la columna tienen la mitad de la distancia entre dos columnas contiguas.

En este caso, la carga gravitacional estará modelada con una compresión axial sobre la columna, y la carga de sismo estará modelada por una carga lateral en ambos sentidos del eje "x".

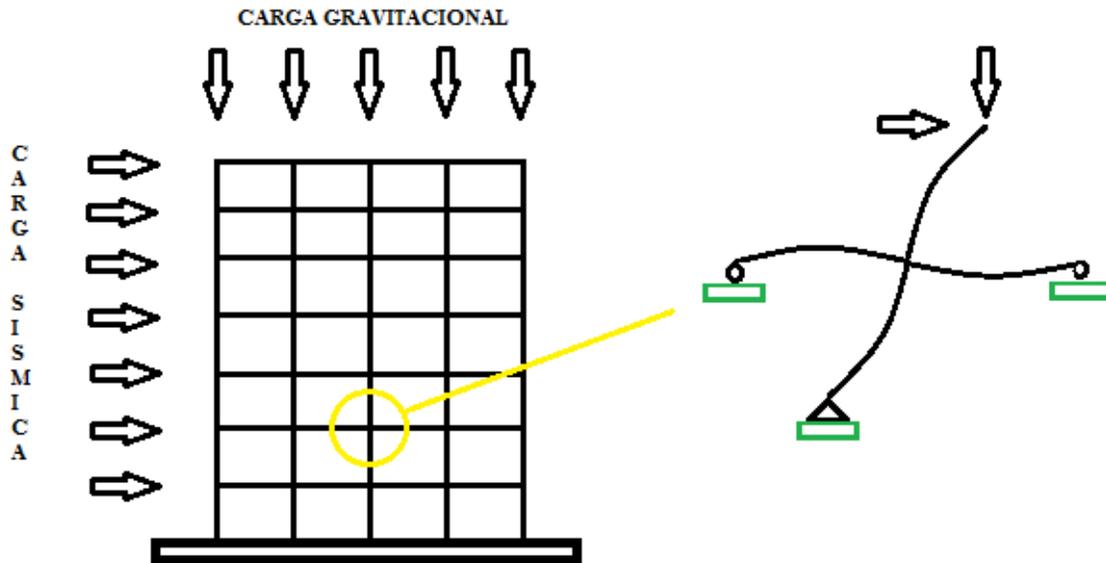


Figura 2-1 Edificio ante cargas sísmicas y gravitacionales

Como se mencionó en el Capítulo 1, luego del terremoto de Northridge el gobierno de Estados Unidos por medio de la FEMA [1], patrocinó un estudio en las conexiones de edificios e instalaciones industriales de acero para que se realizara una investigación del por qué estas estructuras habían fallado.

Cuando ocurrieron los terremotos de Northridge 1994 y Kobe 1995, las conexiones que se utilizaban mayoritariamente en los marcos de momento, eran las conexiones totalmente soldadas, las cuales tuvieron diversas fallas, en parte a defectos en la calidad de soldadura, tanto en la ejecución como en la elección del material a soldar [14].

De este modo, el estudio se centró en encontrar conexiones que fallaran plásticamente ante sollicitaciones sísmicas, debido a que las fallas que se presentaron en las conexiones totalmente soldadas fueron de tipo frágil. Una de las soluciones estudiadas

fue usar conexiones apernadas que en términos de rigidez eran similares a las conexiones totalmente soldadas, pero más dúctiles [5].

Una de las conexiones que proporcionaba una rigidez adecuada fue la DST (Double Split Tee), la cual es una conexión que une las vigas con la columna, tal como lo muestra la Figura 2-2 Conexión totalmente soldada y conexión T-Stub [9], la cual es una de las conexiones que se ensayará en la instalación experimental de conexiones.

Las probetas cruciformes que pueden ser ensayadas en esta instalación experimental pueden ser variadas tanto en tipo de conexiones (soldadas o apernadas), como tipo de columnas (tipo HN o perfiles tubulares rellenos de hormigón), o con diferentes tipos de configuraciones en las vigas (con o sin losas de hormigón sobre las vigas o “dog bone” la cual es una viga con una disminución de sección).

En la instalación experimental se ensayarán conexiones de momento en las cuales se intentarán replicar diferentes modos de falla propios de cada conexión.

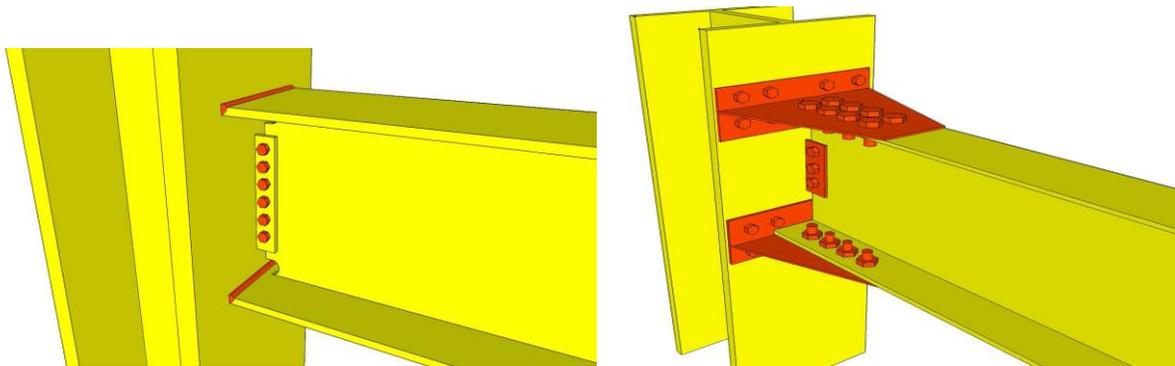


Figura 2-2 Conexión totalmente soldada y conexión T-Stub [9]

2.2. Normas a Utilizar

En el diseño de la instalación experimental, se utilizó la AISC 360 [6]. Tanto para el diseño del sistema de restricción fuera del plano, como las piezas para el ajuste de la probeta de ensayo.

También se tomaron algunas consideraciones que aparecen en FEMA 350 [1], para el dimensionamiento de algunas piezas y protocolos de carga que se le deben aplicar a la probeta.

2.3. Laboratorio de Estructuras

El laboratorio donde se ensambló la instalación experimental, se encuentra ubicado en las dependencias de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, entre el edificio de Ingeniería Civil y el edificio de Ingeniería Eléctrica (ver Figura 2-3)

Este laboratorio posee características especiales ya que cuenta con una losa con perforaciones y un muro de reacción también con orificios (ver Figura 2-4), de manera que sirvan como medio de anclaje y soporte para diferentes estructuras que harán uso de estos. De este modo, el laboratorio está presto para el desarrollo de los diferentes ensayos e investigaciones relacionadas con la resistencia de estructuras y su comportamiento.

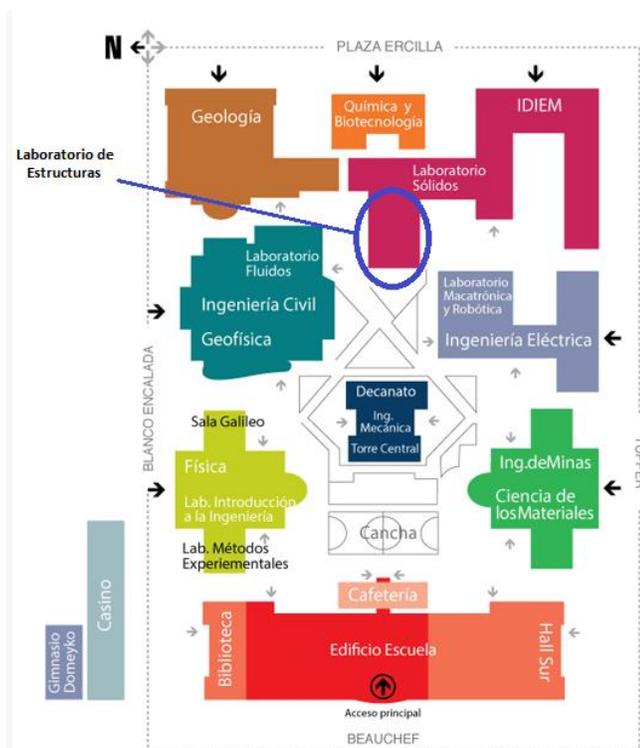


Figura 2-3 Ubicación del Laboratorio de Estructuras dentro de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

Los orificios de la losa y del muro de reacción se encuentran cada 40 cm, por lo cual estas distancias fueron condicionantes tanto para el espacio utilizado en la instalación experimental, como en el diseño de diferentes componentes de esta, especialmente los anclajes de la instalación experimental.



Figura 2-4 Muro y Losa de Reacción del Laboratorio de Estructuras

Otra de las características del laboratorio, es que posee un puente grúa, el cual fue de mucha utilidad para el traslado de materiales y posicionamiento de las piezas de la instalación experimental en la etapa de montaje (ver Figura 2-5).



Figura 2-5 Puente grúa del Laboratorio de Estructuras

Este puente grúa posee una capacidad nominal de 10 [ton], sin embargo, sólo se puede utilizar una carga máxima de 5 [ton]. Además, este puente grúa con el gancho totalmente retraído tiene una altura libre de 5.15 [m], por lo cual, ambas características son condicionantes para el montaje y diseño de la instalación experimental, debido al peso máximo que puede pesar cada pieza de acero para su posicionamiento, y también, la altura máxima del ensayo para evitar posibles colisiones entre el puente grúa, en las diferentes maniobras, y la instalación experimental.

2.4. Actuador Hidráulico

El actuador que se utiliza en la instalación experimental proporciona los esfuerzos cíclicos sobre la probeta, emulando las fuerzas sísmicas a las cuales está sometido un edificio en un sismo, este estará conectado tanto al muro de reacción como a la parte superior de la columna, Figura 2-6.

El actuador hidráulico fue a pedido especial, ello porque no estaba disponible en las dimensiones que se necesitaba. En el cabezal tiene una celda de carga la cual es modelo 1200HC.1244 cuyo fabricante es "Interface", el cual tiene una capacidad nominal de lectura de 1200[kN], tanto a tracción como a compresión.

El actuador está controlado mediante un sistema de programación PLC (*Programmable Logic Controller*), el cual es utilizado generalmente para automatizar procesos electromecánicos, como es en este caso. También el actuador puede ser accionado manualmente utilizando una palanca de control análogo del actuador.

El funcionamiento de este actuador, está ligado a una bomba hidráulica, en donde se debe que tener en consideración diferentes variables, como la temperatura del aceite interior de ésta, pues al estar en operación el actuador hidráulico, el flujo continuo de aceite hace que este suba su temperatura y cuando se sobrepasan los 60° C se daña el aceite y puede deteriorar la servo válvula y los sellos del actuador, lo que implica detener el ensayo. Es importante mencionar que el flujo del aceite de la bomba al actuador es controlado por una servo válvula.



Figura 2-6 Actuador Hidráulico

Este actuador posee las siguientes características:

- Capacidad del cilindro: 100 ton (compresión y tracción)
- Carrera: 80 cm (aprox.)
- Altura (retraído): 178 cm
- Altura (expandido): 246 cm

2.5. Gatos Hidráulicos

Los gatos hidráulicos que se utilizarán en la instalación experimental son modelo RH1505 los cuales proporcionarán la compresión axial de la columna, emulando las cargas gravitacionales las columnas en un edificio de acero. Cada uno de estos gatos hidráulicos tiene la capacidad de aplicar de 150 toneladas. En el ensayo sólo se le aplicarán 50 toneladas a la columna de la probeta aplicada por dos gatos hidráulicos.

Los gatos hidráulicos tienen las siguientes características:

- Capacidad del cilindro: 150 ton (compresión), 70 ton (tracción)
- Carrera: 127 mm
- Altura (retraído): 311.12 mm
- Altura (expandido): 438.2 mm

Como se puede apreciar en Figura 2-7, los gatos hidráulicos tienen dos asas para hacer más cómodo su transporte y su posicionamiento en la instalación experimental. Estos gatos hidráulicos cuentan con una bomba de aceite independiente, conectada al sistema de control de estos gatos la cual se puede observar en la Figura 2-8, la cual tiene una válvula con la cual se realiza el control de flujo del aceite hacia los gatos.



Figura 2-7 Gatos hidráulicos



Figura 2-8 Bomba de aceite gatos hidráulicos

2.6. Instrumentos de medición

Los instrumentos de medición juegan un papel fundamental en la instalación experimental que se quiere desarrollar, debido a que son estos elementos con los cuales se controla el sistema y se obtienen los datos que se desean estudiar. Por este motivo se eligieron los siguientes sensores para instrumentar los ensayos.

2.6.1. Sensor de desplazamiento (LVDT)

Los Transformadores Diferenciales de Variación Lineal (LVDT siglas en inglés), son uno de los diferentes tipos de sensores de desplazamiento lineal, que se utilizarán en la instrumentación, tanto de las diferentes probetas a ensayar, como de la instalación experimental, pudiendo medir los desplazamientos y deformaciones lineales en zonas de interés.

El funcionamiento de los LVDT es similar al de los transformadores, los cuales trabajan a base de embobinados. Además de las bobinas, estos instrumentos de medición poseen un núcleo ferromagnético, el cual está libre de desplazarse al interior de las

bobinas. Para las mediciones, el cuerpo del LVDT donde se encuentran las bobinas se deja fijo en un punto, mientras que el núcleo se fija en un punto movable. Este al moverse genera una diferencia de voltaje, esta diferencia de voltaje se transforma proporcionalmente en un desplazamiento físico con unidad de medida, en este caso milímetros Figura 2-9.

El embobinado de los LVDT se puede agrupar en primario y secundario, en donde el primario es excitado por una corriente AC, el cual produce un flujo magnético, y de esta manera afecta al embobinado secundario, al cual le induce un voltaje AC en cada bobina.



Figura 2-9 LVDT de la instalación experimental

Los LVDT son preferidos a otros instrumentos de medición debido a que la medición está relacionada solamente con el núcleo ferromagnético, el cual no tiene contacto interno con las bobinas, por lo tanto no existe roce, de esta manera no se pierde energía ni información en la adquisición de datos utilizando este instrumento.

La medición del LVDT está relacionada linealmente con la posición del núcleo ferromagnético, entre el embobinado primario y secundario, como lo muestra la Figura 2-10. Las mediciones de los LVDT es lineal en un cierto rango, pues cuando el núcleo está cercano a los límites de medición se vuelve no lineal, pero esta medición puede ser aproximada por un polinomio Figura 2-11.

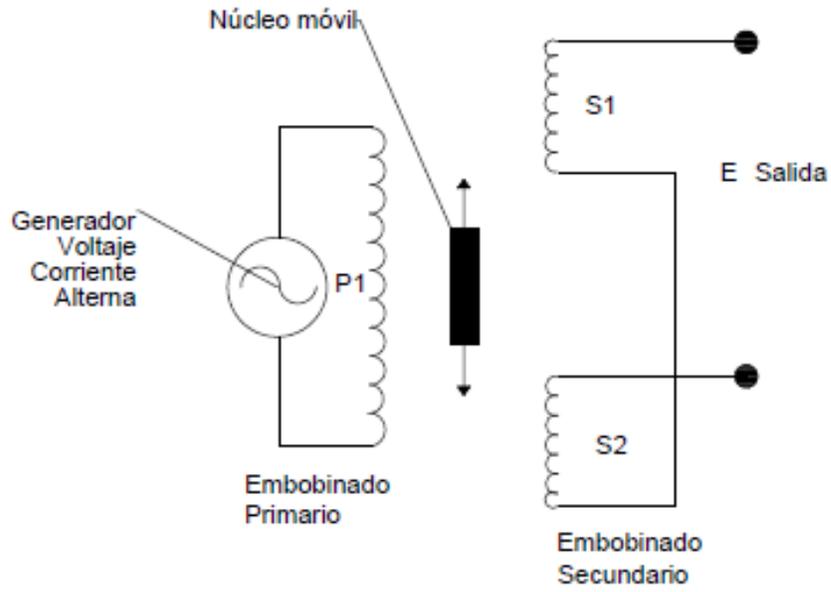


Figura 2-10 Embobinados primario y secundarios y núcleo ferromagnético de un LVDT

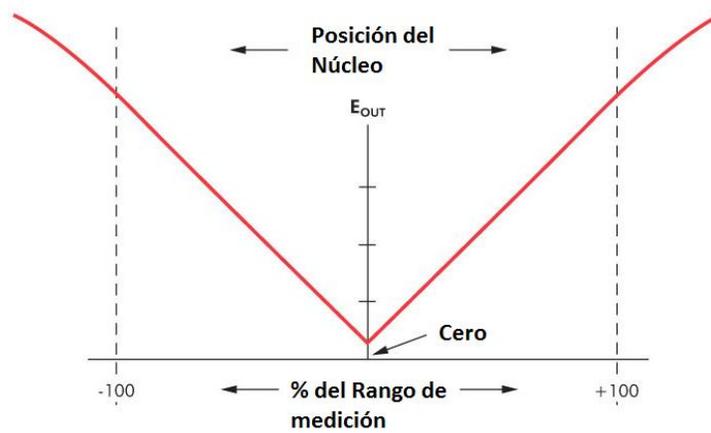


Figura 2-11 Rango de linealidad de un LVDT

2.6.2. Sensor de rotación (Inclinómetro)

El inclinómetro digital (Electronic Clinometer) es utilizado para medir desplazamientos angulares. Este inclinómetro realiza mediciones de tipo análogo y funciona con voltaje DC, el cual entrega en su cable de salida el desplazamiento angular en su eje sensible de medición.

Este dispositivo no tiene componentes interiores movibles por lo cual tiene una mayor vida útil. Además, posee un sensor capacitivo interno el cual al girar en su eje sensible entrega una variación lineal de hasta 60°, Figura 2-12, mostrando sus características en Figura 2-13.

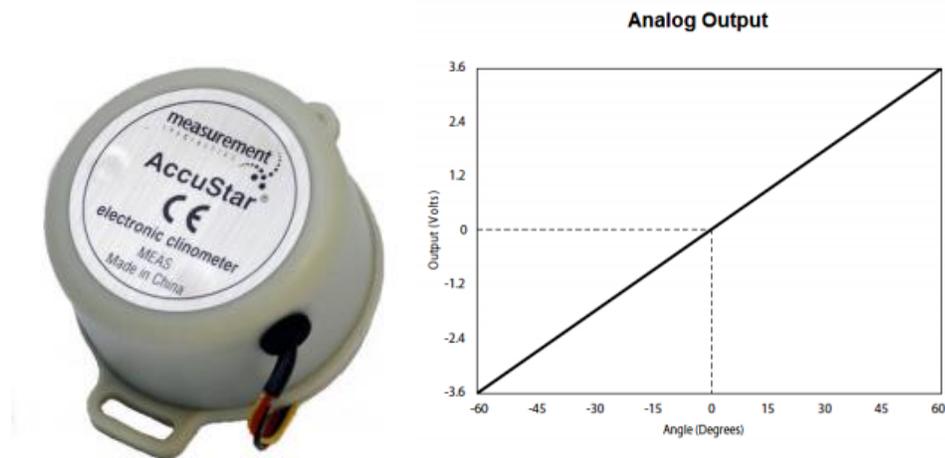


Figura 2-12 Inclinómetro de la instalación experimental y rango de linealidad

ELECTRICAL		ENVIRONMENTAL/MECHANICAL	
Total range	±60°	Operating temperature range	-30° to +65°C
Linear range	±45°	Storage temperature range	-55° to +65°C
Linearity		Temp. coefficient of null	0.008° / °C
Null to ±10°	0.1°	Temp. coefficient of scale factor	0.1% / °C
±10° to 45°	±1% of reading	EMC	
±45° to 60°	Monotonic	Emissions	EN55022 (CISPR 22) Limit B
Threshold	0.001°	Radiated immunity	IEC 801-3 Level 3 10V/m
Null repeatability	0.05°	Burst transients	IEC 801-4 Level 3 (2kV)
Cross axis error	<1% up to 45°	Electrostatic discharge	IEC 801-2 Level 2 (8 kV air, 6kV contact)
Time constant	0.3 seconds	Conducted RF	MIL-STD 461D, CS114, Curve 2
Frequency response	0.5Hz @ -3db	Cable	18" flying leads, PTFE insulation
RF susceptibility	<±2%		

Figura 2-13 Características del inclinómetro

2.6.3. Celda de Carga U15

Las celdas de cargas son transductores que transforman fuerza en señales eléctricas (voltaje). El funcionamiento de estas consiste en un metal el cual a medida que se le aplica la fuerza, dentro de los límites en los cuales está diseñada tracción y/o compresión. Esto es para que el metal trabaje en el tramo elástico (en el gráfico fuerza vs deformación de un elemento). Este metal se deforma y a medida que adquiere esta deformación se capta la información mediante la utilización de *strain gauges*, los cuales toman esta variación y la convierten en una señal de voltaje, el cual es proporcional a la fuerza aplicada sobre la celda de carga Figura 2-14.

La celda de carga que se utilizará en la instalación experimental, es el transductor de fuerza U15 de HBM. Esta puede medir esfuerzos tanto de compresión como de tracción de hasta 500 [kN].



Figura 2-14 Celda de carga U15 HBM

Es importante mencionar que tanto los sensores de carga, como los de desplazamiento y giro deben ser calibrados antes de ser ensayados. Esto debido a que se requiere obtener datos fidedignos y exactos, en un proceso de calibración de instrumentos.

2.7. Calibración de LVDT

Para la realización del proceso de calibración de los LVDT's se necesitó una huincha de medir metálica y un medio de sujeción de los LVDT, en este caso se utilizó *masking tape* (ver Figura 2-15).

Hay que tener en consideración que la huincha de medir esté paralela al núcleo ferromagnético del LVDT a calibrar, esto para tener datos fidedignos y así tener una buena calibración del instrumento.

El proceso de calibración consta de los siguientes pasos:

- Conectar el LVDT al equipo de adquisición de datos (ver Capítulo 5)
- Revisar que el equipo de adquisición de datos lea al LVDT (desplazando el núcleo ferromagnético en su eje de medición)
- Fijar una medida en la huincha metálica como "cero" del LVDT
- Tomar diferentes medidas en la huincha con el extremo del núcleo ferromagnético

Una vez teniendo una cantidad suficiente de datos (más de 10) se puede generar una regresión lineal entre las medidas de la huincha comparadas con los datos entregados por el LVDT.



Figura 2-15 Calibración de LVDT

2.8. Calibración de Inclinómetros

Para realizar el proceso de calibración de los inclinómetros se debió confeccionar un mecanismo de manera de obtener las diferentes rotaciones a las cuales el instrumento estaba afecto. Este mecanismo está graduado en grados sexagesimales al igual que transportadores y goniómetros, ver Figura 2-16.



Figura 2-16 Calibración Inclinómetros

El proceso de calibración consta de los siguientes pasos:

- Conectar el Inclinómetro al equipo de adquisición de datos
- Revisar que el equipo de adquisición de datos lea al Inclinómetro (rotando al instrumento en su eje de medición)
- Fijar en el mecanismo un ángulo como “cero” del Inclinómetro
- Tomar diferentes medidas rotando el mecanismo y tomando lectura del instrumento

Teniendo una cantidad suficiente de datos (más de 10) se puede generar una regresión lineal entre las medidas tomadas del mecanismo comparadas con los datos entregados por el inclinómetro.

2.9. Calibración de Celdas de Carga

El proceso de calibración de las celdas de carga se llevó a cabo en el laboratorio de hidráulica del Departamento de Ingeniería Civil, utilizando una prensa universal que está graduada (ver Figura 2-17).

El proceso de calibración consta de los siguientes pasos:

- Conectar la celda de carga al equipo de adquisición de datos
- Revisar que el equipo de adquisición de datos lea la celda de carga (aplicando una carga a la celda)
- Aplicar diferentes cargas a la celda de carga con la prensa universal

Teniendo una cantidad suficiente de datos (más de 10) se puede generar una regresión lineal entre las medidas tomadas por la prensa universal comparadas con los datos entregados por la celda de carga.



Figura 2-17 Calibración Celdas de Carga U15 e Interface

2.10. Sistema de Adquisición de Datos

El sistema de adquisición de datos en la instalación experimental es un conjunto de varios elementos que en su conjunto transforman las mediciones físicas, desplazamientos, giros y fuerzas, obtenidas en los ensayos de las probetas, en datos discretos, registros o imágenes.

Este sistema de medición se compone de cuatro dispositivos, los cuales hacen esta transformación:

Instrumento: Este tiene la función de convertir el esfuerzo, desplazamiento o giro en una señal eléctrica.

Acondicionador de Señal: Este tiene como función captar la señal eléctrica generada por el instrumento y este puede amplificar, filtrar, modular, demodular o linealizarla, de manera que esta pueda ser procesada por el equipo de adquisición de datos.

Conversor A/D: Este tipo de conversores, transforman la señal de Análoga a Digital para ser procesada en un computador.

Computador: Este es el encargado de procesar y guardar toda la información adquirida e importante de los ensayos. También toma parte en el sistema control de la instalación experimental.

Lo cual se observa esquemáticamente en la Figura 2-18 el flujo de la información en un sistema de adquisición de datos.

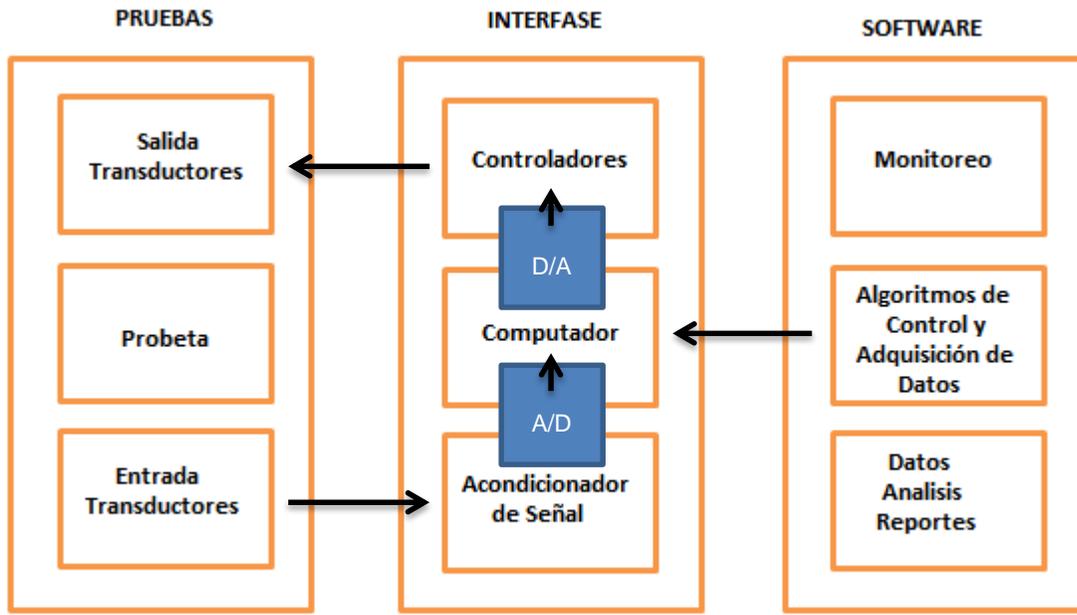


Figura 2-18 Componentes de un sistema de ensayos

2.11. Sistema de Actuador Hidráulico

La instalación experimental cuenta con un actuador hidráulico, este tiene su punto de aplicación en el extremo superior de la columna, y se apoya en el muro de reacción. El sistema de acción de este actuador es mediante el flujo de aceite, en donde la velocidad de acción del actuador está directamente relacionada con el caudal de entrada, y la capacidad de aplicar fuerza para comprimir o tensionar la probeta, de este modo, está relacionada con la presión interna del aceite hidráulico que se genera en el interior del actuador Figura 2-19.

El actuador es universal, pues como se mencionó anteriormente puede aplicar tanto compresión como tracción en su eje de acción. El desplazamiento del cabezal del actuador hidráulico es medido mediante un LDVT, en el mismo eje del actuador, y que está conectado al PLC del actuador, obteniéndose así los registros de desplazamiento del actuador pudiendo controlarlos. En el caso de que el actuador hidráulico no posea conexión a un PLC, los desplazamientos pueden realizarse de forma manual teniendo en consideración los desplazamientos que se requiera darle a la probeta cruciforme.

Para controlar la fuerza que aplica el actuador es que posee una celda de carga universal, la cual se encuentra en un extremo articulado del actuador y este unido a un cabezal de un pasador, esta celda de carga posee una capacidad nominal de 1200 [kN].

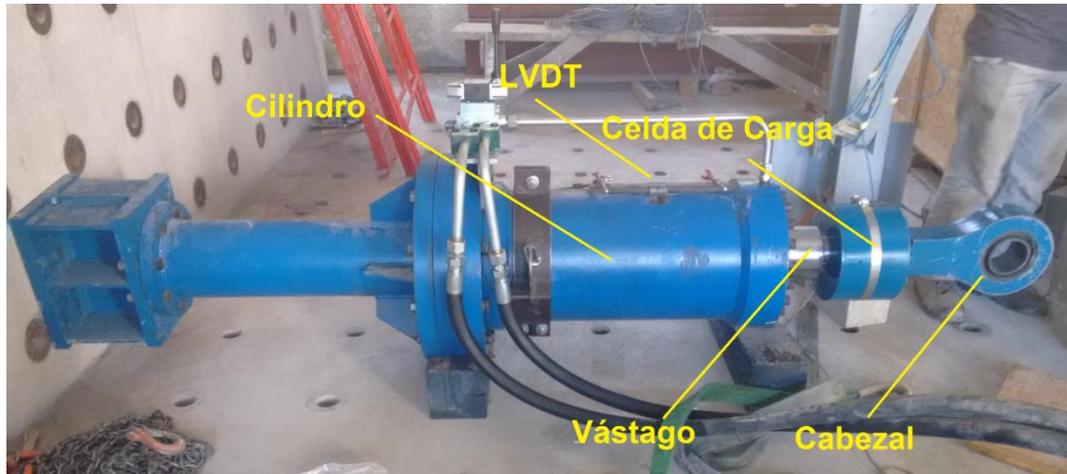


Figura 2-19 Componentes del actuador hidráulico y sensores

En el control del actuador hidráulico se utilizó una bomba de Hidro Centro de 6 $\left[\frac{lbs}{min}\right]$ (ver Figura 2-20), de donde se debe implementar en lenguaje MOOG – MACS las funciones que se requieran para el desarrollo de los ensayos.



Figura 2-20 Bomba del actuador hidráulico

2.12. Sistema Gatos Hidráulicos

El sistema de los gatos hidráulicos es similar al del actuador, pues estos funcionan mediante el flujo de aceite y una bomba hidráulica. Su capacidad de compresión depende de la presión que se tenga internamente. Sin embargo, los gatos hidráulicos sólo poseen la capacidad de aplicar compresión para este ensayo, esta compresión será medida utilizando una celda de carga conectada al computador, esta celda se encuentra entre la columna y la viga que aplica la compresión a la probeta. Es así como se tendrá monitoreada la compresión axial a la cual la probeta está siendo afecta.

Al igual que en el sistema de control del actuador hidráulico, el sistema de control de los gatos hidráulicos, tiene un controlador PLC en base a un control PID el cual se explicará en la próxima sección.

El sistema de gatos hidráulicos como se hizo referencia anteriormente es el encargado de aplicar la compresión axial a la columna, y este sistema control hace que los gatos hidráulicos mantengan la carga cuando la probeta es solicitada cíclicamente por el actuador hidráulico.

2.13. Controlador PID

Los controladores PID son ampliamente utilizados en los sistemas industriales, y consiste en llevar un control del sistema a base del error (E) o diferencia que se produce entre el valor deseado o comando (C) y el valor real o *feedback* (F) que toma la variable en cuestión. Es decir, este sistema de control mantiene la variable dentro de un rango aceptable de error.

$$E(t) = C(t) - F(t) \quad (2-1)$$

La sigla PID proviene de sus componentes de salida, P: parte de la señal proporcional, I: parte de la señal integral y D: parte de la señal derivativa.

La parte proporcional “P” está en función del error como se mencionó anteriormente y se define como,

$$P_{salida} = G_p * E(t) \quad (2-2)$$

Donde,

G_p: Constante proporcional del ensayo o ganancia

La constante G_p hace que el error se incremente proporcionalmente con la diferencia del Comando y el Feedback. Para una constante G_p muy grande se pueden obtener problemas de convergencia con valores por sobre los deseados, y con una muy pequeña no se alcanzan a obtener estos valores entregados por el registro ingresado al sistema de control.

La parte integral “I” consiste en intentar disminuir o eliminar el error estacionario producido por el modo proporcional, la parte integral se realiza con respecto al tiempo y actúa cuando existe una diferencia entre la variable y el valor deseado. Esta parte se aplica en un período de tiempo y se hace con respecto a puntos anteriores, por lo cual lo que hace en sí es realizar una suma del error, lo que a su vez hace que la señal se acerque más rápido al valor deseado o Comando.

La parte integral “I” está en función del error en el tiempo, y esta se define como:

$$I_{sal} = G_i * \int_0^t E(\tau) d\tau \quad (2-3)$$

Donde,

G_i: Constante de ajuste integral

La parte derivativa “D” actúa cuando el error no es constante, es decir cuando el valor absoluto de este cambia. La función de esta parte derivativa radica en mantener el error

lo más pequeño posible, esto se logra corrigiendo los valores proporcionalmente a la velocidad a la que estos se producen, de manera que estos no se incrementen.

La parte derivativa “D” está definida en función de la velocidad del error, es decir con respecto a la variación del error en el tiempo de la siguiente manera:

$$D_{salida} = G_d * \frac{dE(t)}{dt} \quad (2-4)$$

Donde,

G_d: Constante de ajuste derivativo

De este modo, la señal de salida del controlador, se define como la suma de estas tres partes PID. Es decir:

$$S_{salida}(t) = P_{salida} + I_{salida} + D_{salida} \quad (2-5)$$

La idea de utilizar los ajustes PID es lograr que el bucle de control se corrija en el menor tiempo posible y que al mismo tiempo se ajuste a los valores deseados de la señal que se quiera aplicar. Las constantes G_p , G_i y G_d deben ser bien escogidas, de modo de cumplir con lo planteado anteriormente.

2.14. Instalaciones Experimentales Similares

Existen diferentes instalaciones experimentales similares en el mundo, en estas se han ensayado probetas cruciformes con diferentes tipos de configuraciones, tanto en las conexiones, como en las vigas de piso, o como en las columnas que componen la instalación experimental. Como se mencionó anteriormente, las probetas a ensayar pueden tener variadas configuraciones; por ejemplo, utilizar vigas con reducción en sus alas, conocidas como “dog bone”, Figura 2-21, o cambiar el tipo de conexión viga-columna, utilizar columnas tipo CFT (*concrete filled tube* siglas en inglés, los cuales son

perfiles tubulares rellenos de hormigón), o bien sumarle losas de hormigón a las vigas de la probeta, entre otras.

En el proyecto “*SAC Steel Project*” fundado por la FEMA para resolver el problema del comportamiento frágil de las soldaduras en estructuras de marcos resistentes de momento, como ya se hizo mención, diferentes investigadores se dedicaron al estudio de varios tipos de conexiones pre-Northridge y post-Northridge. Estos ensayaron con diferentes tipos de probetas, entre ellas la cruciforme.

Engelhardt [15] realizó diferentes ensayos utilizando este tipo de instalación experimental en conexiones totalmente soldadas, pero con vigas tipo “dog bone”, esto para propiciar la formación de una rótula plástica en el lugar donde se angostan las alas de la viga cuando está sometida a esfuerzos cíclicos proporcionados por el actuador hidráulico (ver Figura 2-21).

Dada la configuración de la instalación experimental, similar a la Figura 2-21, se tiene que la instrumentación tendría la configuración que se muestra en la Figura 5-5, Figura 5-6 y Figura 5-7, estos últimos para medir el desplazamiento tanto en los apoyos rotulados que aparecen en la misma figura.

Los LVDT que se instalan en la zona panel Figura 2-22, son para verificar la deformación a la cual se ve afectada en este lugar por la acción del actuador hidráulico.

En el ensayo de las probetas cruciformes se utilizarán 6 sensores de rotación, los cuales se ubican en la viga donde probablemente se forme la rótula plástica, dado que según como dice Herrera [16] la rótula plástica se forma a un tercio de la altura de la viga después de la conexión.

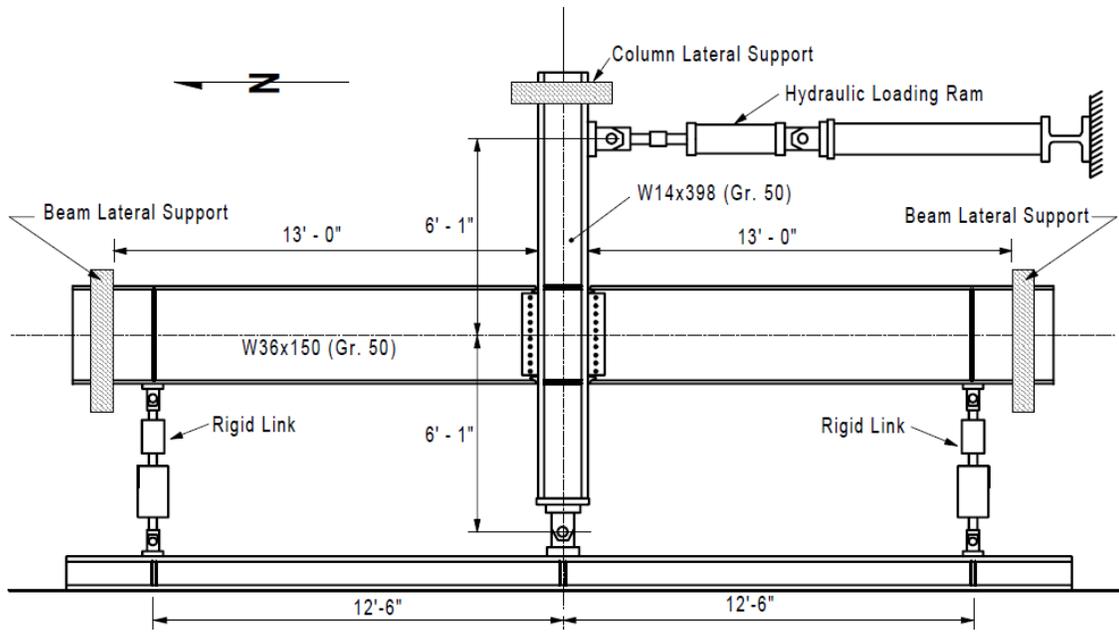


Figura 2-21. Instalación experimental de Engelhardt [15]



Figura 2-22 Falla por rótula plástica en un espécimen [14]

Con el protocolo de carga (ver Figura 2-23) se obtienen diferentes gráficas, tanto del desplazamiento de la columna relacionada con la fuerza del actuador, relación del momento plástico y la zona panel, y también, el momento plástico con la rotación de las vigas (ver Figura 2-24, Figura 2-25, Figura 2-26 y Figura 2-27).

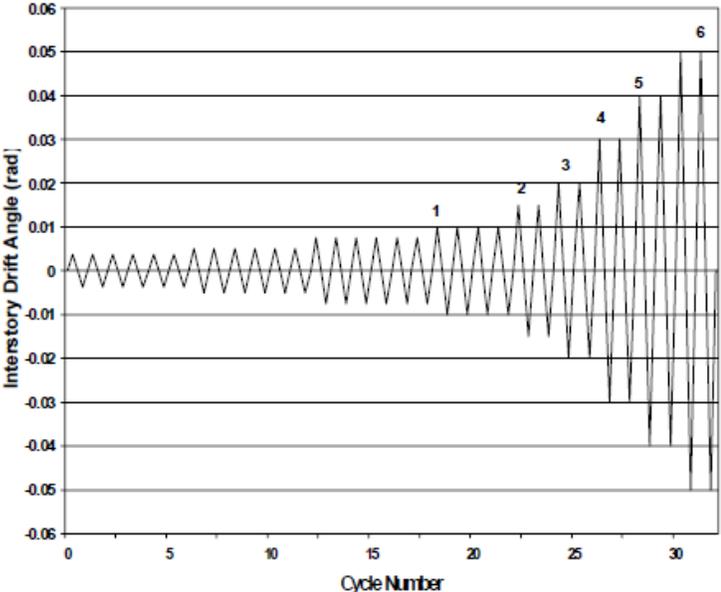


Figura 2-23 Relación entre el número de ciclos y el ángulo θ [14]

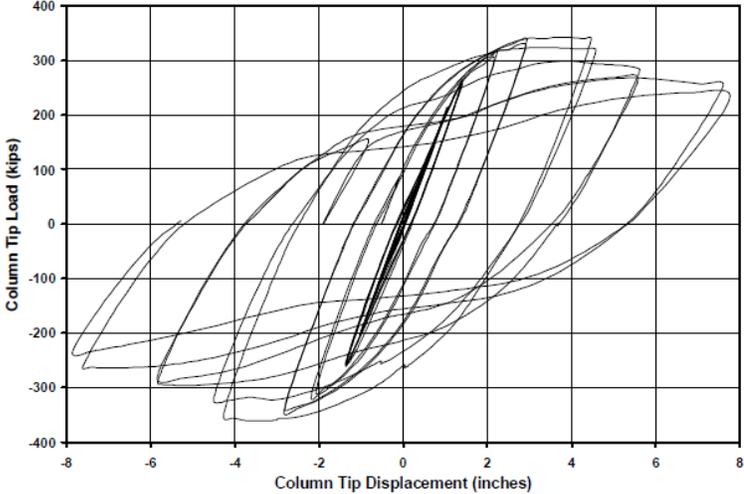


Figura 2-24 Relación entre el desplazamiento de la columna Δ y la fuerza del actuador [14]

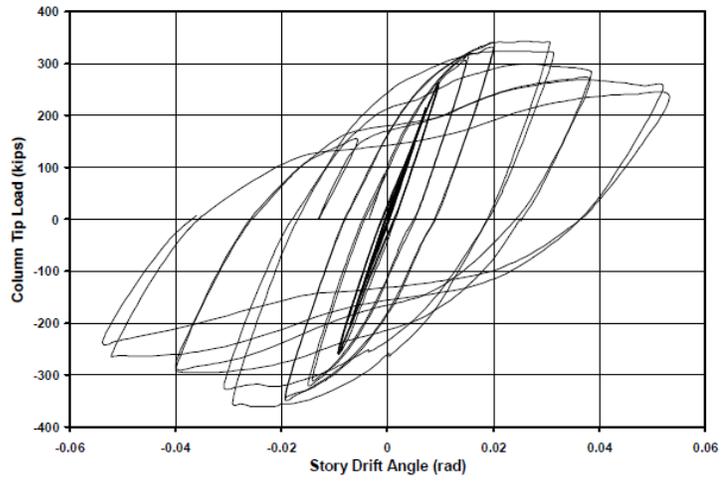


Figura 2-25 Relación entre θ y la fuerza del actuador [14]

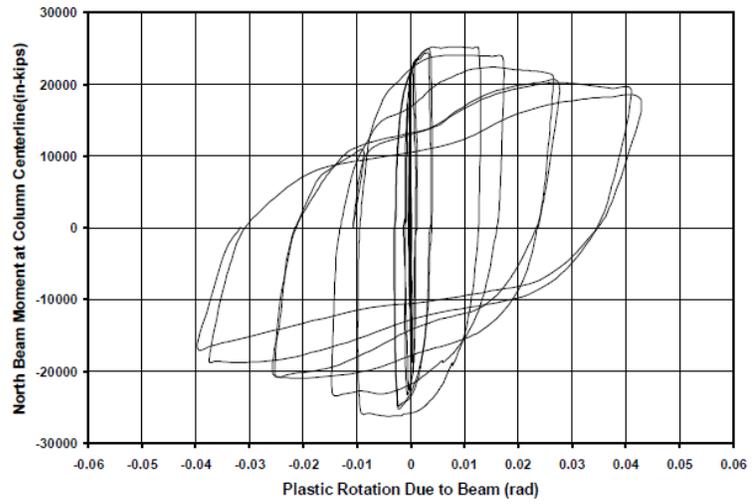


Figura 2-26 Relación entre la rotación plástica de la viga y el momento plástico [14]

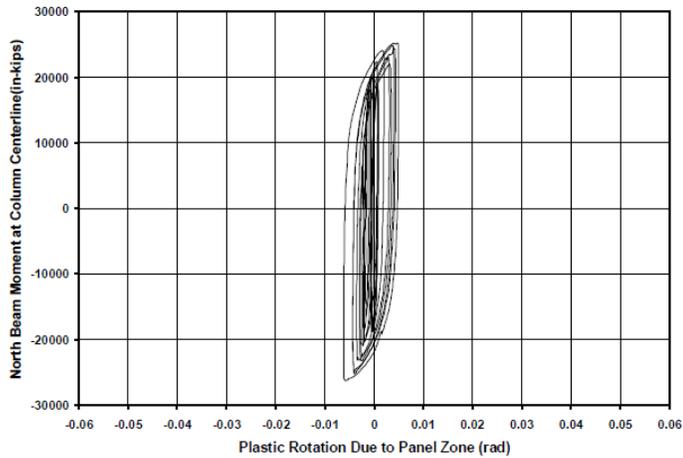


Figura 2-27 Relación entre la rotación plástica de la zona panel y el momento plástico [14]

Con la instrumentación que se escogió en los puntos 2.6.1, 2.6.2 y 2.6.3 en el sistema de control y adquisición de datos de la instalación experimental, se obtendrán las gráficas de las figuras anteriores, las cuales ayudarán a monitorear los esfuerzos y comportamiento de las probetas, en especial las conexiones entre vigas y columna pertenecientes a la configuración, logrando identificar así los giros, ciclos de carga y fuerzas para los cuales se obtendrán los diferentes modos de falla en la probeta.

Capítulo 3

3. Diseño Experimental

3.1. Parámetros de diseño

Respecto a este punto, se consideraron varios parámetros los cuales intervinieron directa e indirectamente en el diseño de la instalación experimental, algunos de estos propios del tipo de estructura que se está intentando modelar y otros determinados por el espacio y características del laboratorio de estructuras esbozado en el Capítulo 2, y también la capacidad de los instrumentos que aplican cargas a la probeta.

Con respecto a la estructuración del edificio de acero que se está modelando, se utilizó una planta típica de 54 x 36 metros, es decir, vigas de piso de 9 metros de longitud, y de 12 pisos, con altura de cada piso de 3,5 metros (para más detalles de la estructuración y elección de las dimensiones de la probeta ver 74[17]). La elección de la columna a estudiar, como se mencionó en el capítulo anterior, se elige un eje perimetral resistente y luego la columna entre dos columnas de un piso a elección de análisis.

De esta manera se obtiene la modelación de una columna conectada sus respectivas vigas en dos dimensiones de un edificio de planta típica, de 42 metros de altura aproximadamente. Esto se puede apreciar claramente en la Figura 3-1.

Es así como la instalación experimental está diseñada para columnas de 3.5 m de altura y vigas que tengan por lo menos 4.5 m de largo desde el eje de la columna. Es así como las probetas que desean ser ensayadas deben por lo menos tener dimensiones un poco mayores a estas de modo de poder tener espacio para la sujeción por medio de uniones apernadas.

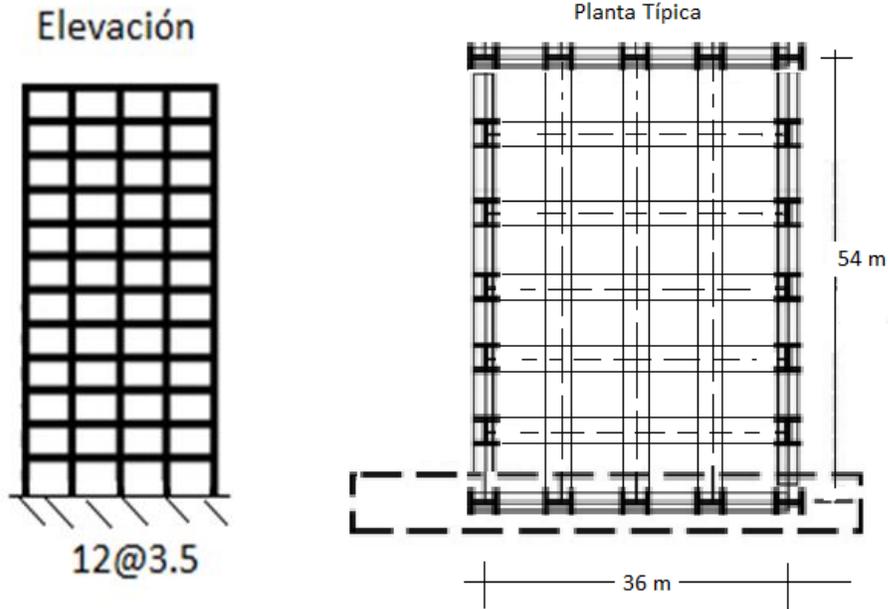


Figura 3-1 Planta y elevación de edificio típico [17]

3.2. Límites de Medición

3.2.1. Solicitaciones Máximas

Los límites de medición están directamente relacionados con la capacidad del actuador hidráulico y también de los gatos hidráulicos, en este caso 100 y 50 toneladas respectivamente. Es por esto que teniendo las consideraciones anteriores (altura de pisos y largo de las vigas), se puede hacer un análisis de esfuerzos, tomando en cuenta la fuerza que posee el actuador y los gatos hidráulicos de la instalación, y de esta manera conocer los esfuerzos a los cuales se encuentra sometida la probeta, así mismo las reacciones en los apoyos de esta.

Teniendo en consideración las condiciones de diseño y esfuerzos a los cuales está sometida la probeta se obtienen las Figura 3-2, Figura 3-3, Figura 3-4 y Figura 3-5 se representan los esfuerzos internos generados por la acción del actuador y gatos hidráulicos.

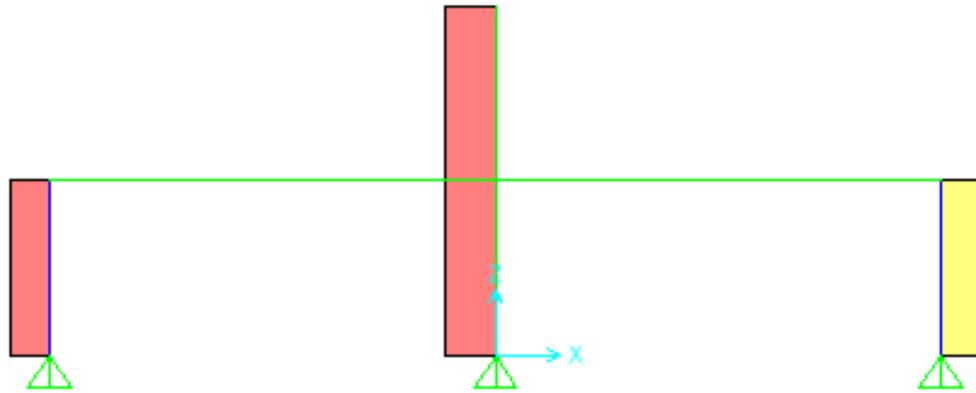


Figura 3-2 Esfuerzo Axial de la columna y apoyos rotulados ante una compresión en el eje “z” y carga puntual en el eje “x” en el extremo de la columna (rojo: Compresión, amarillo: Tracción, Utilizando el programa SAP2000)

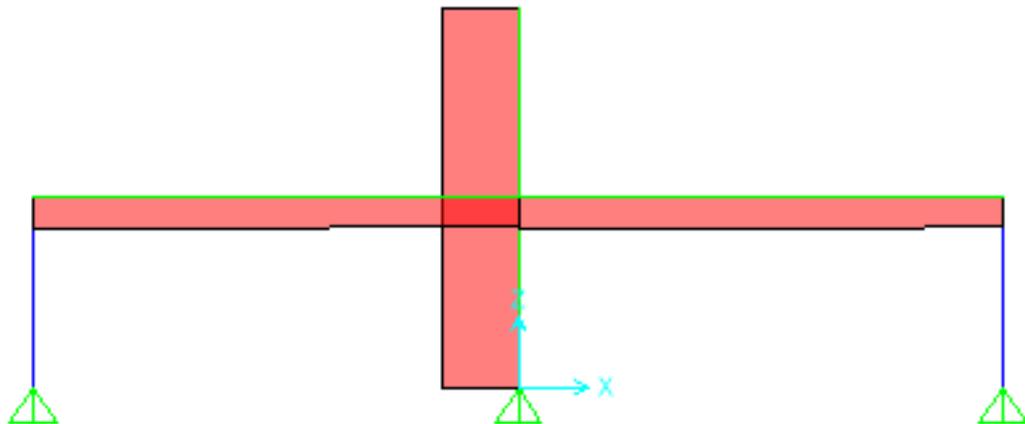


Figura 3-3 Corte en la probeta cruciforme ante una compresión en el eje “z” y carga puntual en el eje “x” en el extremo de la columna (rojo: Corte negativo, Utilizando el programa SAP2000)

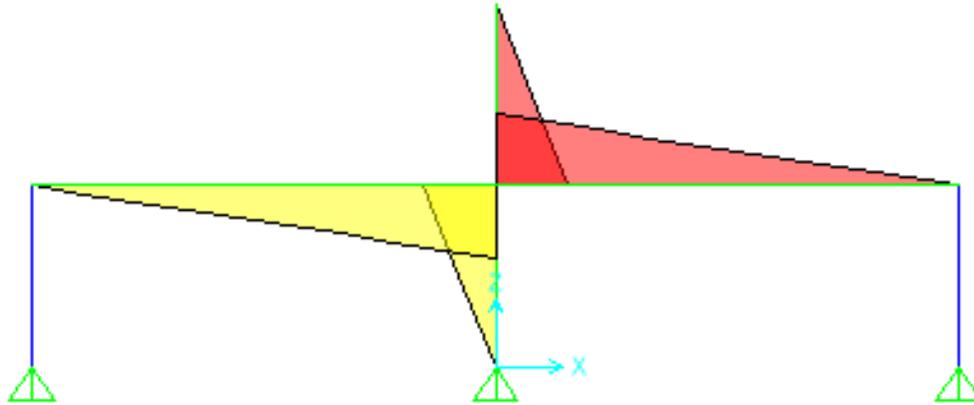


Figura 3-4 Momento en la probeta cruciforme ante una compresión en el eje “z” y carga puntual en el eje “x” en el extremo de la columna (rojo: momento negativo, amarillo:momento positivo, Utilizando programa SAP2000)

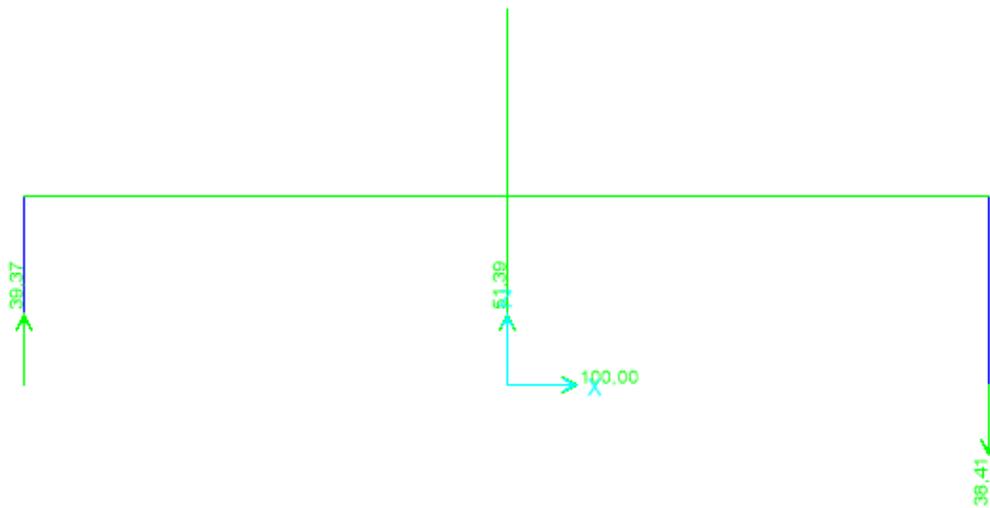


Figura 3-5 Reacciones de la probeta cruciforme ante una compresión en el eje “z” y carga puntual en el eje “x” en el extremo de la columna

De esta manera, utilizando el software SAP2000 v15, se pueden obtener los esfuerzos, reacciones e incluso los desplazamientos que se producen ante la aplicación de sollicitaciones en el extremo superior de la columna en la probeta.

De la modelación, se tiene que las reacciones en los apoyos son:

- Apoyo 1 y Apoyo 3: $R_{y1,3} = \pm 39.05 \text{ tonf}$
- Apoyo 2: $R_{x2} = -100 \text{ tonf}$
 $R_{y2} = 50.22 \text{ tonf}$

Las reacciones en los Apoyos 1 y 3 son iguales y de sentido contrario, esto debido a que la acción del actuador hidráulico es cíclica, por lo cual, al ser la probeta simétrica se invierten los esfuerzos cuando la carga cambia de signo.

Es así que conociendo las reacciones que se generan por la acción del actuador y los gatos hidráulicos en la probeta se pueden comenzar a diseñar los anclajes de la instalación experimental.

3.2.2. Deformaciones

Las deformaciones de la probeta están controladas por la acción del actuador hidráulico y por las características del tipo de ensayo, pues este es cíclico, de baja velocidad y con desplazamiento controlado. Este desplazamiento está proporcionado por un protocolo de carga que se obtiene de la FEMA 350 [1], en donde se muestran los “Peak deformación θ ” que debe proporcionar el actuador hidráulico, esto dependiendo del número de ciclos y paso de carga para un espécimen dado, donde en la práctica de la modelación el “ θ ” relaciona el “drift” entre los pisos con la altura de estos los cuales se pueden ver en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Protocolo de carga (SAC Join Venture)

Paso de carga #	Peak deformación θ	Número de Ciclos, n
1	0.00375	6
2	0.005	6
3	0.0075	6
4	0.01	4
5	0.015	2
6	0.02	2
7	0.03	2

Para los siguientes pasos aumentar θ en 0.01 con dos ciclos cada paso

En donde el ángulo θ se define como:

$$\theta = \frac{\Delta}{H} \quad (3-1)$$

donde,

Δ : Desplazamiento de la columna en el punto donde se conecta con el actuador

H : Altura de piso del edificio, en este caso esta variable queda definida como la distancia entre la rótula inferior de la columna y el punto donde esta se conecta al actuador hidráulico

3.2.3. Velocidades de Aplicación de Cargas

Como se ha mencionado anteriormente, el ensayo de conexiones de este tipo de instalaciones experimentales es un ensayo cíclico, con deformaciones controladas y a bajas velocidades, por tanto, se podría calificar como un ensayo cuasi estático.

La velocidad de estos ensayos es lenta en comparación a las velocidades que puede alcanzar un terremoto, sin embargo, la velocidad de ensaye no afecta considerablemente los resultados esperados, a cambio de la velocidad se obtiene una mejoría tanto en las mediciones como en la eficacia de control en este caso del protocolo de carga.

De este modo se tiene que la velocidad de carga del actuador es en promedio cercano a $5 \left[\frac{mm}{min} \right]$, lo cual en el rango elástico puede ser un poco más rápido. Pero en general esta es la velocidad que se tendrán los ensayos.

3.3. Materiales

El material que se utilizó para la realización de la instalación experimental tanto en anclajes de la probeta como en el marco de restricción fuera del plano fue acero ASTM

A36, cuyas propiedades son tensión de fluencia $F_y = 2.53 \left[\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \right]$; tensión última $F_u = 4.08 \left[\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \right]$; módulo de elasticidad $E = 2100 \left[\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \right]$.

La calidad de los pernos de la instalación experimental son en su mayoría tipo ASTM A325, sin embargo también se utilizarán pernos del tipo ASTM A490 en el espaciador que conecta el actuador con la columna de la probeta.

Para llevar a cabo la elección de los anclajes, se escogieron barras con hilo de acero especiales Gewy, las cuales poseen las siguientes características: tensión de fluencia $F_y = 5 \left[\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \right]$; tensión última $F_u = 7.5 \left[\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \right]$.

Para realizar la compresión axial de la columna se necesitaron barras con hilo especiales Dywidag, estas barras se utilizan generalmente en la minería para realizar anclajes geotécnicos. Estas poseen las siguientes características: tensión de fluencia $F_y = 8.5 \left[\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \right]$; tensión última $F_u = 10.5 \left[\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \right]$.

Estas dos últimas barras con hilo son más resistentes que las barras con estrías que se utilizan generalmente en la construcción en el hormigonado de losas, muros, etc. esto a modo de dar una capacidad mayor tanto a los anclajes, como al sistema de compresión axial de la columna.

En el desarrollo de las conexiones entre las vigas y la losa de reacción, se utilizaron dos links rígidos en los cuales se necesitan pasadores, los cuales son de acero SAE 1045, el cual tiene las siguientes características: tensión de fluencia $F_y = 4 \left[\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \right]$; tensión última $F_u = 6.8 \left[\frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \right]$. Este acero tiene mejor resistencia que el acero ASTM A36.

El hormigón del laboratorio tiene una calidad H40 donde su esfuerzo máximo a compresión es $f'c = 400 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$

Las soldaduras que se utilizaron para todas las uniones soldadas de la instalación experimental, fueron del tipo E_{70} , la cual tiene las siguientes características: resistencia a tracción $R_t = 480 \text{ [MPa]}$; límite de fluencia $F_y = 400 \text{ [MPa]}$.

Capítulo 4

4. Instalación Experimental

4.1. Descripción del Mecanismo de Acción

El mecanismo de acción de la instalación experimental, consiste en aplicarle una carga cíclica cuasi estática y una compresión axial en el extremo superior de la columna a una probeta cruciforme. Esta probeta cruciforme está compuesta de una columna unida a dos vigas las cuales están conectadas en las alas de esta. Al aplicarle la carga cíclica a la probeta, se generan diferentes esfuerzos internos, como se puede notar en las Figura 3-2, Figura 3-3, Figura 3-4 y Figura 3-5 del Capítulo 3, siendo los esfuerzos de mayor interés el momento y corte que se generan cercanos a la zona panel, conexiones y vigas, que es donde se espera fallen las probetas, tal como se muestra en la sección 2.14.

Como se mencionó anteriormente existen diferentes tipos de conexiones, tales como la totalmente soldada, que correspondería a una conexión rígida, o como la conexión con DST soldada, la cual es semirrígida, entre otro tipo de conexiones que son de interés para la investigación. De este modo se tiene que la instalación experimental tendrá la configuración mostrada en la Figura 4-1 y Figura 4-2, en donde se aprecian todos los componentes de esta instalación experimental.

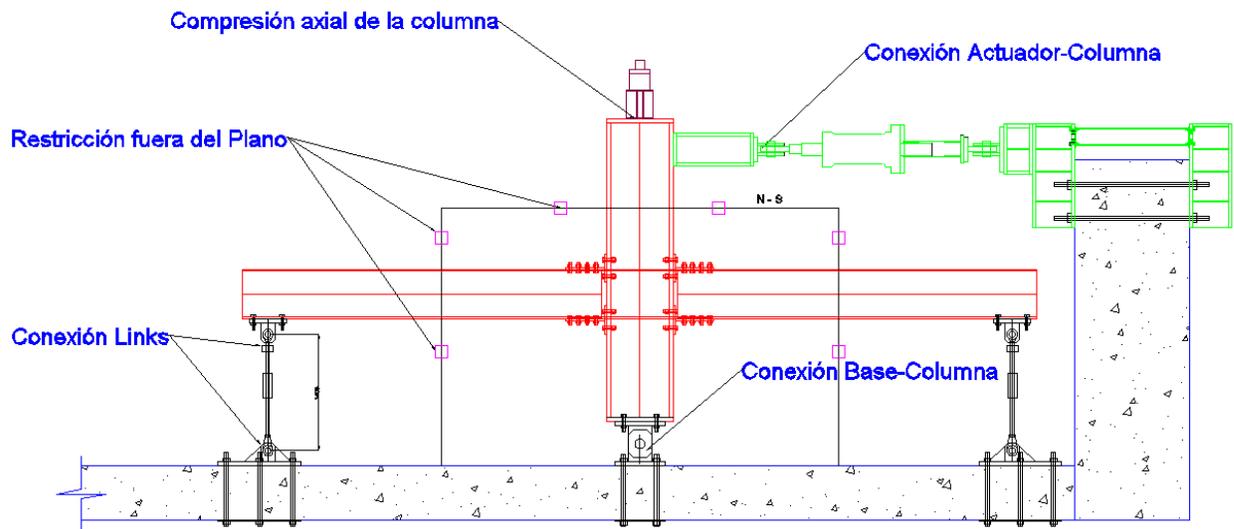


Figura 4-1 Instalación Experimental

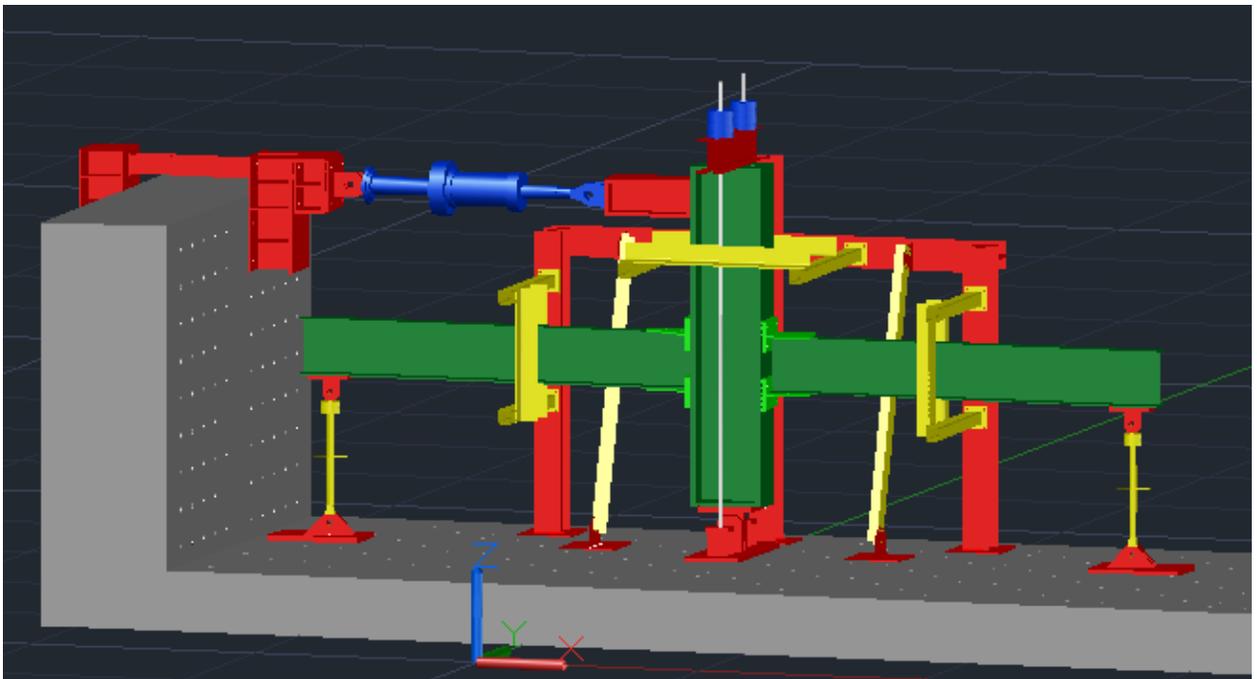


Figura 4-2 Instalación experimental 3D

4.2. Elementos que Componen el Sistema Estructural

Tal como se muestra en la Figura 4-1 los elementos que componen el sistema estructural se dividen en:

- Conexión Base-Columna
- Compresión Axial de Columna
- Conexión Actuador-Columna
- Conexión Vigas-Losa
- Restricción Fuera del Plano

Las cuales se detallarán a continuación.

4.2.1. Conexión Base-Columna

Esta conexión es una de las más complejas del sistema estructural, dado que en este sistema de conexiones, además de tener conectada la columna de la probeta, se conectan otros elementos relacionados con la compresión axial de la columna. Esta conexión está hecha con acero calidad ASTM A36 y está compuesta de dos elementos los cuales conectados con un pasador conforman una rótula y estos conforman un apoyo para la probeta en la instalación experimental. Esta es una de las conexiones que deben resistir mayor esfuerzo, debido a que inicialmente debe resistir la compresión de la columna, la cual es proporcionada por los gatos hidráulicos, sumado a esto, debe resistir la carga cíclica del ensayo proporcionada por el actuador hidráulico, ver Figura 4-3.

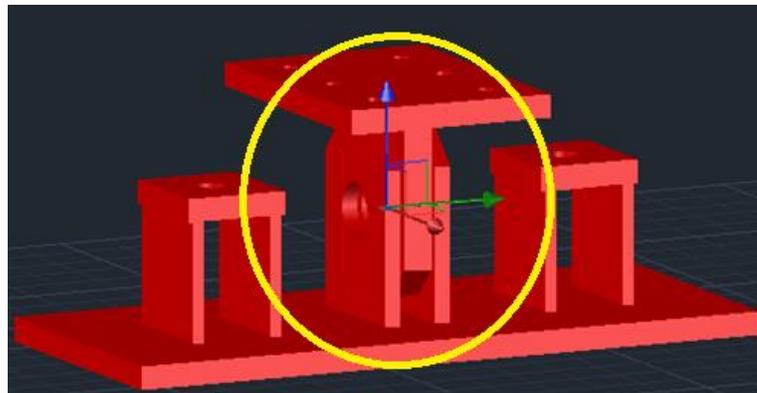


Figura 4-3 Conexión Base-Columna

Para el diseño de la conexión base-columna se tuvieron diferentes consideraciones, tanto de la calidad del acero [6] , como la calidad del hormigón con el cual está hecha la losa del laboratorio en este caso H40 [13], y también los esfuerzos que debe resistir esta pieza.

De esta manera, la resistencia de esta pieza conectada con pasador, se diseñó utilizando las siguientes ecuaciones pertenecientes a la AISC 360 [6], el cual se considera la rotura en tracción en el área neta efectiva, la rotura en corte del área efectiva, la resistencia de aplastamiento nominal para pasadores, la fluencia en tracción en la sección bruta, la ruptura en tracción en la sección neta y la resistencia de diseño a flexión de un pasador.

En cálculo de la resistencia a corte y flexión del pasador se utiliza al esquema de la Figura 4-4.

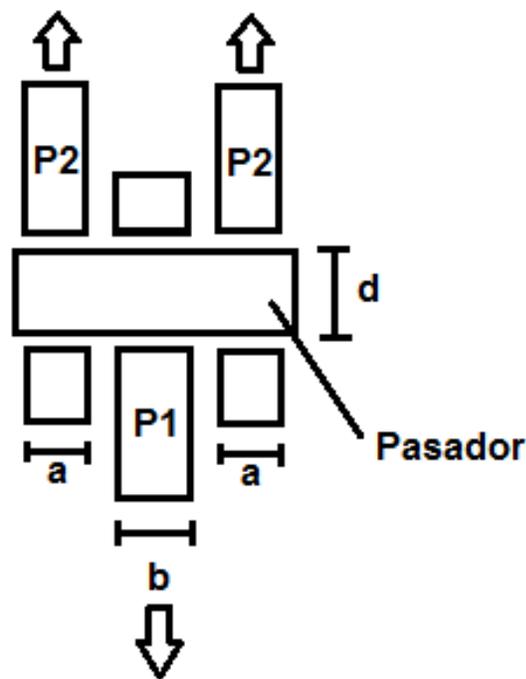


Figura 4-4 Esquema del Pasador

Tal como se puede ver en Figura 4-1 y Figura 4-2, esta conexión está unida superiormente a la columna de la probeta y en su parte inferior conecta con la losa del laboratorio. La función de esta conexión es proporcionar anclaje a la probeta, además

como se hizo notar anteriormente, esta es una rótula por lo cual en este punto el esfuerzo de momento es nulo.

Las soldaduras de unión de las placas con la base de esta conexión (ver Figura 4-3) se diseñaron con la AISC 360 [6] dependiendo de las características de las solicitaciones a las cuales esta pieza es sometida en el ensayo. En particular, como las placas que hacen la función de rótula están demasiado cercanas se prefirió realizar una soldadura biselada de penetración completa, puesto que si se utilizaba una soldadura tipo filete, al estar tan cercanas ambas placas, se hacía complejo realizar la soldadura en maestranza.

En esta conexión se une la columna de la probeta con la losa del laboratorio y para realizar esta conexión se utilizaron uniones apernadas, diseñadas con la AISC 360 [6]. En donde se consideró la resistencia nominal a la tracción y la resistencia nominal al corte de los pernos.

Las características tanto geométricas como la memoria de cálculo se encuentran en el Anexo B de esta memoria.

4.2.2. Compresión Axial de la Columna

La compresión axial de la columna es uno de los elementos esenciales del ensayo, pues es la que simula la carga gravitacional de los pisos superiores del edificio que debe soportar la columna. El sistema de compresión axial está compuesto por dos gatos hidráulicos (ver sección 2.5), una viga de compresión, dos barras de acero y la conexión Base-Columna (ver Figura 4-5).

Como se hizo mención en la compresión axial de la columna se utilizan dos gatos hidráulicos. Para traspasar la carga de ambos gatos a la columna, se utiliza una viga diseñada especialmente de modo que la carga se produzca lo más uniformemente posible.

En el diseño de la viga a compresión se utilizó la AISC 360 [6] en acero tipo ASTM A36, tanto a flexión, como a cargas concentradas.

Los gatos hidráulicos poseen un hueco interior, por el cual pasan y conectan dos barras con hilo. Estas barras al mismo tiempo se conectan con la conexión Base-Columna, en donde se ancla a esta pieza y se traspassa el esfuerzo a la losa (ver Figura 4-5).

A medida que los gatos hidráulicos actúan, las barras se traccionan y estas comprimen la viga y esta a su vez realiza la compresión axial de la columna de la probeta. Es importante mencionar que entre la viga de compresión y la columna se encuentra una celda de carga, la cual juega un papel importante en el sistema de control de los gatos hidráulicos.

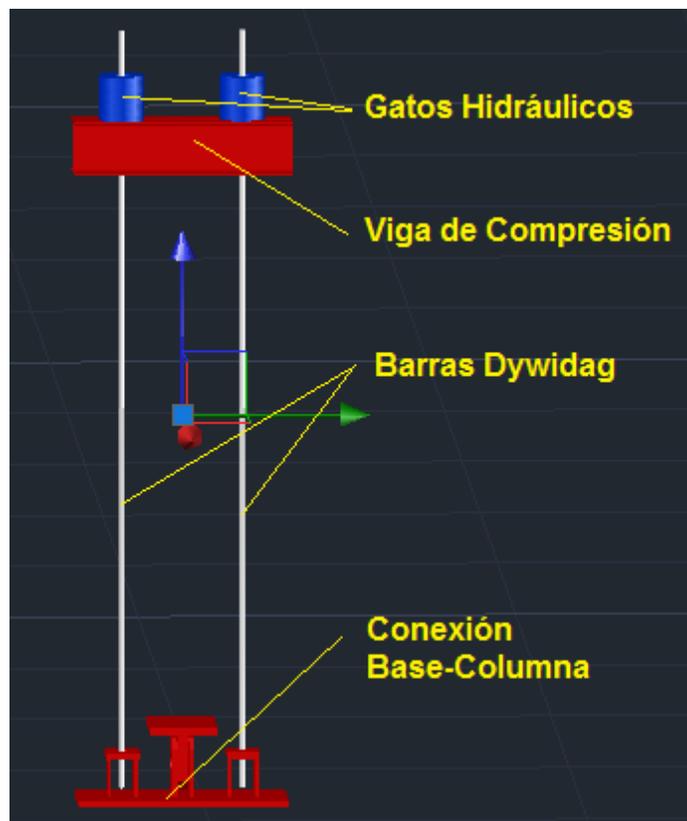


Figura 4-5 Compresión Axial de la Columna

Como se puede ver en la Figura 4-5 la viga de compresión está solicitada por los gatos hidráulicos y las barras traccionadas ejerciendo cargas puntuales en los extremos de la viga, al mismo tiempo esta viga está apoyada en la columna de la probeta cruciforme,

por lo cual en su diseño se utilizaron los criterios de fluencia por flexión, pandeo lateral torsional, pandeo del ala en compresión y corte en la viga.

El diseño de la sujeción inferior de las barras de la conexión Base-Columna (Figura 4-6), se realizó teniendo en consideración los criterios de resistencia de soldaduras [6]. En este caso las solicitaciones son perpendiculares al eje de la soldadura, por este motivo el tipo de soldadura que se escogió fue biselada de penetración completa.

Como se señaló anteriormente, esta pieza está solicitada a tracción por las barras, por este motivo las piezas de la Figura 4-6 se diseñaron para fluencia del área bruta y ruptura en tracción del área neta.

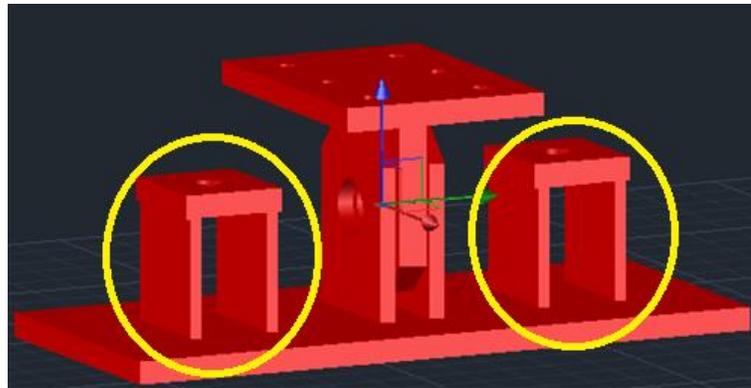


Figura 4-6 Sujeción de barras en Compresión Axial de la Columna

Para ver en más detalle la geometría y memoria de cálculo de la viga y de los anclajes a la losa se pueden apreciar en el Anexo B y Anexo C de esta memoria.

4.2.3. Conexión Actuador-Columna

Esta es uno de los sistemas más complejos de la instalación experimental, además de ser una de las partes fundamentales de ésta, esto debido a que es en este sistema estructural en donde se conecta la probeta cruciforme al muro de reacción, por medio del actuador hidráulico por medio del cual se le aplica la carga cíclica a la probeta (ver Figura 4-7 Conexión Actuador-Columna).

Como las vigas de la probeta cruciforme son de 4.5 m aproximadamente y el actuador hidráulico es de alrededor 2.5 m, para conectar el actuador al muro, se tuvieron que

diseñar espaciadores, de manera de suplir esta diferencia como se muestra en Figura 4-1 y Figura 4-2.

Tanto los espaciadores que conectan el actuador hidráulico con el muro, como los que conectan la probeta están diseñados en acero ASTM A36 [6], tanto para compresión y cargas concentradas. Las conexiones entre el actuador hidráulico y la probeta están diseñadas con pernos de calidad ASTM A490, mientras que las demás conexiones son con pernos calidad ASTM A325, en donde el diseño de estas conexiones se tuvo en consideración la resistencia a la tracción y resistencia al corte de los pernos.

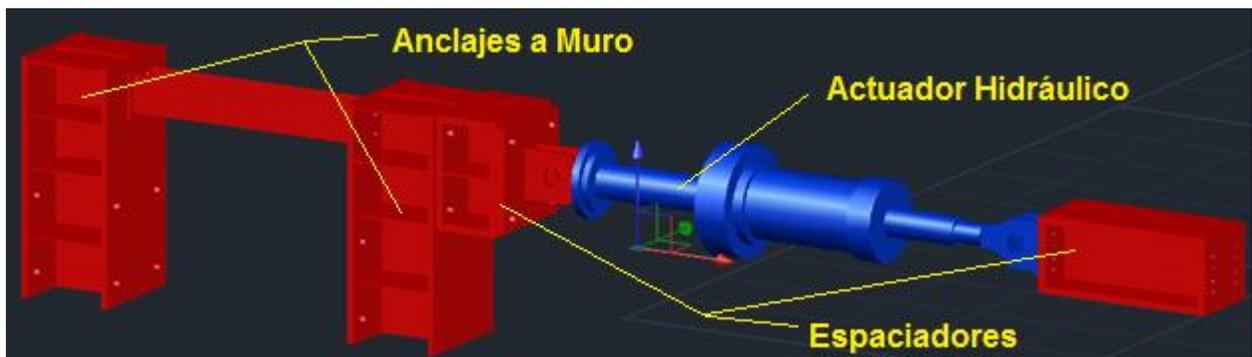


Figura 4-7 Conexión Actuador-Columna

Se puede notar en la Figura 4-7 Conexión Actuador-Columna que el actuador hidráulico le aplica una carga lateral a la probeta, por tanto, estos elementos están solicitados en flexión, compresión y tracción. Por lo cual, se debió tener en consideración la flexión, la fluencia por flexión, pandeo lateral torsional, pandeo del ala en compresión, corte de los elementos que componen esta conexión, fluencia en tracción del área bruta, ruptura en tracción en la sección neta, la resistencia en compresión, flexión local del ala, fluencia local del alma aplastamiento del alma, pandeo lateral del ala y pandeo del alma comprimida, estos últimos considerando cargas concentradas en los elementos.

El actuador hidráulico, debe conectarse a 3.5 m de altura en la probeta, tomando esta altura desde la rótula de conexión a la base. Sin embargo, tal como se puede ver en la Figura 4-1 Instalación Experimental (ver Anclajes a muro en Figura 4-7), el eje del actuador quedó por encima del muro de reacción, por lo que se debió diseñar una extensión de manera de poder conectar el actuador al muro. En el diseño de estas

extensiones del muro, se tuvo en consideración la resistencia tanto del acero como la del hormigón [13].

Las conexiones de las extensiones del muro al muro directamente, están hechas con barras con hilo mencionadas en la sección 3.3, barras de calidad especial.

Para ver en más detalle la geometría y memoria de cálculo de los espaciadores, como anclajes a muro y rótulas se pueden notar en el Anexo B y Anexo C de esta memoria.

4.2.4. Conexión Vigas-Losa

Las conexiones entre viga y losa, son los apoyos rotulados, los cuales como se hizo referencia en la explicación del modelamiento, corresponden a puntos de inflexión que se forman al haber una carga cíclica en un piso del edificio tipo presentado en el Capítulo 2.

La función de estas conexiones es que deben soportar cargas de compresión y tracción, estos están conectados a celdas de carga las cuales entregarán los esfuerzos que se desarrollan en estos apoyos debido a la carga cíclica.

Como se puede ver en la Figura 4-1 los apoyos de estas conexiones rígidas están rotuladas tanto a la base como a la viga de la probeta. La conexión tanto a la viga de la probeta como a la losa de reacción [13], se diseñaron con acero ASTM A36, sin embargo, el la extensión rígida es de calidad SAE 1045 [6] (ver Figura 4-8 Conexión Vigas-Losas).

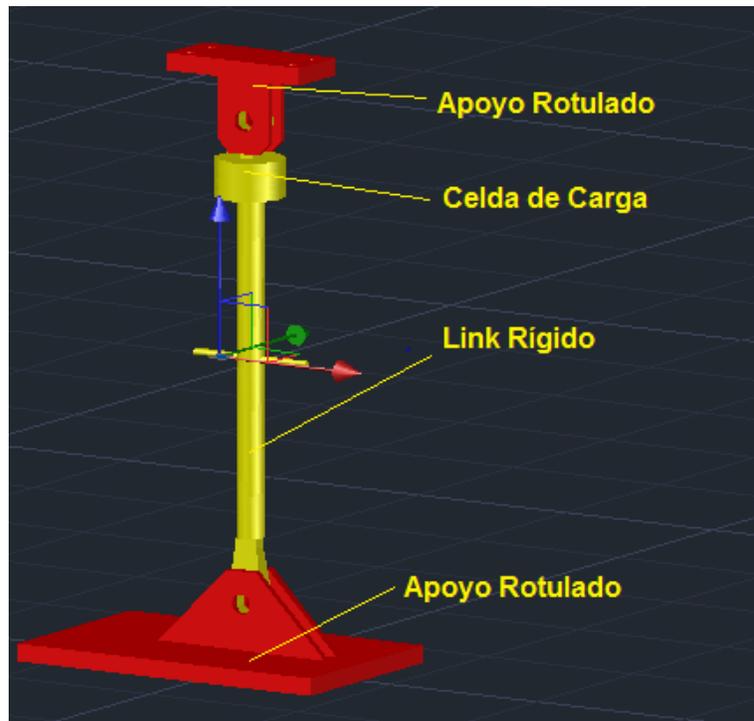


Figura 4-8 Conexión Vigas-Losas

El anclaje de esta conexión a la losa de reacción se realizó utilizando barras con hilo Gwy de 50 mm mostradas en la sección 3.3, mientras que la conexión a la viga de la probeta se realizó con pernos de alta resistencia tipo ASTM A325.

Se puede notar en la Figura 4-8 Conexión Vigas-Losas que las uniones son por medio de un pasador al igual que en la conexión Base-Columna, por lo cual, para el diseño de esta pieza de la instalación experimental se tuvieron en consideración la rotura en tracción del área efectiva, la rotura en corte del área efectiva, la resistencia de aplastamiento de pasadores, la fluencia en la sección bruta en tracción, la ruptura en tracción en la sección neta, la resistencia a flexión y corte del pasador en los apoyos rotulados. En las soldaduras se consideró la resistencia de soldaduras y para la conexión apernada correspondiente al apoyo rotulado superior de esta conexión se consideró la resistencia a la tracción y corte de los pernos. Todas las consideraciones de diseño anterior se hicieron considerando la AISC 360 [6].

En el diseño del link rígido de la Figura 4-8 Conexión Vigas-Losas, el cual está unido a la celda de carga como a la conexión a la losa, se consideraron resistencias de tracción y compresión en una sección.

Para ver en más detalle la geometría y memoria de cálculo del link rígido y de los apoyos rotulados a la viga como a la losa se pueden apreciar en el Anexo B y Anexo C de esta memoria.

4.2.5. Restricción Fuera del Plano

Como en este ensayo intervienen grandes cargas aportadas por el actuador hidráulico y gatos hidráulicos, el ideal del ensayo es que la probeta cruciforme sea ensayada y no pierda el plano de acción de la fuerza lateral. Es por esto que para evitar que la probeta se salga de este plano, se diseñó un marco de acero con guías en las vigas y la columna de la probeta (ver Figura 4-9 Marco de restricción fuera del plano).

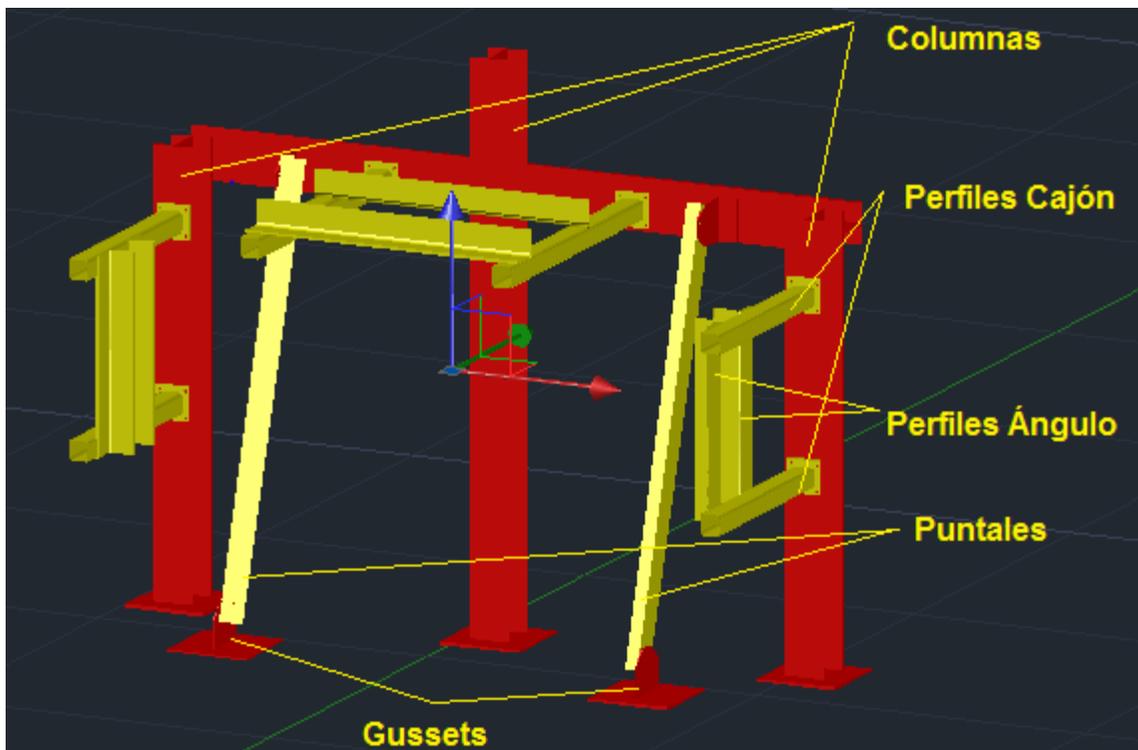


Figura 4-9 Marco de restricción fuera del plano

En el diseño de este marco de restricción fuera del plano, que está hecho en base a varias piezas conectadas mediante pernos, se consideraron esfuerzos de momento, tracción, compresión y corte para su dimensionamiento.

Para las columnas y la viga del marco que se pueden ver en la Figura 4-9 Marco de restricción fuera del plano se utilizaron consideraciones para fluencia por flexión,

pandeo lateral torsional, pandeo del ala en compresión. Estas fueron calculadas a flexión debido a que es el esfuerzo más solicitante para estas secciones de la instalación experimental.

El diseño de los puntales, que realizan el trabajo de tracción y compresión, se tuvieron consideraciones de diseño a fluencia en tracción en la sección bruta, ruptura en tracción en la sección neta y resistencia a la compresión. Estos puntales son perfiles tipo canal los cuales están unidos al marco y a la losa de reacción mediante gussets.

Los perfiles cajón que se pueden observar en la Figura 4-9 Marco de restricción fuera del plano deben recibir los esfuerzos que se generan cuando la probeta se sale de su eje, por lo cual estos perfiles deben resistir esfuerzos de tracción, compresión y momento. Por lo cual, se tuvieron consideraciones de diseño a fluencia en tracción en la sección bruta, ruptura en tracción en la sección neta, resistencia a la compresión, fluencia por flexión y pandeo del ala en compresión.

Adicionalmente, este marco está compuesto por perfiles ángulo (ver Figura 4-9 Marco de restricción fuera del plano), los cuales son los encargados de recibir directamente las cargas generadas cuando la probeta pierde su eje debido a las cargas cíclicas del actuador hidráulico, es por esto que para el dimensionamiento de estos perfiles se consideraron esfuerzos de momento que es el más solicitante. Por lo cual, se debe verificar la resistencia a la fluencia, la resistencia al pandeo lateral torsional.

En el diseño de todas las conexiones apernadas, se verificaron la resistencia a la tracción y la resistencia al corte de los pernos, pero además, como en algunas conexiones había tracción y corte, se consideraron la combinación de estos dos esfuerzos.

Para ver en más detalle la geometría y memoria de cálculo del marco de restricción lateral se pueden advertir en el Anexo B y Anexo C de esta memoria.

Capítulo 5

5. Sistema de Control y Adquisición de Datos

5.1. Introducción al Sistema de Control y Adquisición de Datos

Para poder ejecutar y realizar todas las mediciones de las variables físicas de interés del ensayo se debe tener un sistema de adquisición de datos adecuado y acorde a la instalación experimental. Además, se requiere de un sistema de control que permita manejar correctamente según las señales que se le ingresen a los elementos que intervienen en la perturbación de la probeta. Es clave tener en cuenta que los sistemas de control y de adquisición de datos, son sistemas autónomos, es decir que trabajan de manera independiente, cada uno con sus sensores y estos asociados a una tarjeta de adquisición o PLC en el caso del actuador y gatos hidráulicos, y computadores asociados a estos.

En nuestro caso, necesitaremos un sistema de control que pueda proporcionar los protocolos de carga del actuador hidráulico y que también pueda controlar la carga de los gatos hidráulicos para que se pueda implementar la compresión axial de la columna.

El diseño del sistema de control de esta instalación experimental se desarrolla en esta memoria pues el sistema de adquisición de datos estará a cargo del personal de laboratorio encargado de los ensayos.

5.1.1. Adquisición y distribución de señales

Tal como se señala en la sección 2.6 se pueden ver los diferentes sensores que se utilizan en la instalación experimental en la adquisición de datos, exponiendo las características y rangos de medición de éstos. Se puede observar que cada uno de estos sensores son de tipo análogo. Esto marca una diferencia y una guía a cómo debe ser la arquitectura del sistema de adquisición de datos y distribución de señales.

El sistema de adquisición de datos que utiliza el sistema de control como ya se ha hecho mención es a base a un PLC, el cual se muestra en la Figura 5-1.

Este sistema de control se asocia al sistema de control P, PI o PID (P para el caso del actuador hidráulico y PID en el caso del gato hidráulico) expuesto en la sección 2.13, en donde se explica el funcionamiento de este tipo de control el cual se asocia en base al error.

En el caso de los gatos hidráulicos, también se controlan mediante un PLC y un sistema de control PID Figura 5-2. Como se ha hecho mención, estos realizarán la compresión axial de la columna de manera constante, por lo cual el sistema control estará encargado de que esta compresión sea uniforme durante todo el ensayo.

Como se señaló anteriormente, los sistemas de control están ligados a un sensor y este dependerá del tipo de control que se requiera realizar. En este caso, para llevar a cabo el control de los gatos hidráulicos, se utilizará una celda de carga a compresión. De esta manera la compresión de la columna será constante “relativamente” durante todos los ensayos, y para el caso del actuador hidráulico, el control está asociado a una celda de carga y un LVDT, en donde se tendrá el control del desplazamiento asociado al protocolo de carga [18].

En la adquisición de los datos de las mediciones tanto de los LVDT, como de los inclinómetros y las celdas de carga, mostrados en las secciones 2.6.1, 2.6.2 y 2.6.3, se necesitan tarjetas de adquisición, las que captan las variaciones de voltaje que entregan los sensores de la instalación de ensayos y las envían al computador, quien es el encargado de almacenar la información.

Antiguamente las tarjetas de adquisición de datos se conectaban directamente al computador el cual guardaba los datos entregados por la instrumentación en los diferentes ensayos. Sin embargo, debido a que los computadores poseen variados circuitos internos y esto sumado al ruido de dispositivos electromagnéticos, ruido de la estructura, en donde, a menudo interferían con los registros de la variable de interés, es por esto que los acondicionadores de señal juegan un papel importante en la

adquisición de datos. Estos pueden ser externos o estar incluidos en los diferentes instrumentos de medición [19].



Figura 5-1 PLC actuador hidráulico

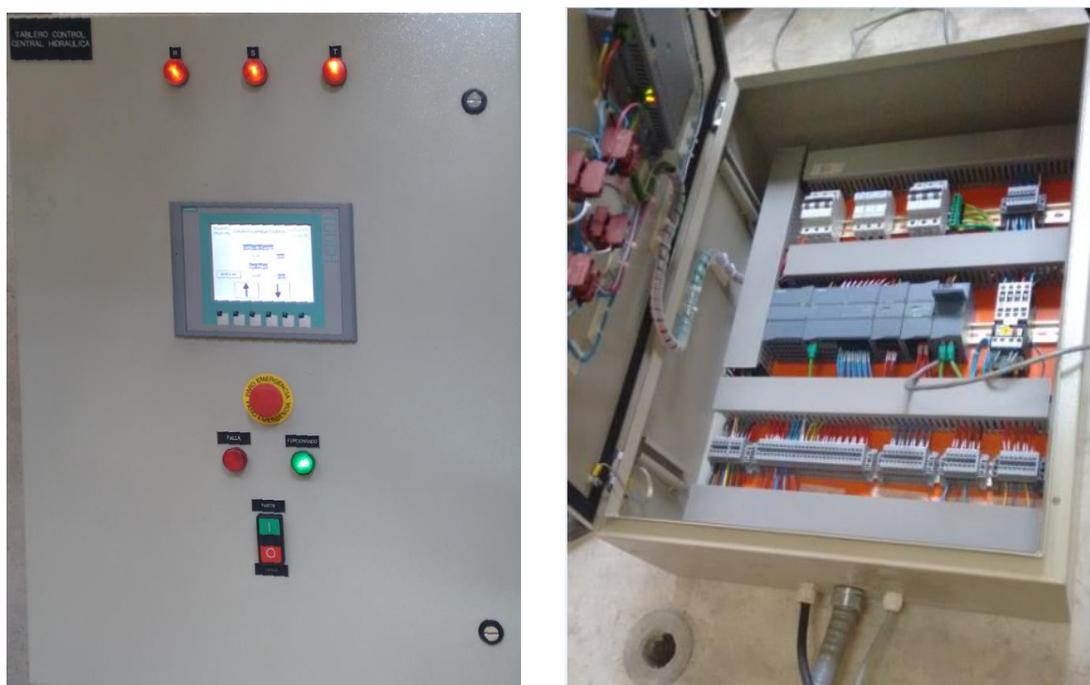


Figura 5-2 PLC gatos hidráulicos

Se puede distinguir en Figura 5-3 Tarjetas de adquisición NI 9235 y NI 9237 [20] las diferentes tarjetas de adquisición de datos que se utilizarán en la instalación experimental. En donde la tarjeta NI 9235 es la tarjeta encargada de la adquisición de los datos entregados por los LVDT e inclinómetros.

Cada tarjeta NI 9235 tiene cuatro terminales, como se puede observar en la Figura 5-4 Chasis de adquisición de datos hay tres tarjetas conectadas, por lo cual se pueden conectar a la terminal doce instrumentos de este tipo (LVDT e inclinómetros).

La tarjeta NI 9237 también posee cuatro terminales, este tipo de tarjeta se encarga de la adquisición de datos entregados por las celdas de carga. Que en este caso son dos de compresión y/o tracción y una a compresión.

Estas tarjetas de adquisición tanto la NI 9235 y NI 9237 traen incluidas un acondicionador de señal y un filtro integradas, de este modo, no es necesario tener un acondicionador de señales externo.



Figura 5-3 Tarjetas de adquisición NI 9235 y NI 9237

Como se puede ver en la Figura 5-4 Chasis de adquisición de datos, las tarjetas están conectadas en serie y desde aquí las señales son entregadas al computador mediante un cable Ethernet. Es decir, actúa como un interfaz entre el computador y las señales producidas por los sensores en los ensayos. De este modo se digitalizan las señales análogas para que puedan ser interpretadas por el computador.

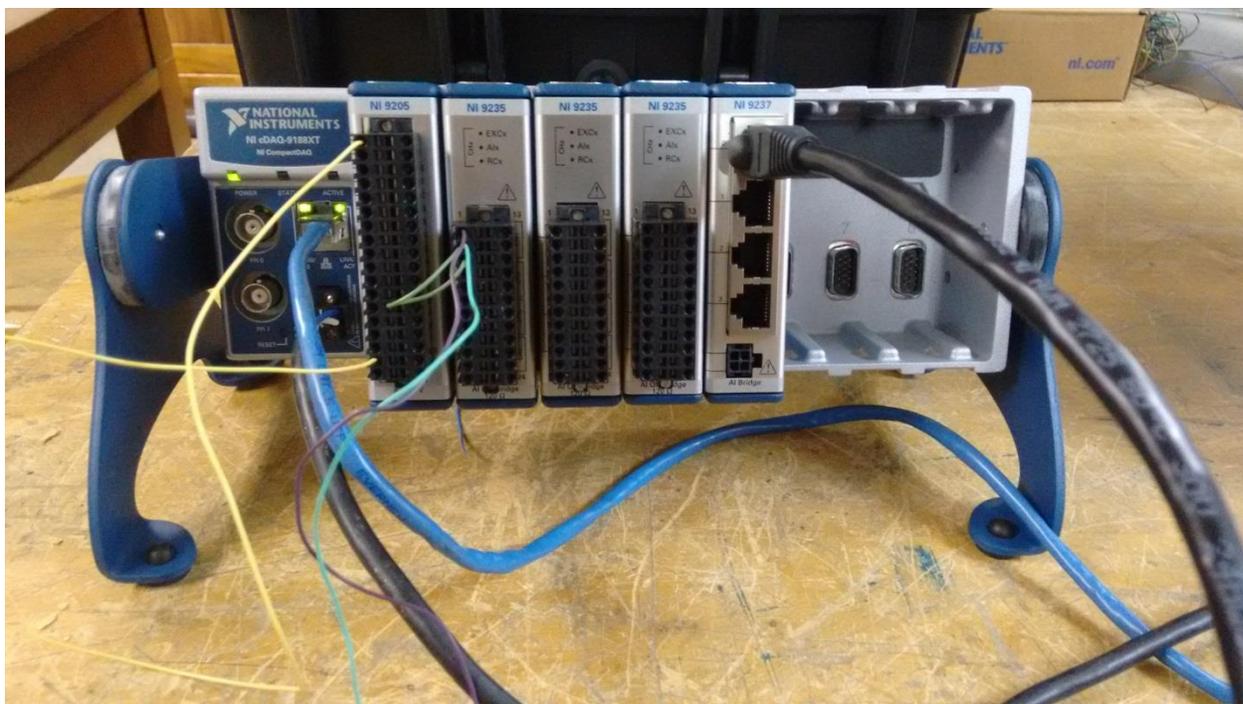


Figura 5-4 Chasis de adquisición de datos

Las características de las tarjetas de adquisición de datos NI 9235 y NI 9237 se encuentran en Tabla 5.1 y Tabla 5.2.

Tabla 5.1. Características de entrada de la tarjeta de adquisición NI 9235

Características de Entrada	
Número de Canales	8
ADC resolución	24 bits
Tipo de ADC	Delta-Sigma (con prefiltro análogo)
Frecuencia de muestreo	12,8 MHz
Rango	+ - 29,4 mV/V
Precisión	0,02957 mV/V
Excitación de voltaje	2 V
Acondicionamiento de señales	Excitación de voltaje
	Filtro anti-aliasing
	Terminación de puente

Tabla 5.2. Características de entrada de la tarjeta de adquisición NI 9237

Características de Entrada	
Número de Canales	4
ADC resolución	24 bits
Tipo de ADC	Delta-Sigma (con prefiltro análogo)
Frecuencia de muestreo	12,8 MHz
Rango	+ - 25 mV/V
Precisión	0,0375 mV/V
Excitación de voltaje	2 V
	2,5 V
	3,3 V
	5 V
	10 V
Acondicionamiento de señales	Excitación de voltaje
	Filtro anti-aliasing
	Terminación de puente

5.2. Calibración de los sistemas de control

5.2.1. Calibración del sistema control del actuador hidráulico

Como se hizo mención en la sección 2.13, existen diferentes tipos de control que se pueden utilizar para poder controlar el sistema, el más utilizado en este tipo de ensayos es el PID.

Para el sistema del actuador hidráulico, se utilizó el control P, el cual como se muestra en la ecuación (2-2), se tiene una constante " G_p " la cual es la ganancia del controlador "P". Como se ha hecho referencia, este tipo de control está relacionado con el error entre la lectura de la adquisición de datos y el valor o registro ingresado al sistema de control.

El valor de la ganancia tiene gran relevancia en el control del ensayo, debido a que para un valor de ganancia pequeño la señal del controlador no será capaz de seguir al registro ingresado al sistema control y para un valor muy grande de la ganancia, existe una alta probabilidad que el sistema comience a oscilar entre los valores del registro ingresado no encontrando convergencia a esta última.

Existen varios métodos para encontrar aproximaciones a la constante " G_p ", sin embargo, el método más eficaz es experimentalmente, es decir en base a prueba y error.

5.2.2. Calibración del sistema de control de los gatos hidráulicos

Como se mencionó en la sección 2.12 los gatos hidráulicos se controlan en base a un controlador PID explicado en la sección 2.13, en donde por medio de una celda de carga y el PID se mantiene a la columna de la probeta en compresión continua con la carga a la cual fue seteada.

La calibración de este sistema de control la realizaron los proveedores de la bomba hidráulica, en donde, fue necesaria la conexión a una celda de carga de modo de registrar la compresión a la cual llegaban los gatos hidráulicos. En esta tarea fue necesaria la integración del PLC con la celda de carga y con el computador.

Para calibrar el sistema de control PID, primero se seteo una carga en el panel del PLC y se verificó en la celda de carga. Luego de tener una buena aproximación a la carga, se hizo variar la carga de compresión, esto a modo de verificar la velocidad de convergencia y la amplitud de oscilación para llegar al valor de la carga seteada. Se realiza esto iterativamente variando parámetros en las ganancias del PID hasta obtener una velocidad de convergencia y amplitud de oscilación aceptables.

Es por esto que el sistema de control de los gatos hidráulicos queda calibrado cuando la velocidad de convergencia a la carga seteada es lenta y la amplitud de oscilación cercana a la carga es pequeña (± 0.4 toneladas).

5.3. Instrumentación en el Ensayo

Tal como se señala en la sección 2.6, en el ensayo se utilizan LVDT, inclinómetros y celdas de carga, ya que se quiere conocer lo que sucede en ciertas partes de la probeta donde se prevé una falla asociada a ciertas cargas. Es por esto que la instrumentación mencionada se encuentra en estas zonas de modo de lograr obtener la información de desplazamientos, giros o cargas a las cuales se producen las fallas.

Tal como se muestra en la Figura 5-5 hay dos LVDT dispuestos en la zona panel de la probeta cruciforme, esto es para captar la rotación a la que se encuentra expuesta esta zona debido a la carga cíclica cuasi estática proporcionada por el actuador hidráulico, y también, posible falla de la zona panel. En la misma figura se pueden distinguir seis inclinómetros en la probeta, estos están dispuestos uno en la cara de la columna; otro donde termina la conexión entre la columna y la viga; el otro a una distancia de una altura de viga desde el término de la conexión. Todo esto para poder verificar la rotación que sucede en estos lugares y poder identificar en los lugares donde la probeta pueda fallar, como por ejemplo, la falla por rótula plástica en las vigas de la probeta.

En la Figura 5-6, se puede observar que los instrumentos de medición son sólo LVDT's, esto debido a que se quiere verificar cual es el desplazamiento que se tiene en

el apoyo rotulado de la columna, esto debido a que es aquí donde se deben resistir los esfuerzos entregados por el actuador hidráulico y la compresión axial entregada por los gatos hidráulicos.

En la Figura 5-7, se puede observar que la instrumentación en este lugar son un LVDT y una celda de carga. El LVDT mide el desplazamiento que ocurre en este punto de la viga y la celda de carga es para medir los esfuerzos que se generan en este lugar debido a la acción del actuador hidráulico. Como es un ensayo cíclico en este lugar se desarrollan esfuerzos de compresión y tracción.

En la Figura 5-8, se tiene una celda de carga la cual está asociada al sistema control de los gatos hidráulicos para la aplicación de compresión axial en la columna de la probeta cruciforme.

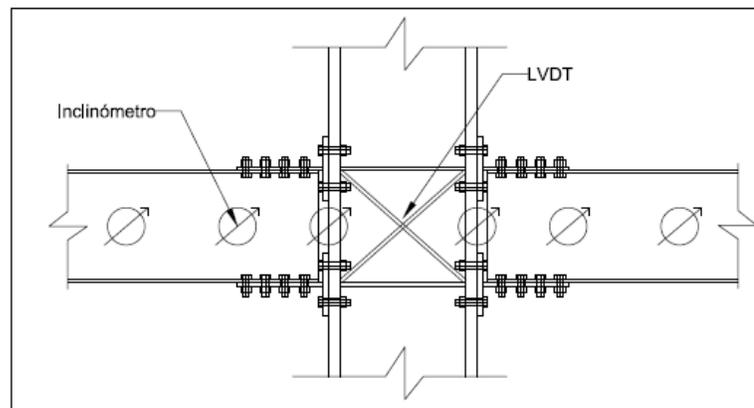


Figura 5-5 Disposición de LDVT en zona panel e inclinómetros

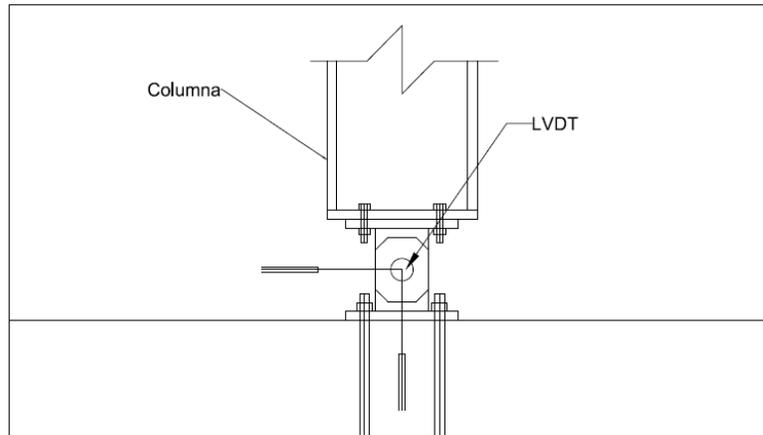


Figura 5-6 Disposición de LVDT en conexión rotulada

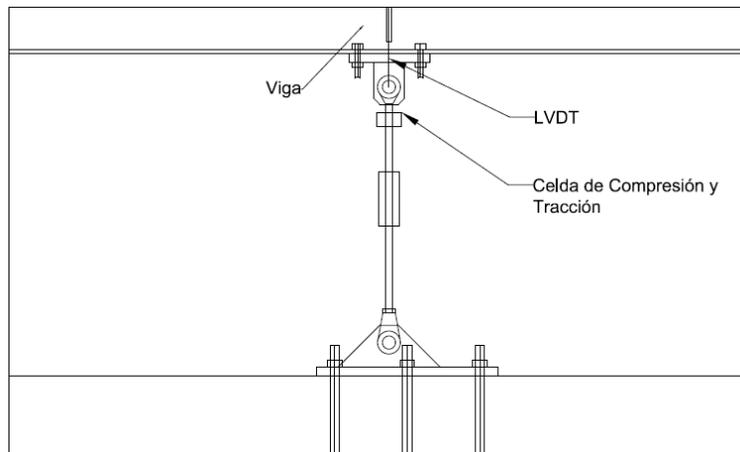


Figura 5-7 Disposición de LDVT y celda de carga en link rígido

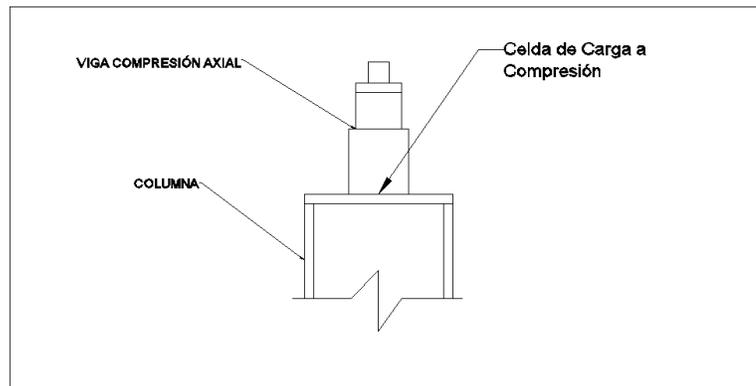


Figura 5-8 Disposición celda de carga en viga de compresión axial

En la adquisición de los datos entregados por cada uno de los sensores, estos se deben conectar a cada tarjeta de adquisición de datos y estas a su vez se instalan en el chasis. Para lo anterior, se utilizarán los canales y módulos de adquisición de datos según sensor mostrados en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Secuencia de canales del sistema de adquisición de datos

Elemento	Instrumento	Módulo	Canal
Actuador Hidráulico	LVDT 0	PLC 0	1
	Celda de carga 1	PLC 0	2
Compresión de la columna	Celda de carga 2	PLC 1	3
Zona Panel	LVDT 1	2	0
	LVDT 2	2	1
Conexión viga-columna de Norte a Sur	Inclinómetro 1	2	2
	Inclinómetro 2	2	3
	Inclinómetro 3	3	0
	Inclinómetro 4	3	1
	Inclinómetro 5	3	2
	Inclinómetro 6	3	3
Conexión Links de Norte a Sur	LVDT 3	4	1
	LVDT 4	4	2
	Celda de carga 3	5	0
	Celda de carga 4	5	1

Capítulo 6

6. Montaje Experimental

Como se mencionó en la sección 2.3 el montaje de la instalación experimental se concretó en el laboratorio de estructuras del Departamento de Ingeniería Civil.

Inicialmente se montaron las columnas del marco de restricción fuera del plano, las cuales se muestran en la sección 4.2.5, a estas se les soldaron argollas en terreno para erguir las en su posición utilizando el puente grúa del laboratorio (sección 2.3). Estas columnas fueron ancladas a la losa utilizando barras con hilo como lo muestra la Figura 6-1 Posicionamiento de columnas.



Figura 6-1 Posicionamiento de columnas

Luego del posicionamiento de las tres columnas, se procedió a montar la viga de amarre del sistema de restricción lateral. La cual fue instalada utilizando un tecele con capacidad de una tonelada, este fue instalado en la columna central, y así, se pudo izar la viga de manera balanceada para posteriormente ser apernada a las tres columnas (ver Figura 6-2).



Figura 6-2 Viga del marco de restricción lateral

Luego del posicionamiento de las columnas y la viga del marco de restricción lateral, se procedió al armado del espaciador (ver Figura 6-3) el cual ancla al muro de reacción el sistema de conexión Actuador-Columna (sección 4.2.3). El ensamble de esta pieza se realizó a nivel de suelo para luego por medio del puente grúa encajarlo en el muro y anclarlo con barras hiladas (ver Figura 6-4).



Figura 6-3 Espaciador conexión Actuador-Columna



Figura 6-4 Espaciador anclado al muro de reacción

Luego de esto, se procedió a colocar los gussets de los puntales del marco de restricción lateral tanto en la viga como en la losa Figura 6-5 para luego montar los perfiles cajón del sistema de restricción fuera del plano, ver Figura 6-6Figura 6-7.



Figura 6-5 Gussets de la instalación experimental



Figura 6-6 Montaje de perfiles cajón del marco de restricción fuera del plano

Una vez instalados los perfiles cajón y teniendo los gussets en su lugar, se procedió a la colocación de los puntales diagonales, que ayudan a la resistencia del marco fuera de su plano, ver Figura 6-7.



Figura 6-7 Perfiles Canal (puntales diagonales)

En todas las bases ancladas de la instalación experimental se aplicó un nivelante de manera que no quedaran espacios entre las bases de acero y la losa de hormigón. Esto para que al postensar las barras de anclaje las placas bajo las columnas no se deformaran, ver Figura 6-8.

Una vez teniendo todos los elementos de sujeción posicionados y con las barras de anclaje pasadas en la losa se procedió a realizar el postensado de las barras. En este procedimiento se utilizó un gato hidráulico, una bomba de aceite, la celda de carga y controlador PLC de los gatos hidráulicos. La postensión de las barras de anclaje se realizó por sobre y debajo de la losa dependiendo de las posibilidades de espacio y geometría de las demás piezas, ver Figura 6-9.



Figura 6-8 Aplicación de Nivelante



Figura 6-9 Postensado de barras de anclaje sobre y bajo la losa

Es importante mencionar que estas piezas de sujeción de la columna y vigas, deben ser alineadas, niveladas y postensadas, de modo que las piezas queden en el plano de acción de fuerzas y ancladas a la losa de reacción de manera satisfactoria.

Una vez teniendo el marco de restricción lateral completamente montado con todos los apoyos de este y de la probeta postensados, se puede comenzar con el montaje de la probeta cruciforme.

Para llevar a cabo el montaje de la probeta, primero se coloca la columna. Por tanto, primero se debe apernar la base rotulada la columna, luego el conjunto debe ser izado, posicionado en el anclaje a la losa y luego fijar la rótula con un pasador como lo muestra la Figura 6-10.

Posicionada la columna, se procedió a la colocación de la conexión inferior entre la columna y la viga en ambos lados de la columna, ver Figura 6-11.



Figura 6-10 Posicionamiento de la Columna de la Probeta



Figura 6-11 Posicionamiento de Conexión Viga-Columna

Teniendo las conexiones inferiores en ambos lados de la columna se procedió al montaje de las vigas de la probeta ver Figura 6-12, luego del posicionamiento de la viga se procedió a colocar las conexiones viga-columna superiores en ambos lados de la columna, y también apernar las llaves de corte ver Figura 6-13.



Figura 6-12 Montaje de la Viga de la Probeta



Figura 6-13 Posicionamiento de Conexiones Superiores y Llave de Corte

Una vez posicionadas las vigas de la probeta, se procede al montaje de la conexión vigas-losa de la sección 4.2.4. Esta conexión sufrió algunas modificaciones, debido a que al momento de intentar el ensamblaje entre los elementos pertenecientes a esta conexión, los cabezales de la celda de carga no se pudieron encajar en la unión rotulada. Por este motivo se tuvo que diseñar un cabezal similar al de la celda de carga

pero con un hilo macho más largo, y también, la conexión rotulada que va unida a la viga se tuvo que cortar y reforzar, soldándole placas de acero a ambos lados de las placas paralelas. Para de esta manera poder materializar la conexión viga-losa de forma satisfactoria.

Por este motivo, el montaje de la instalación quedó parcialmente terminado, dado que la rectificación de estas piezas tomó un plazo considerable, esto sumado al retraso total del proyecto (entre el tiempo de construcción del laboratorio, retrasos propios de la compra y fabricación de las piezas de la instalación experimental) y el tiempo las prórrogas de entrega de este ejemplar se cumplieron, por lo cual, en este trabajo de título no se muestra la instalación experimental totalmente montada.

La conexión entre el actuador hidráulico y la probeta se realiza sólo conectando los elementos espaciadores, rótula y actuador mediante uniones apernadas. Es importante mencionar que todos los pernos de la probeta se les deben aplicar la pretensión mínima dependiendo del tamaño y calidad del perno. Para los pernos de la instalación experimental se debe garantizar que los elementos a los cuales conectan no se separen y se mantengan siempre en contacto, dependiendo de las cargas a las cuales están sometidos. Por los motivos expuestos en el párrafo anterior, esta conexión no se alcanzó a montar, y por tanto, no está incluida en este trabajo de título.

Para el posicionamiento de los sensores de desplazamiento LVDT, se confeccionaron soportes especiales en acrílico y PVC. Se escogieron estos materiales de modo que no exista interferencia de lectura en los sensores con el acero, ver Figura 6-14 Soportes LVDT.

El montaje de la instalación experimental se llevó a cabo bajo todas las medidas de seguridad pertinentes, realizando AST (Análisis Seguro de Trabajo) diarias en el laboratorio, en donde, cada actividad realizada se planificó tomando conciencia los riesgos de cada tarea, de este modo se tomaron medidas necesarias para evitar accidentes; utilizando elementos de protección personal entre otros resguardos. Es así como lo que se pudo montar se realizó de manera segura y satisfactoria, ver Anexo D.



Figura 6-14 Soportes LVDT

Capítulo 7

7. Conclusiones y Recomendaciones

En términos generales, se lograron cumplir con los objetivos planteados al inicio de esta memoria, dado que se logró diseñar una instalación experimental para el ensayo de conexiones utilizando la AISC [6]. Luego del diseño se cotizó en diferentes maestranzas para luego enviar a fabricación las piezas de esta instalación de ensayos, y finalmente se pudo montar de manera parcial en el laboratorio de estructuras del Departamento de Ingeniería Civil.

Además, en términos específicos se pudo realizar una comparación entre instalaciones experimentales similares, en donde particularmente se analizó y comparó con la utilizada por Engelhardt [15] en sus reportes a FEMA por medio del proyecto *SAC Steel Project*. Obteniéndose dimensiones similares en instalaciones experimentales de cargas cíclicas. Actualmente en Chile no existen instalaciones experimentales similares a la desarrollada en este trabajo, es por esto que se espera que esta instalación experimental sea un aporte a la investigación de diferentes tipos de conexiones, columnas, vigas, entre otros tipos de configuraciones de probetas cruciformes.

La instalación experimental se diseñó con un factor de utilización bajo 0,8 debido a que esta no puede fallar ante las cargas a las cuales está solicitada, y por esto lo que se requiere es que soporte sin mayor problema las cargas laterales y de compresión.

Adicionalmente, se logró elegir la instrumentación adecuada para el ensayo, de modo que se pueden obtener todas las variables de interés tanto desplazamientos, rotaciones, derivas y esfuerzos generados por la acción de las fuerzas cíclicas y de compresión entregadas por el actuador y gatos hidráulicos respectivamente.

Se logró generar una metodología de montaje de la instalación experimental, en donde se muestran las consideraciones en anclaje de columnas y piezas especiales. Así como también, un orden de armado sugerido para el cual no hay interrupciones en el montaje con otras piezas de la instalación experimental.

Además, tanto para la descarga de materiales como para el montaje de la instalación experimental en el laboratorio de estructuras, se utilizaron todas las herramientas de protección personal y se planificaron los riesgos de las maniobras, de manera que no ocurrió ningún accidente de gravedad en ambas etapas del proyecto y los que sucedieron fueron leves. Esto considerando que el ensayo es a escala real y las piezas de la instalación experimental pueden llegar a sobrepasar los 500 [kg], por lo cual, cualquier eventualidad o accidente con una de las componentes de la instalación experimental podría causar un daño grave a las personas que estén ejecutando las obras o a terceros, pues en el laboratorio se pueden efectuar varios ensayos simultáneamente.

Sumado esto, como se puede ver en el Anexo A, se generó una metodología de ensayos, de manera que se pueda operar correctamente el ensayo, tanto los sistemas de control, como la adquisición de datos para realizar las pruebas, explicando y detallando los procedimientos necesarios para poder realizar los ensayos y así obtener resultados fidedignos, acorde con los tipos de conexiones y materiales de la probeta ensayada.

Como recomendación al desarrollo de instalaciones experimentales similares, se invita tener en consideración las holguras de los diferentes materiales, en este caso entre el hormigón y el acero, de manera que las piezas encajen sin ser forzadas o sin tener que realizar ajustes en terreno, así como también, tener en consideración las piezas existentes que tengan lugar en la instalación experimental, de modo de que puedan conectarse correctamente con las piezas diseñadas. Además, para piezas grandes o muy pesadas que necesariamente se deben mover con un puente grúa o tecla, se recomienda diseñarlas con argollas o algún sistema de enganche de manera de evitar soldar ganchos o argollas en terreno.

Bibliografía

- [1] FEMA 350 2000. Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings
- [2] COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL), 2010. Estudio Económico 2010-2011.
- [3] MONTECINOS R., et al 2010. Estructuras Industriales en Chile y el Sismo del 27 de Febrero, Capítulo 8.
- [4] SWANSON J. y LEON R. 2000. Bolted Steel Connections: Tests on T-stub Components Journal of Structural Engineering, ASCE, January: 50-56
- [5] SWANSON, J. A. 1999. Characterization of the Strength, Stiffness, and Ductility Characteristics of T-stub Connections. Ph.D. Dissertation. Georgia Institute of Technology.
- [6] AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION INC. (AISC), 2010. Specification for Structural Steel Buildings, Chicago, Illinois.
- [7] AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION INC. (AISC) 2010, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.
- [8] INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN), 2002, NCh2369 of. 2003, Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales
- [9] BRAVO H., M. 2013 Estudio Analítico Experimental de Perfiles T soldados Sometidos a carga Cíclica. Tesis para optar al título de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Mención Ingeniería Sísmica, Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- [10] NACIF H., D. 2008 Diseño de Sistema para Ensayo de Probetas en Esfuerzo de Flexo-Compresión. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- [11] BARRIENTOS O., J. F. 2009 Montaje, Puesta en Marcha y Calibración de una Mesa de Vibrar de un Grado de Libertad. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- [12] PARRA C., P. J. 2010 Instalación y puesta en marcha de un sistema de ensayo de barras con control por fuerza y deformación. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- [13] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) 2005, ACI 318 Apéndice D
- [14] GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, SAC Steel Project [en línea] <<http://sac.ce.gatech.edu/>> [consulta: 21 octubre 2015]
- [15] ENGELHARDT M., 2000 Behavior and Design of Radius Cut Reduced Beam Section Connections, Report No. SAC/BD-00/17, August 2000
- [16] HERRERA R. et al, 2004 Experimental Studies on Steel Moment Resisting Frames with Concrete Filled Tube Columns Under Earthquake Loading Conditions, Paper No. 1591, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada
- [17] ALARCÓN , C. 2016 Análisis Numérico de Conexiones DBT (Double Built up Tee) Para Marcos Sismoresistentes. Memoria para optar al título de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Sísmica, Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

- [18] SAC Joint Venture, 1997 Protocol for Fabrication, Inspection, Testing, and Documentation of Beam-Column Connection Test and Other Experimental Specimens, Report No. SAC/BD-97/02 Version 1.1
- [19] Measurement Computing Corporation, 2012 Data Acquisitions Handbook
- [20] NATIONAL INSTRUMENTS, NI 9232, NI 9236 [en línea]
<<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/208790>> [consulta: 15 agosto 2015]

Anexos

Anexo A

Metodología Experimental

Como se hizo mención en la sección 2.3 la instalación experimental tiene lugar en el nuevo laboratorio de estructuras del Departamento de Ingeniería Civil. Para poder llevar a cabo cualquier ensayo de conexiones utilizando probetas cruciformes en esta instalación experimental se deben tener en consideración diferentes parámetros y secuencias de acción, sin las cuales los ensayos no tendrán los resultados esperados, o no se replicarán las condiciones para las cuales la probeta fue modelada, o simplemente no se podrá ensayar.

Es por esto que una vez ensambladas todas las piezas tanto de la instalación experimental como la probeta unida a esta y al actuador hidráulico, además de la viga de compresión axial y gatos hidráulicos, se deben seguir los siguientes pasos:

- a) Revisar el correcto estado de barras, golillas, pernos y tuercas tanto en la instalación experimental como en la probeta cruciforme
- b) Pintar con mezcla de cal, agua y sal en los lugares de interés de los estudios (zona panel, conexiones entre viga-columna y viga en la zona de rotulación plástica) a modo de poder observar las líneas de estiramiento y fisuración de la probeta al ser ensayada
- c) Enumerar y etiquetar los sensores y asociarlos a un canal de medición, estos mostrados en la Tabla 5.3, para la adquisición de datos
- d) Instalar y conectar los LVDT, inclinómetros y celdas de carga a sus respectivos canales
- e) Verificar si los sensores funcionan correctamente, a modo de asegurar que estos están conectados a en los canales indicados y que estén midiendo realmente
- f) Verificar que estén en buenas condiciones las mangueras de las bombas de aceite, tanto la del actuador hidráulico, como de los gatos hidráulicos

- g) Encender bombas de aceite para el actuador hidráulico como para gatos hidráulicos
- h) Cargar el protocolo de carga [18] en el computador controlador del actuador hidráulico, a menos que se realicen los desplazamientos del actuador de forma manual
- i) Aplicar la compresión axial de la columna utilizando el PLC de los gatos hidráulicos, seteando la carga deseada en el panel de control (25 toneladas para cada gato hidráulico)
- j) Configurar el archivo en donde se guardarán los registros
- k) Dar inicio a la lectura del computador y adquisición de datos
- l) Dar inicio a la acción al controlador del actuador hidráulico o comenzar la aplicación de desplazamiento manualmente
- m) Observar el ensayo, en caso de haber alguna señal de fisuración o falla en algún miembro de la probeta se puede detener para identificar qué tipo de falla y en qué miembro de la probeta sucedió. Luego se puede seguir el ensayo para que la probeta siga su modo de falla o fallen otros miembros.
- n) Cuando la falla se haya desarrollado completamente, se debe detener el ensayo en el controlador del actuador hidráulico.
- o) Detener las mediciones de los sensores y guardar los registros del ensayo
- p) Quitarle la carga de compresión axial a la probeta, seteando en cero el PLC de los gatos hidráulicos.
- q) Ante cualquier eventualidad en el transcurso de las pruebas de probetas cruciformes que pueda causar daño a los participantes o espectadores de esta, se debe detener el ensayo presionando el apagado en el PLC de los gatos hidráulicos (dejando de ejercer compresión axial a la probeta), volver a la posición cero con el actuador hidráulico y despresurizar las bombas tanto del actuador como de los gatos.

Anexo B

Memorias de Cálculo

Pasador y Rótula de la Columna

$$\text{tonf} := 1 \text{ tonnef}$$

En este caso, la columna está sometida a compresión y corte en la conexión del pasador, por lo cual, se tiene que:

$$a := 110 \text{ mm}$$

$$k := 2 \text{ in} + 7 \frac{\text{in}}{8}$$

$$t := 63 \text{ mm}$$

$$d := 120 \text{ mm}$$

$$k = 7.302 \cdot \text{cm}$$

$$b := 80 \text{ mm}$$

$$b_c := \begin{cases} 2 \cdot t + 16 \text{ mm} & \text{if } 2 \cdot t + 16 \text{ mm} \leq b \\ b & \text{otherwise} \end{cases} \quad b_c = 80 \text{ mm}$$

$$w := 2 \cdot b_c + d$$

$$w = 28 \cdot \text{cm}$$

Diseño a tracción:

$$\Omega_{sf} := 2.00$$

$$F_u := 58.0151 \text{ ksi}$$

$$F_u = 400 \cdot \text{MPa}$$

(a) Para rotura en tracción en el area neta efectiva:

$$P_{n1} := F_u \cdot 2 \cdot t \cdot b_c$$

$$P_{n1} = 411.15 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{adm1} := \frac{P_{n1}}{\Omega_{sf}}$$

$$P_{adm1} = 205.575 \cdot \text{tonf}$$

(b) Para rotura en corte en el área efectiva:

Corte:

$$P_n = 0.6 \cdot F_u \cdot A_{sf}$$

De este modo se tiene que:

$$A_{sf} := 2 \cdot t \cdot \left(a + \frac{d}{2} \right)$$

$$A_{sf} = 214.2 \cdot \text{cm}^2$$

Así, diseñamos para esta carga de corte

$$P_{nv} := 0.6 \cdot F_u \cdot A_{sf}$$

$$P_{nv} = 524.216 \cdot \text{tonf}$$

Por lo cual, el corte admisible será:

$$P_{adm2} = \frac{P_{nv}}{\Omega_{sf}}$$

Así se tiene que:

$$P_{adm2} := \frac{P_{nv}}{\Omega_{sf}} \quad P_{adm2} = 262.108 \cdot \text{tonf}$$

(c) Para aplastamiento en el área proyectada del pasador (sección J7)

c.1) Resistencia de aplastamiento nominal para pasadores:

$$R_n = 1.8 \cdot F_y \cdot A_{pb}$$

donde,

F_y: tensión de fluencia mínima

A_{pb}: área proyectada de apoyo

$$F_y := 36.2595 \text{ksi} \quad F_y = 250 \cdot \text{MPa}$$

$$A_{pb} := t \cdot d = 75.6 \cdot \text{cm}^2$$

$$R_{n3} := 1.8 F_y \cdot A_{pb} \quad R_{n3} = 346.908 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{adm3} := \frac{R_{n3}}{\Omega_{sf}} \quad R_{adm3} = 173.454 \cdot \text{tonf}$$

(d) Para fluencia en la sección bruta (sección D2(a))

d.1) Para fluencia en tracción en la sección bruta:

$$P_{n4} = F_y \cdot A_g$$

$$\Omega_t := 1.67$$

donde,

A_g: area bruta del miembro

F_y: tensión de fluencia mínima

$$A_g := t \cdot w \quad A_g = 176.4 \cdot \text{cm}^2$$

$$P_{n4} := F_y \cdot A_g \quad P_{n4} = 449.696 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{adm4} := \frac{P_{n4}}{\Omega_t} \quad P_{adm4} = 269.279 \cdot \text{tonf}$$

d.2) Para ruptura en tracción en la sección neta:

$$P_{n5} = F_u \cdot A_e$$

$$\Omega_T := 2.00$$

donde,

Ae: área neta efectiva

Fu: tensión última mínima especificada

An: área neta

U: factor de corte diferido

$$A_e = A_n \cdot U$$

$$A_n := t \cdot (w - d) \quad A_n = 100.8 \cdot \text{cm}^2$$

$$U := 1 - 0.15 \quad U = 0.85$$

$$A_e := A_n \cdot U \quad A_e = 85.68 \cdot \text{cm}^2$$

De este modo la resistencia a ruptura en tracción es:

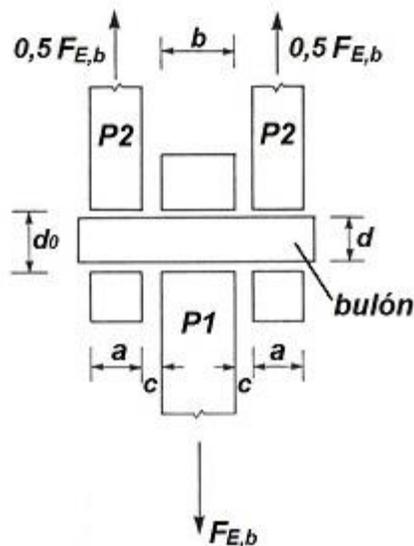
$$P_{n5} := F_u \cdot A_e \quad P_{n5} = 349.477 \cdot \text{tonf}$$

Llegando así, a que la carga admisible para este modo de falla es:

$$P_{adm5} := \frac{P_{n5}}{\Omega_T} \quad P_{adm5} = 174.739 \cdot \text{tonf}$$

(e) Diseño para prevenir la falla del pasador

e.1) Resistencia de diseño a flexión de un pasador



Usaremos para esta figura la nomenclatura:

$$\begin{aligned} a &= a1 \\ b &= b1 = t \\ c &= c1 \end{aligned}$$

$$a1 := 35\text{mm}$$

$$a1 = 3.5 \cdot \text{cr}$$

$$b1 := t$$

$$b1 = 6.3 \cdot \text{cr}$$

$$c1 := 7.5\text{mm}$$

$$b1 + 2c1 = 0.078\text{m}$$

$$F_{yp} := 40 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

El momento flector solicitante está dado por:

$$M_{Eb} := 214.4\text{tonf} \cdot \left(\frac{b1 + 4c1 + 2a1}{8} \right)$$

$$M_{Eb} = 436.84 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cr}$$

$$M_n = 1.5 \cdot F_{yp} \cdot \pi \cdot \frac{d^3}{32}$$

$$\Omega_{pas} := 1.67$$

$$F_y := 36 \text{ksi}$$

$$F_u = 400 \text{MPa}$$

Por lo cual,

$$M_n := \frac{1.5 \cdot F_{yp} \cdot \pi \cdot d^3}{32}$$

$$M_n = 1017.9 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{adm} := \frac{M_n}{\Omega_{pas}}$$

$$M_{adm} = 609.507 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$\text{Vere1} := \text{if}(M_{Eb} \leq M_{adm}, \text{"OK"}, \text{"Rediseñar"})$$

Vere1 = "OK"

e.2) Resistencia de diseño a corte del pasador

El corte solicitante es:

$$V_{sol} := 100 \text{tonf}$$

$$F_{yp} = 40 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

La resistencia a corte del pasador está dada por:

$$V_n = 0.6 \cdot F_{yp} \cdot A_{pas}$$

$$\Omega_{pasv} := 1.67$$

donde,

A_{pas} : es el área del pasador

$$A_{pas} := \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$A_{pas} = 113.097 \cdot \text{cm}^2$$

De este modo, tenemos:

$$V_n := 0.6 \cdot F_{yp} \cdot A_{pas}$$

$$V_n = 271.434 \cdot \text{tonf}$$

$$V_{adm} := \frac{V_n}{\Omega_{pasv}}$$

$$V_{adm} = 162.535 \cdot \text{tonf}$$

$$\text{Vere2} := \text{if}(V_{sol} \leq V_{adm}, \text{"OK"}, \text{"Rediseñar"})$$

Vere2 = "OK"

$$FU := \frac{V_{sol}}{V_{adm}}$$

$$FU = 0.615$$

DISEÑO PLACA BASE

Se tiene que para una carga de compresión dada, en este caso tomaremos:

La carga axial solicitante corresponderá al 10 a 20% de la capacidad de la columna. De este modo, se tiene que:

$$P_{\text{sol}} := \frac{1072}{2} \cdot 0.2 \text{ tonf} \quad \Omega_c := 2.31$$

$$P_{\text{sol}} = 107.2 \cdot \text{tonf}$$

El área de apoyo en el concreto, está dada por:

$$P_p = 0.85 \cdot f'_c \cdot A_1$$

$$f'_c := 35 \text{ MPa}$$

De donde,

f'_c : Resistencia a compresión del concreto

A1: Área de apoyo concéntrico de acero en un soporte de concreto

De este modo, tenemos que, el área A1, está dada por:

$$A_1 := \frac{P_{\text{sol}}}{\frac{0.85 \cdot f'_c}{\Omega_c}} \quad A_1 = 816.282 \cdot \text{cm}^2$$

Espesor de la placa base

$$t_{\text{placa}} := 2.2 \text{ cr}$$

$$\text{largo} := (w + 4t_{\text{placa}})$$

$$\text{largo} = 36.8 \text{ cr}$$

$$\text{ancho} := \left(\frac{t}{2} + \frac{t}{2} + t + 2c1 + 4t_{\text{placa}} \right)$$

$$\text{ancho} = 22.9 \text{ cr}$$

$$d_c := (w - t)$$

$$b_f := \frac{t}{2}$$

$$t_w := \frac{t}{2}$$

$$t_f := \frac{t}{2}$$

$$P_p := 0.85 \cdot f'_c \cdot \text{largo} \cdot \text{ancho}$$

$$P_p = 255.652 \cdot \text{tonf}$$

$$1.7 \cdot f'_c \cdot \text{largo} \cdot (\text{ancho}) = 511.304 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{\text{admcomp}} := \frac{P_p}{\Omega_c}$$

$$P_{\text{admcomp}} = 110.672 \cdot \text{tonf}$$

$$\text{Ver}_{\text{espesorplaca}} := \text{if}(P_{\text{sol}} \leq P_{\text{admcomp}}, \text{"OK"}, \text{"Rediseñar"})$$

$$\text{Ver}_{\text{espesorplaca}} = \text{"OK"}$$

Se tiene que,

$$P_p := 0.85 \cdot f_c \cdot \text{ancho} \cdot \text{largo} \quad P_p = 255.652 \cdot \text{tonf}$$

$$\text{lado} := \sqrt{A_1} = 28.571 \cdot \text{cm} \quad \text{ancho} := 60 \text{cm} \quad \text{largo} := 110 \text{cm}$$

$$d_c := 107.823 \text{cm}$$

Donde, d_c : peralte de la columna
 b_f : ancho del ala de la columna
 t_w : espesor del alma de la columna
 t_f : espesor del ala de la columna

$$b_f := 46.05 \text{cm}$$

$$t_w := 1.1 \text{cm}$$

$$t_f := 2 \text{cm}$$

Se define como longitud crítica " l " como la mayor entre $m, n, \lambda n$, las cuales se definen así:

$$m := \frac{\text{largo} - 0.95 \cdot d_c}{2} \quad m = 3.784 \text{cm}$$

$$n := \frac{\text{ancho} - 0.8 \cdot b_f}{2} \quad n = 11.58 \text{cm}$$

$$X := \left[\frac{4d_c \cdot b_f}{(d_c + b_f)^2} \right] \cdot \frac{P_{\text{sol}}}{0.9 \cdot P_p} \quad X = 0.391$$

$$\lambda := \frac{2\sqrt{X}}{1 + \sqrt{1 - X}} \quad \lambda = 0.702$$

$$\lambda n' := \lambda \cdot \frac{\sqrt{d_c \cdot b_f}}{4} \quad \lambda n' = 12.371 \text{cm}$$

$$l := \max(m, n, \lambda n') \quad l = 12.371 \text{cm}$$

De este modo se tiene que el espesor mínimo de la placa base está dado para el límite de fluencia como:

$$t_{\text{min}} := l \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{sol}}}{0.9 \cdot F_y \cdot \text{largo} \cdot \text{ancho}}} \quad t_{\text{min}} = 1.472 \text{cm}$$

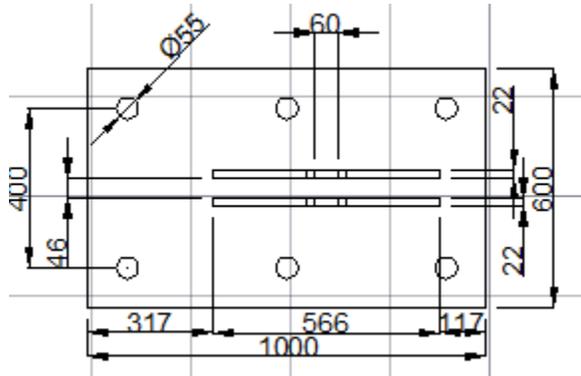
Por tanto, elegimos el espesor de la placa base de espesor:

$$t_p := t_{\text{placa}}$$

$$t_p := 5 \text{ cm}$$

SOLDADURA DE PLACA BASE A CONECTOR PASADOR

Este conector va soldado a la placa base de la siguiente forma:



Se tiene entonces que el perímetro a soldar, estará dado por:

$$w = 28 \text{ cm}$$

$$t = 6.3 \text{ cm}$$

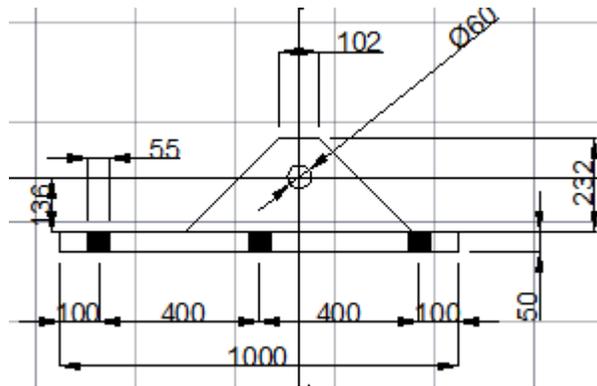
$$\text{perimetro}_{\text{conector}} := 2(w + t)$$

La sollicitación por largo unitario está dada por:

$$f_{vc} := \frac{V_{\text{sol}}}{\text{perimetro}_{\text{conector}}}$$

$$f_{vc} = 1.458 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

La sollicitación por momento estará dada por:



El esfuerzo que interviene es aplicado justo en el centro del pasador, de este modo el momento aplicado en el centro de gravedad de la conexión es:

$$dis_{ap} := 21cr$$

$$d_{soldci} := 1.8cm$$

Inercia en x:

$$I_x := \left[\left(\frac{t}{2} \right)^2 \cdot d_{soldci} \cdot w + d_{soldci}^3 \cdot \frac{w}{12} \right] \cdot 2 + \left[\left(\frac{w}{2} \right)^2 \cdot d_{soldci} \cdot t + \frac{d_{soldci} \cdot t^3}{12} \right] \cdot 2$$

$$I_x = 5547.7 \cdot cm^4$$

Momento:

$$M := V_{sol} \cdot dis_{ap}$$

$$M = 2100 \cdot tonf \cdot cm$$

$$f_m := \frac{M \cdot \frac{w}{2}}{\frac{I_x}{mm}} = 0.53 \cdot \frac{tonf}{cm}$$

Por tanto, la sollicitación de diseño estará dada por:

$$f := \sqrt{f_{vc}^2 + f_m^2} \quad f = 1.551 \cdot \frac{tonf}{cm}$$

La resistencia de la soldadura está dada por:

$$R_n = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot A_{BM}$$

$$\Omega_{sold} := 2.00$$

Donde,

FEXX: tensión nominal de la soldadura

ABM: tamaño de la garganta de soldadura

En este caso, usaremos soldaduras del tipo

$$F_{E70} := 70ksi$$

$$F_{E70} = 482.633 \cdot MPa$$

Se utilizará un espesor y garganta de soldadura de:

$$d_{\text{soldc}} := d_{\text{soldci}}$$

$$g_{\text{soldc}} := d_{\text{soldc}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \quad g_{\text{soldc}} = 1.273 \cdot \text{cm} \quad (*)$$

(*) Donde según AISC 360 Tabla J2.3 la garganta efectiva para el miembro más delgado, en este caso 18 mm, debe ser mínimo de 6 mm. Así mismo, según la Tabla J2.4, para el miembro más delgado (18 mm), se necesita un cordón mayor que 6 mm.

Por tanto, se tiene una resistencia nominal de:

$$R_{nc} := 0.6 \cdot F_{E70} \cdot g_{\text{soldc}} \quad R_{nc} = 3.758 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

De este modo la resistencia admisible de la conexión es de:

$$F_{\text{admnc}} := \frac{R_{nc}}{\Omega_{\text{sold}}} \quad F_{\text{admnc}} = 1.879 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

$$F_{Uc} := \frac{f}{F_{\text{admnc}}} \quad F_{Uc} = 0.825$$

Resistencia de elementos en corte:

La resistencia de elementos involucrados y elementos conectores debe ser:

(a) Fluencia en corte del elemento:

$$R_{nt} = 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} \quad \Omega_{nt} := 1.5$$

Donde,

A_{gv}: área bruta solicitada a corte

$$A_{gvc} := t_p \cdot w + 2t_p \cdot t \quad A_{gvc} = 203 \cdot \text{cm}^2$$

$$R_{ntc} := 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gvc} \quad R_{ntc} = 310.504 \cdot \text{tonf}$$

La resistencia admisible está dada por:

$$F_{\text{admntc}} := \frac{R_{ntc}}{\Omega_{nt}} \quad F_{\text{admntc}} = 207.003 \cdot \text{tonf}$$

(b) Para ruptura en corte del elemento:

$$R_n = 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} \quad \Omega_n := 2.00$$

Donde,

Anv: área neta solicitada a corte

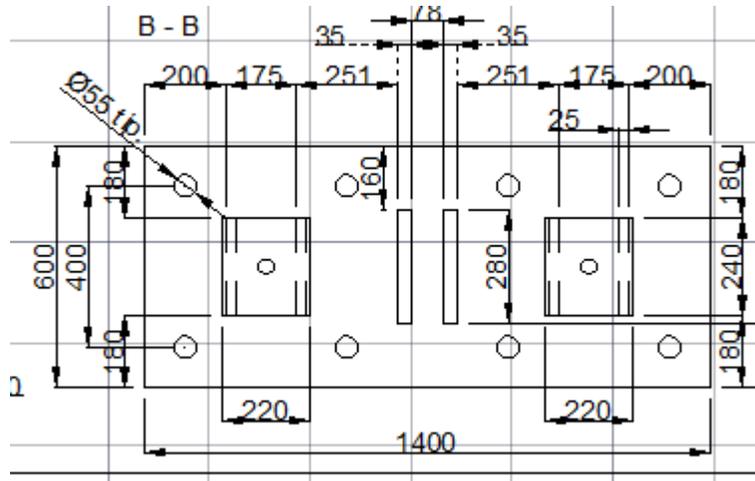
$$A_{nvc} := A_{gvc} \cdot 0.85 \qquad A_{nvc} = 172.55 \cdot \text{cm}^2$$

La resistencia admisible está dada por:

$$F_{admncv} := \frac{0.6 \cdot F_u \cdot A_{nvc}}{\Omega_n} \qquad F_{admncv} = 211.142 \cdot \text{tonf}$$

SOLDADURA PLACA COLUMNA

Se puede apreciar la conexión entre la placabase y la columna en la siguiente figura:



Las dimensiones de las conexiones pasador a placa están dadas por:

$$t_2 := \frac{t}{2} \qquad t_2 = 3.15 \cdot \text{cm}$$

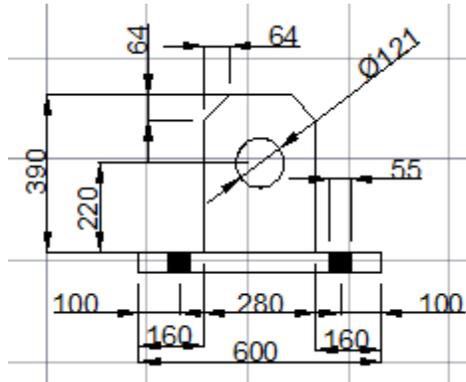
De este modo el perímetro de soldadura está dado por:

$$\text{perimetro}_{\text{conector2}} := 2 \cdot (w + t_2) \qquad \text{perimetro}_{\text{conector2}} = 62.3 \cdot \text{cm}$$

La sollicitación por largo unitario está dada por:

$$f_{vc2} := \frac{\frac{V_{sol}}{2}}{\text{perimetro}_{\text{conector2}}} \qquad f_{vc2} = 0.803 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

La sollicitación por momento estará dada por:



El esfuerzo que interviene es aplicado justo en el centro del pasador, de este modo el momento aplicado en el centro de gravedad de la conexión es:

$$dis_{ap} = 21\text{cm}$$

$$d_{soldci2} := 2\text{cm}$$

Inercia en x:

$$Ix2 := \left[\left(\frac{t_2}{2} \right)^2 \cdot d_{soldci2} \cdot w + d_{soldci2}^3 \cdot \frac{w}{12} \right] \cdot 2 + 2 \cdot \left[\left(\frac{w}{2} \right)^2 \cdot d_{soldci2} \cdot t_2 + \frac{d_{soldci2} \cdot t_2^3}{12} \right]$$

$$Ix2 = 2795.2 \cdot \text{cm}^4$$

Momento:

$$M_2 := \frac{V_{sol}}{2} \cdot dis_{ap} \quad M_2 = 1050 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$f_{m2} := \frac{M_2 \cdot w}{Ix2} = 1.052 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

Por tanto, la sollicitación de diseño estará dada por:

$$f_2 := \sqrt{f_{vc2}^2 + f_{m2}^2} \quad f_2 = 1.323 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

La resistencia de la soldadura está dada por:

$$R_n = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot A_{BM} \quad \Omega_{sold} = 2.00$$

Donde,

FEXX: tensión nominal de la soldadura

ABM: tamaño de la garganta de soldadura

En este caso, usaremos soldaduras del tipo

$$F_{E70} = 70 \cdot \text{ksi} \quad F_{E70} = 482.633 \cdot \text{MPa}$$

Se utilizará un espesor y garganta de soldadura de:

$$d_{\text{soldc2}} := 1.8 \cdot \text{cm}$$

$$g_{\text{soldc2}} := d_{\text{soldc2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \quad g_{\text{soldc2}} = 1.273 \cdot \text{cm} \quad (*)$$

(*) Donde según AISC 360 Tabla J2.3 la garganta efectiva para el miembro más delgado, en este caso 30 mm, debe ser mínimo de 8 mm. Así mismo, según la Tabla J2.4, para el miembro más delgado (30 mm), se necesita un cordón mayor que 8 mm.

Por tanto, se tiene una resistencia nominal de:

$$R_{nc2} := 0.6 \cdot F_{E70} \cdot g_{\text{soldc2}} \quad R_{nc2} = 3.758 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

De este modo la resistencia admisible de la conexión es de:

$$F_{\text{admc2}} := \frac{R_{nc}}{\Omega_{\text{sold}}} \quad F_{\text{admc2}} = 1.879 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

$$F_{Uc2} := \frac{f_2}{F_{\text{admc}}} \quad F_{Uc2} = 0.704$$

Resistencia de elementos en corte:

La resistencia de elementos involucrados y elementos conectores debe ser:

(a) Fluencia en corte del elemento:

$$R_{nt} = 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} \quad \Omega_{nt} = 1.5$$

Donde,

Agv: área bruta solicitada a corte

$$A_{gvc2} := t_p \cdot w + 2t_p \cdot t_2 \quad A_{gvc2} = 171.5 \cdot \text{cm}^2$$

$$R_{ntc2} := 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gvc} \quad R_{ntc2} = 310.504 \cdot \text{tonf}$$

La resistencia admisible está dada por:

$$F_{\text{admntc2}} := \frac{R_{ntc2}}{\Omega_{nt}} \quad F_{\text{admntc2}} = 207.003 \cdot \text{tonf}$$

(b) Para ruptura en corte del elemento:

$$R_n = 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} \quad \Omega_n = 2.00$$

Donde,

Anv: área neta solicitada a corte

$$A_{nvc2} := A_{gvc2} \cdot 0.85 \qquad A_{nvc2} = 145.775 \cdot \text{cm}^2$$

La resistencia admisible está dada por:

$$F_{admncv2} := \frac{0.6 \cdot F_u \cdot A_{nvc}}{\Omega_n} \qquad F_{admncv2} = 211.142 \cdot \text{tonf}$$

Pernos Conectores Pasador a Columna

En esta conexión las solicitaciones que se darán son de corte, por lo cual:

$$V_{sol} = 100 \cdot \text{tonf}$$

Para esto se utilizarán 4 pernos de alta resistencia, por lo cual cada perno debe resistir:

$$V_p := \frac{V_{sol}}{4} \qquad V_p = 25 \cdot \text{tonf}$$

Se utilizarán pernos con hilo incluido en el plano de corte, usando barras del tipo A (A325) y tipo B (A490). Por lo cual las tensiones nominales de estas son las siguientes:

$$F_{ntA325} := 620 \text{MPa}$$

$$F_{nvA325} := 372 \text{MPa}$$

$$F_{ntA490} := 780 \text{MPa}$$

$$F_{nvA490} := 469 \text{MPa}$$

$$F_{uA325} := 725 \text{MPa}$$

$$F_{uA490} := 1035 \text{MPa}$$

Se elegirá un perno de diámetro d_p , donde:

$$d_p := 2.54 \cdot \left(1 + \frac{2}{4}\right) \text{cm} \qquad d_p = 3.81 \cdot \text{cm} \qquad \frac{d_p}{2} = 1.905 \cdot \text{cm}$$

En donde se tiene que:

$$A_b := \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \qquad A_b = 11.401 \cdot \text{cm}^2$$

Resistencia al Corte

Se tiene que el corte solicitante de la columna es:

$$V_{sol} = 100 \text{tonf}$$

Por lo cual, dependiendo de la cantidad de barras, será la el corte solicitado a cada barra con hilo. La cantidad de barras con hilo que estarán presentes en la instalación experimental son:

$$n_p := 4$$

Por lo que el corte de de cada perno será:

$$V_{\text{solp}} := \frac{V_{\text{sol}}}{n_p} \quad V_{\text{solp}} = 25 \cdot \text{tonf}$$

La resistencia al corte de las barras con hilo está dada por:

$$R_{\text{nv}} = F_{\text{nv}} \cdot Ab$$

donde,

F_{nv} : tensión de corte nominal

Ab : área bruta del perno o parte roscada

Se considerarán 6 barras con hilo, para el diseño del anclaje, por lo cual, se tiene que:

$$R_{\text{nvA325}} := F_{\text{nvA325}} \cdot Ab \quad R_{\text{nvA325}} = 43.248 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{\text{nvA490}} := F_{\text{nvA490}} \cdot Ab \quad R_{\text{nvA490}} = 54.525 \cdot \text{tonf}$$

Se tiene que la resistencia admisible de corte en las barras con hilo, están dadas por:

$$R_{\text{adm}} = \frac{R_{\text{nv}}}{\Omega} \quad \Omega := 2.00$$

De este modo se tiene que:

$$R_{\text{admA325}} := \frac{R_{\text{nvA325}}}{\Omega} \quad R_{\text{admA325}} = 21.624 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{\text{admA490}} := \frac{R_{\text{nvA490}}}{\Omega} \quad R_{\text{admA490}} = 27.262 \cdot \text{tonf}$$

$\text{Ver1v} := \text{if}(R_{\text{admA325}} > V_{\text{solp}}, \text{"OK"}, \text{"Rediseñar"})$

$\text{Ver1v} = \text{"Rediseñar"}$

$\text{Ver2v} := \text{if}(R_{\text{admA490}} > V_{\text{solp}}, \text{"OK"}, \text{"Rediseñar"})$

$\text{Ver2v} = \text{"OK"}$

-Se tiene que se necesitan 4 pernos de 2" para pernos tipo A325

-Se necesitan 4 pernos de 1 3/8" para pernos tipo A490

CONECTOR VIGA COMPRESIÓN AXIAL

$$\text{tonf} := 1 \text{ tonnef}$$

1.- Cálculo de barras en la base:

Tracción de las barras ejercidas por los gatos hidráulicos:

$$T_{\max} := 50 \text{ tonf} \quad \Omega := 1.67$$

Para una barra de 36mm de diámetro, se tiene que:

Tensión de elasticidad:

$$\sigma_{36} := 835 \text{ MPa}$$

Diámetro del perno:

$$d_p := 36 \text{ mm}$$

Área de la barra:

$$A_b := \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \quad A_b = 1017.9 \cdot \text{mm}^2$$

Resistencia de la barra:

$$R_b := \sigma_{36} \cdot A_b \quad R_b = 86.668 \cdot \text{tonf}$$

Resistencia admisible de la barra:

$$R_{\text{adm}} := \frac{R_b}{\Omega} \quad R_{\text{adm}} = 51.897 \cdot \text{tonf}$$

Verificación resistencia:

$$\text{Ver1} := \text{if}(T_{\max} < R_{\text{adm}}, \text{"OK"}, \text{"Rediseñar"})$$

$$\text{Ver1} = \text{"OK"}$$

2.- Elección canal para anclar

Perfil Canal:

Longitud de la tuerca hexagonal:

$$L := 110\text{mm}$$

Longitud mínima de pretensado:

$$P := 105\text{mm}$$

Ala mínima de la canal:

$$L_{\min} := L + P$$

$$L_{\min} = 215\text{mm}$$

Altura de la canal:

$$B_a := 250\text{mm}$$

Espesor del alma mínimo:

$$t_{\min} := 45\text{mm}$$

Alto mínimo del alma:

$$H_{\min} := 200\text{mm}$$

Espesor del alma:

$$t_a := 50\text{mm}$$

Alto del alma:

$$H_a := 220\text{mm}$$

Resumen:

$$H_a = 220\text{mm}$$

$$t_a = 50\text{mm}$$

$$B_a = 250\text{mm}$$

SOLICITACIONES:

Compresión y Tracción:

$$P_{\text{sol}} := 50 \text{ tonf}$$

$$T_{\text{sol}} := 50 \text{ tonf}$$

3.- Diseño de la canal:

$$H_a = 22 \cdot \text{cm}$$

$$B_a = 25 \cdot \text{cm}$$

$$t_a = 5 \cdot \text{cm}$$

$$A_g := 2 \cdot B_a \cdot t_a + (H_a - 2t_a) \cdot t_a \quad A_g = 310 \cdot \text{cm}^2$$

$$CG_x := \frac{B_a \cdot t_a \cdot \frac{t_a}{2} + (H_a - 2t_a) \cdot t_a \cdot \frac{H_a}{2} + B_a \cdot t_a \cdot \left(H_a - \frac{t_a}{2}\right)}{A_g} = 11 \cdot \text{cm}$$

$$CG_y := \frac{H_a \cdot t_a \cdot \left(B_a - \frac{t_a}{2}\right) + 2 \cdot (B_a - t_a) \cdot t_a \cdot \frac{B_a}{2}}{A_g} = 16.048 \cdot \text{cm}$$

$$I_x := 2 \left[\frac{t_a \cdot B_a^3}{12} + t_a \cdot B_a \cdot \left(CG_y - \frac{B_a}{2} \right)^2 \right] + \frac{(H_a - 2t_a) \cdot t_a^3}{12} + (H_a - 2t_a) \cdot t_a \cdot \left(B_a - \frac{t_a}{2} - CG_y \right)^2$$

$$I_x = 18791 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_y := \frac{H_a^3 \cdot t_a}{12} + 2 \left[\frac{(B_a - t_a) \cdot t_a^3}{12} + (B_a - t_a) \cdot t_a \cdot \left(CG_x - \frac{t_a}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_y = 19303.3 \cdot \text{cm}^4$$

$$r_{x1} := \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} \quad r_{x1} = 7.786 \cdot \text{cm}$$

$$r_{y1} := \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} \quad r_{y1} = 7.891 \cdot \text{cm}$$

$$E := 2100 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \quad F_y := 2.53 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \quad F_u := 4.08 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

$$\Omega_{t1} := 1.67 \quad \Omega_{t2} := 2.00 \quad T_{\text{soli}} := 100 \text{tonf}$$

Resistencia en tracción:

a) Fluencia en la sección bruta:

En este caso la tracción estará restringida a las dos alas:

$$P_{na} := F_y \cdot (2B_a \cdot t_a) \quad P_{na} = 632.5 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{adma} := \frac{P_{na}}{\Omega_{t1}} \quad P_{adma} = 378.743 \cdot \text{tonf}$$

$$FU_a := \frac{T_{\text{soli}}}{P_{adma}} \quad FU_a = 0.264$$

$$Ver_{ta} := \text{if}(FU_a < 1, \text{"OK"}, \text{"rediseñar"}) \quad Ver_{ta} = \text{"OK"}$$

b) Ruptura en tracción en la sección neta:

$$U := 1$$

$$A_e := (2B_a \cdot t_a) \cdot U \quad A_e = 250 \cdot \text{cm}^2$$

$$P_{nb} := F_u \cdot A_e \quad P_{nb} = 1020 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{admb} := \frac{P_{nb}}{\Omega_{t2}} \quad P_{admb} = 510 \cdot \text{tonf}$$

$$FU_b := \frac{T_{\text{soli}}}{P_{admb}} \quad FU_b = 0.196$$

$$Ver_{tb} := \text{if}(FU_b < 1, \text{"OK"}, \text{"rediseñar"}) \quad Ver_{ta} = \text{"OK"}$$

Verificación de apalancamiento de la placa base

Para esto utilizaremos la norma FEMA 350, ecuación (3-61), paso 7. En donde la capacidad nominal deplastificación del ala es a partir de la siguiente ecuación:

$$R_{npb} = \frac{\left(2 \cdot a' - \frac{d_{bt}}{4}\right) \cdot w \cdot F_y \cdot t_f^2}{4 \cdot a' \cdot b' - d_{bt} \cdot (b' + a')}$$

Donde:

w : ancho del ala en tracción

t_f : espesor de la placa base a' : distancia del borde de la placa base hasta el borde interno de la perforación

b' : distancia desde el borde de la soldadura hasta el centro del perno

d_{bt}:diámetro del perno

$$w := 40\text{cm}$$

$$t_f := 5\text{cm}$$

$$a' := 10\text{cm} + 2.54\text{cm}$$

$$a' = 12.54\text{cm}$$

$$b' := 9\text{cm}$$

$$d_{bt} := 2\text{in}$$

$$d_{bt} = 5.08\text{cm}$$

$$R_{npb} := \frac{\left(2 \cdot a' - \frac{d_{bt}}{4}\right) \cdot w \cdot F_y \cdot t_f^2}{4 \cdot a' \cdot b' - d_{bt} \cdot (b' + a')}$$

$$R_{npb} = 176.13 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{admpb} := \frac{R_{npb}}{\Omega}$$

$$R_{admpb} = 105.467 \cdot \text{tonf}$$

Soldaduras:

$$L := 24\text{cm}$$

Largo de la soldadura

$$e_s := 2.5\text{cm}$$

Espesor soldadura

$$\text{perimetro}_{\text{conector}} := 2 \cdot L$$

$$\text{perimetro}_{\text{conector}} = 48 \cdot \text{cm}$$

$$d_{\text{soldci}} := 1\text{cm}$$

$$\Omega_{\text{sold}} := 2.00$$

Solicitaciones:

$$T_{\text{solic}} := \frac{T_{\text{sol}}}{2}$$

$$T_{\text{solic}} = 25 \cdot \text{tonf}$$

$$f_t := \frac{T_{\text{solic}}}{\text{perimetro}_{\text{conector}}}$$

$$f_t = 0.521 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

La resistencia de la soldadura está dada por:

$$R_n = 0.6 \cdot F_{\text{EXX}} \cdot A_{\text{BM}}$$

$$\Omega_{\text{sold}} = 2.00$$

Donde,

FEXX: tensión nominal de la soldadura

ABM: tamaño de la garganta de soldadura

En este caso, usaremos soldaduras del tipo

$$F_{\text{E70}} := 70\text{ksi}$$

$$F_{\text{E70}} = 482.633 \cdot \text{MPa}$$

Se utilizará un espesor y garganta de soldadura de:

$$d_{\text{soldc}} := d_{\text{soldci}}$$

$$g_{\text{soldc}} := d_{\text{soldc}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$g_{\text{soldc}} = 0.707 \cdot \text{cm} \quad (*)$$

(*) Donde según AISC 360 Tabla J2.3 la garganta efectiva para el miembro más delgado, en este caso 25 mm, debe ser mínimo de 6 mm. Así mismo, según la Tabla J2.4, para el miembro más delgado (25 mm), se necesita un cordón mayor que 6 mm.

Por tanto, se tiene una resistencia nominal de:

$$R_{nc} := 0.6 \cdot F_{E70} \cdot g_{soldc} \qquad R_{nc} = 2.088 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

De este modo la resistencia admisible de la conexión es de:

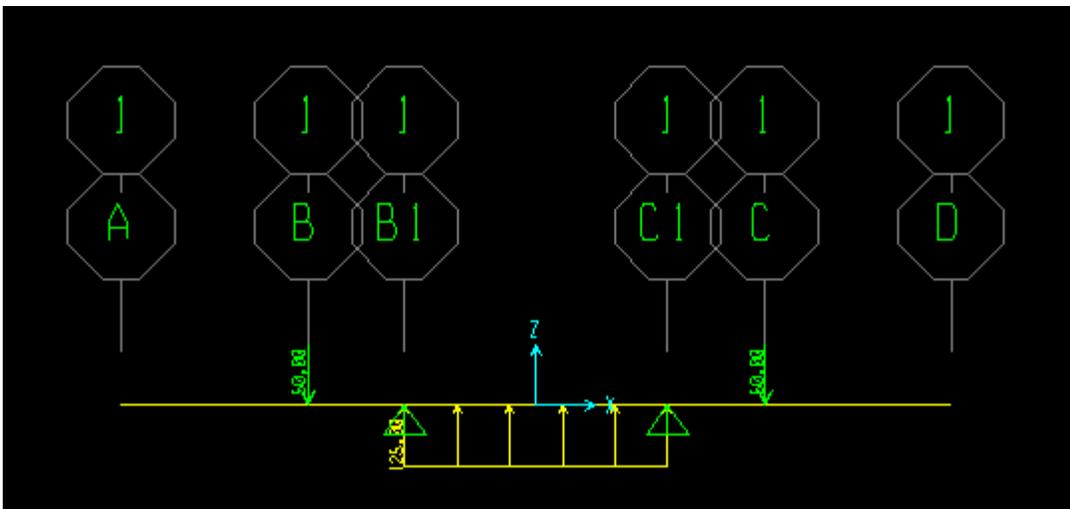
$$F_{admc} := \frac{R_{nc}}{\Omega_{sold}} \qquad F_{admc} = 1.044 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

$$F_{Uc} := \frac{f_t}{F_{admc}} \qquad F_{Uc} = 0.499$$

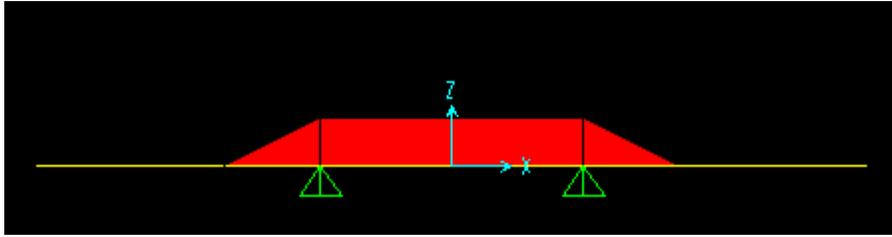
VIGA SUPERIOR PARA COMPRESIÓN DE LA COLUMNA

4.- Solicitaciones

Las solicitaciones de la viga estarán dadas por:



El momento máximo que se genera por el juego de fuerzas, se da en el centro del tramo de la viga



Donde el momento máximo es:

$$M_{sol} := 850 \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

5.- Dimensionamiento de la doble canal

En este caso como trabajamos con vigas canal, unidas por el alma, por lo cual los trataremos como vigas doble T, para su análisis.

$$H := 35 \text{cm}$$

$$B := 13 \text{cm}$$

$$e := 1.4 \text{cm}$$

$$CG_{xt} := 16 \text{cm} \quad CG_{yt} := 17.5 \text{cm}$$

$$I_{xx} := 2 \left[\frac{e \cdot (H - 2e)^3}{12} + 2 \frac{B \cdot e^3}{12} + B \cdot e \cdot \left(\frac{B - e}{2} \right)^2 \right] = 9026.5 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_{yy} := 2 \left[\frac{(H - 2e) \cdot e^3}{12} \right] + \left(3 \text{cm} + \frac{e}{2} \right)^2 \cdot (H - 2e) e + 2 \cdot \left[\frac{e \cdot B^3}{12} + e \cdot B \cdot \left(3 \text{cm} + \frac{B}{2} \right)^2 \right] = 8844.5 \cdot \text{cm}^4$$

$$A_g := 2 \cdot [(H - 2e) \cdot e + 2 \cdot B \cdot e] = 162.96 \cdot \text{cm}^2$$

$$r_x := \sqrt{\frac{I_{xx}}{A_g}} \quad r_x = 7.443 \cdot \text{cm}$$

$$r_y := \sqrt{\frac{I_{yy}}{A_g}} \quad r_y = 7.367 \cdot \text{cm}$$

$$S_x := \frac{I_{xx}}{\frac{H}{2}} = 515.801 \cdot \text{cm}^3$$

$$S_y := \frac{I_{yy}}{B + 3 \text{cm}} = 552.8 \cdot \text{cm}^3$$

$$h_0 := H - e = 33.6 \text{ cm}$$

$$C_w := \frac{I_{yy} \cdot h_0^2}{4} = 2496266.9 \cdot \text{cm}^6$$

$$L_b := 80 \text{ cm}$$

$$Z_x := 2 \left[2B \cdot e \cdot \left(H - \frac{e}{2} \right) + \left(\frac{H - 2e}{2} \right) \cdot e \cdot \frac{H}{2} \right] = 3285.9 \cdot \text{cm}^3$$

$$J_w := \frac{2}{3} \cdot \left[(H - 2e)^3 \cdot e + 2 \cdot (B^3 \cdot e) \right] = 35261.6 \cdot \text{cm}^4$$

Esbeltez de los elementos:

Alma:

$$\lambda_w := \frac{(H - 2e)}{e} \quad \lambda_w = 23$$

$$\lambda_p := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_p = 108.327$$

$$\lambda_r := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_r = 164.219$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alma}} := \begin{cases} \text{"compacto"} & \text{if } \lambda_w \leq \lambda_p \\ \text{"no compacto"} & \text{if } \lambda_p < \lambda_w \leq \lambda_r \\ \text{"esbelto"} & \text{if } \lambda_r \leq \lambda_w \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alma}} = \text{"compacto"}$$

Ala:

$$\lambda_f := \frac{B}{2e} \quad \lambda_f = 4.643$$

$$\lambda_{\text{pf}} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_{\text{pf}} = 10.948$$

$$\lambda_{\text{rf}} := 1.0 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_{\text{rf}} = 28.81$$

$$\text{esbeltez}_{\text{ala}} := \begin{cases} \text{"compacto"} & \text{if } \lambda_f \leq \lambda_{pf} \\ \text{"no compacto"} & \text{if } \lambda_{pf} < \lambda_f \leq \lambda_{rf} \\ \text{"esbelto"} & \text{if } \lambda_{rf} \leq \lambda_f \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{ala}} = \text{"compacto"}$$

CÁLCULO A FLEXIÓN

1. Fluencia

$$M_{n1} := F_y \cdot Z_x$$

$$M_{n1} = 8313.4 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

2. Pandeo Lateral Torsional

$$L_p := 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad L_p = 373.558 \cdot \text{cm}$$

$$r_{ts} := \frac{\sqrt{\sqrt{I_{yy}} \cdot C_w}}{\sqrt{S_x}} \quad r_{ts} = 16.973 \cdot \text{cm}$$

$$c := \frac{h_0}{2} \cdot \sqrt{\frac{I_{yy}}{C_w}} \quad c = 1$$

$$L_T := 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \left(\frac{E}{0.7 \cdot F_y} \right) \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J}{S_x \cdot h_0} \right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{0.7 \cdot F_y}{E} \right)^2}}$$

$$L_T = 79166.337 \cdot \text{cm}$$

En este caso, como:

$$\text{Pandeo}_{LT} := \begin{cases} \text{"No aplica"} & \text{if } L_b \leq L_p \\ \text{"Caso b)"} & \text{if } L_p < L_b \leq L_T \\ \text{"Caso c)"} & \text{if } L_T < L_b \end{cases}$$

$$\text{Pandeo}_{LT} = \text{"No aplica"}$$

$$M_{n2} := M_{n1}$$

3. Pandeo Local del ala en compresión

$$M_p := M_{n1} \qquad M_p = 8313.4 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{n3} := \left[M_p - (M_p - 0.7 \cdot F_y \cdot S_x) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right]$$

$$M_{n3} = 10925.5 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

4 Factor de utilización

$$M_n := \min(M_{n1}, M_{n2}, M_{n3}) \qquad M_n = 8313.4 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{adm} := \frac{M_n}{\Omega} \qquad M_{adm} = 4978.1 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$FU := \frac{M_{sol}}{1M_{adm}} = 0.171$$

CÁLCULO DE ELEMENTOS A CORTE:

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$A_w := 2(H - 2e) \cdot e$$

$$A_w = 90.16 \cdot \text{cm}^2$$

$$\lambda_w = 23$$

$$2.24 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 64.535$$

Para determinar qué caso utilizar en la norma AISC 360, Capítulo G.2

$$\text{Caso} := \begin{cases} \text{"Caso a)"} & \text{if } \lambda_w \leq 2.24 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"Caso b)"} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \text{Caso} = \text{"Caso a)"}$$

Sin embargo, utilizamos atiesadores, se tiene que:

$$\Omega_b := 1.67$$

Además, se tiene que:

$$a := 16 \text{cm}$$

$$h := H - 2e$$

$$h = 32.2 \cdot \text{cm}$$

$$k_v := 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$k_v = 25.251$$

$$C_v := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \lambda_w \leq 1.10 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} \\ \frac{\left(1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}}\right)}{\lambda_w} & \text{if } 1.10 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} < \lambda_w \leq 1.37 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} \\ \frac{1.51 \cdot k_v \cdot E}{\lambda_w^2 \cdot F_y} & \text{if } 1.37 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} < \lambda_w \end{cases} \quad C_v = 1$$

Por tanto, la resistencia al corte de la sección es:

$$V_n := 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad V_n = 136.863 \cdot \text{tonf}$$

$$V_{\text{adm}} := \frac{V_n}{\Omega_b} = 81.954 \cdot \text{tonf}$$

Utilizamos atiesadores en la sección en donde el corte es de 50 tonf.

En donde, los atiesadores deben cumplir que:

$$I_{st} \geq a \cdot t_w^3 \cdot j$$

donde,

$$j := \frac{2.5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2 = 8.125$$

$$I_{st} := a \cdot e^3 \cdot j$$

$$I_{st} = 356.737 \cdot \text{cm}^4$$

ANCLAJE A MURO DE REACCIÓN

1. Solicitaciones

Momento Máximo:

$$M_{\max} := 4000 \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

Corte Máximo:

$$V_{\max} := 100 \text{tonf}$$

Compresión Máxima:

$$N_{\max} := 50 \text{tonf}$$

2. Comprobación de la sección 60x50

Propiedades de los elementos:

$$E := 2100 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \quad F_y := 2.53 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \quad \Omega_f := 1.67 \quad F_u := 4.08 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

Elegimos la sección HN 50 x 462

$$\begin{aligned} H &:= 50 \text{cm} & B &:= 60 \text{cm} & e &:= 3.2 \text{cm} & t &:= 2.2 \text{cm} \\ A_g &:= 480 \text{cm}^2 & I_x &:= 225786 \text{cm}^4 & S_x &:= 9032 \text{cm}^3 & r_x &:= 21.7 \text{cm} \\ I_y &:= 57655 \text{cm}^4 & S_y &:= 2306 \text{cm}^3 & r_y &:= 10.96 \text{cm} & J &:= 1478 \text{cm}^4 \\ Z_x &:= 10031 \text{cm}^3 & Z_y &:= 5858 \text{cm}^3 & h_0 &:= H - e = 46.8 \text{cm} \\ I_b &:= 40 \text{cm} & C_w &:= \frac{I_y \cdot h_0^2}{4} = 31569571.8 \text{cm}^6 \end{aligned}$$

Esbeltez de la sección:

$$\text{Alma: } \lambda_w := \frac{(H - 2e)}{e} \quad \lambda_w = 13.625$$

$$\lambda_p := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_p = 108.327$$

$$\lambda_r := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_r = 164.219$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alma}} := \begin{cases} \text{"compacto"} & \text{if } \lambda_w \leq \lambda_p \\ \text{"no compacto"} & \text{if } \lambda_p < \lambda_w \leq \lambda_r \\ \text{"esbelto"} & \text{if } \lambda_r \leq \lambda_w \end{cases} \quad \text{esbeltez}_{\text{alma}} = \text{"compacto"}$$

Ala:

$$\lambda_f := \frac{B}{2e} \quad \lambda_f = 9.375$$

$$\lambda_{\text{pf}} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_{\text{pf}} = 10.948$$

$$\lambda_{\text{rf}} := 1.0 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_{\text{rf}} = 28.81$$

$$\text{esbeltez}_{\text{ala}} := \begin{cases} \text{"compacto"} & \text{if } \lambda_f \leq \lambda_{\text{pf}} \\ \text{"no compacto"} & \text{if } \lambda_{\text{pf}} < \lambda_f \leq \lambda_{\text{rf}} \\ \text{"esbelto"} & \text{if } \lambda_{\text{rf}} \leq \lambda_f \end{cases} \quad \text{esbeltez}_{\text{ala}} = \text{"compacto"}$$

CÁLCULO A FLEXIÓN

1. Fluencia

$$M_{n1} := F_y \cdot Z_x$$

$$M_{n1} = 25378.4 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

2. Pandeo Lateral Torsional

$$L_p := 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad L_p = 555.741 \cdot \text{cm}$$

$$r_{\text{ts}} := \frac{\sqrt{\sqrt{I_y} \cdot C_w}}{\sqrt{S_x}} \quad r_{\text{ts}} = 12.222 \cdot \text{cm}$$

$$c := \frac{h_0}{2} \cdot \sqrt{\frac{I_y}{C_w}} \quad c = 1$$

$$L_T := 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \left(\frac{E}{0.7 \cdot F_y} \right) \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J}{S_x \cdot h_0} \right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{0.7 \cdot F_y}{E} \right)^2}}$$

$$L_T = 2467.492 \cdot \text{cm}$$

En este caso, como:

$$\text{Pandeo}_{LT} := \begin{cases} \text{"No aplica"} & \text{if } L_b \leq L_p \\ \text{"Caso b)}" & \text{if } L_p < L_b \leq L_T \\ \text{"Caso c)}" & \text{if } L_T < L_b \end{cases} \quad \text{Pandeo}_{LT} = \text{"No aplica"}$$

$$M_{n2} := M_{n1}$$

$$M_n := \min(M_{n1}, M_{n2}) \quad M_n = 25378.4 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{\text{adm}} := \frac{M_n}{\Omega_f} \quad M_{\text{adm}} = 15196.7 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

Factor de utilización:

$$\text{FU} := \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{adm}}} \quad \text{FU} = 0.263$$

CALCULO AL CORTE

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$A_w := (H - 2e) \cdot t$$

$$A_w = 95.92 \cdot \text{cm}^2$$

$$\lambda_w := \frac{(H - 2e)}{t} = 19.818$$

$$2.24 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 64.535$$

Para determinar qué caso utilizar en la norma AISC 360, Capítulo G.2

$$\text{Caso} := \begin{cases} \text{"Caso a)}" & \text{if } \lambda_w \leq 2.24 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"Caso b)}" & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{Caso} = \text{"Caso a)"}$$

Sin embargo, no es laminado, por lo cual:

$$\Omega_b := 1.67$$

Además, se tiene que:

$$a := 19\text{cm}$$

$$h := H - 2e$$

$$h = 43.6\text{cm}$$

$$k_v := 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$k_v = 31.329$$

$$k_{vv} := 5$$

$$C_v := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \lambda_w \leq 1.10 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} \\ \frac{\left(1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}}\right)}{\lambda_w} & \text{if } 1.10 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} < \lambda_w \leq 1.37 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} \\ \frac{1.51 \cdot k_v \cdot E}{\lambda_w^2 \cdot F_y} & \text{if } 1.37 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}} < \lambda_w \end{cases} \quad C_v = 1$$

Por tanto, la resistencia al corte de la sección es:

$$V_n := 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$V_n = 145.607 \cdot \text{tonf}$$

$$V_{adm} := \frac{V_n}{\Omega_b} = 87.19 \cdot \text{tonf}$$

VERIFICACIÓN DE ALAS Y ALMA CON CARGAS CONCENTRADAS

Para esta sección se utilizará el capítulo J10 de la AISC 360 "Alas y Almas con Cargas Concentradas".

1. Flexión local del Ala

$$\Omega_1 := 1.67$$

$$R_{n1} := 6.25 \cdot e^2 \cdot F_y$$

$$R_{n1} = 161.92 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{adm1} := \frac{R_{n1}}{\Omega_1}$$

$$R_{adm1} = 96.958 \cdot \text{tonf}$$

2. Fluencia local del Alma $\Omega_2 := 1.50$

$$d := H \quad d = 50 \text{ cm}$$

$$k := e$$

$$l_b := 40 \text{ cm}$$

$$R_{n2} := \begin{cases} [F_y \cdot t \cdot (5k + l_b)] & \text{if } 30 \text{ cm} > d \\ [F_y \cdot t \cdot (2.5 \cdot k + l_b)] & \text{if } 30 \text{ cm} \leq d \end{cases} \quad R_{n2} = 267.168 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{adm2} := \frac{R_{n2}}{\Omega_2} \quad R_{adm2} = 178.112 \cdot \text{tonf}$$

3. Aplastamiento del Alma $\Omega_3 := 2.00$

$$R_{n3} := \begin{cases} 0.8 \cdot t^2 \cdot \left[1 + 3 \cdot \left(\frac{l_b}{d} \right) \cdot \left(\frac{t}{e} \right)^{1.5} \right] \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F_y \cdot e}{t}} & \text{if } 30 \text{ cm} \geq \frac{d}{2} \\ \text{if } 30 \text{ cm} < \frac{d}{2} \\ \left| \begin{cases} 0.4 \cdot t^2 \cdot \left[1 + \left[\left(\frac{4 \cdot l_b}{d} \right) - 0.2 \right] \cdot \left(\frac{t}{e} \right)^{1.5} \right] \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F_y \cdot e}{t}} & \text{if } \frac{l_b}{d} > 0.2 \\ 0.4 \cdot t^2 \cdot \left[1 + 3 \cdot \left(\frac{l_b}{d} \right) \cdot \left(\frac{t}{e} \right)^{1.5} \right] \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F_y \cdot e}{t}} & \text{if } \left(\frac{l_b}{d} \right) \leq 0.2 \end{cases} \right. \end{cases}$$

$$R_{n3} = 806.066 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{adm3} := \frac{R_{n3}}{\Omega_3} \quad R_{adm3} = 403.033 \cdot \text{tonf}$$

4. Pandeo Lateral del Alma

$$\Omega_4 := 1.76$$

El ala a compresión no está restringida a rotar, por lo cual:

$$C_r := 6.62 \cdot 10^6 \text{ MPa}$$

$$R_{n4} := \begin{cases} \left[\frac{C_r \cdot t^3 \cdot e}{h^2} \cdot 0.4 \cdot \left(\frac{h}{t} \right)^3 \right] & \text{if } \left(\frac{h}{t} \right) \cdot \left(\frac{L_b}{\frac{B}{2}} \right) \leq 1.7 \\ \text{"No aplica"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{n4} = \text{"No aplica"}$$

5. Pandeo del Alma Comprimida

$$\Omega_5 := 1.67$$

$$R_{n5} := \frac{24 \cdot t^3 \cdot \sqrt{E \cdot F_y}}{h}$$

$$R_{n5} = 427.231 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{adm5} := \frac{R_{n5}}{\Omega_5}$$

$$R_{adm5} = 255.827 \cdot \text{tonf}$$

6. Corte en la Zona Panel

$$\Omega_6 := 1.67$$

$$A_{g_{zp}} := 2\text{cm} \cdot 22\text{cm} \cdot 6$$

$$A_{g_{zp}} = 264 \cdot \text{cm}^2$$

$$P_y := A_{g_{zp}} \cdot F_y$$

$$P_y = 667.92 \cdot \text{tonf}$$

$$d_c := H$$

$$d_{cf} := B$$

$$d_b := 40\text{cm}$$

$$P_c := 0.6 \cdot P_y$$

$$P_c = 400.752 \cdot \text{tonf}$$

$$P_r := 100\text{tonf}$$

$$t_{cf} := e$$

$$t_w := t$$

Consideraremos la zona panel en el análisis, por lo cual:

$$R_{n6} := \begin{cases} 0.6 \cdot F_y \cdot d_c \cdot t_w \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot d_{cf} \cdot e^2}{d_b \cdot d_c \cdot t_w} \right) & \text{if } P_r \leq 0.75 \cdot P_c \\ 0.6 \cdot F_y \cdot d_c \cdot t_w \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot d_{cf} \cdot e^2}{d_b \cdot d_c \cdot t_w} \right) \cdot \left(1.9 - \frac{1.2 \cdot P_r}{P_c} \right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{n6} = 236.929 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{adm6} := \frac{R_{n6}}{\Omega_6} \qquad R_{adm6} = 141.874 \cdot \text{tonf}$$

Para el diseño de los atiesadores, según la sección J10-8, los atiesadores deben resistir lo que la columna no resiste, de este modo se tiene que la carga que se necesita resistir, es idealmente:

$$R_{req} := 167 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{dis} := R_{req} - V_n \qquad R_{dis} = 21.4 \cdot \text{tonf}$$

Por lo cual, el atiesador debe resistir R_{dis} ,

Para tracción, se tiene que:

$$a) \quad R_n = F_y \cdot A_g$$

De este modo se tiene que:

$$A_{gmin} := \frac{R_{dis}}{F_y} \qquad A_{gmin} = 8.456 \cdot \text{cm}^2$$

$$b) \quad R_n = F_u \cdot A_e$$

Atiesadores:

$$A_{gati} := 1 \text{cm} \cdot \left(\frac{B - t_w - 10 \text{cm}}{2} \right) \cdot 6 \qquad A_{gati} = 143.4 \cdot \text{cm}^2$$

Se tiene por tanto, que:

$$a) \quad R_{nati} := F_y \cdot (A_{gati} + A_w) \qquad R_{nati} = 605.48 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{\text{admati}} := \frac{R_{\text{nati}}}{\Omega_b}$$

$$R_{\text{admati}} = 362.563 \cdot \text{tonf}$$

b) $R_{\text{nati b}} := F_u \cdot (A_{\text{gati}} + A_w)$

$$R_{\text{nati b}} = 976.4 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{\text{admatib}} := \frac{R_{\text{nati b}}}{\Omega_3}$$

$$R_{\text{admatib}} = 488.213 \cdot \text{tonf}$$

Para compresión, se tiene:

$$L_x := 50 \text{ cm}$$

$$\Omega_{\text{comp}} := 1.67$$

$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L}{r_y}\right)^2}$$

$$F_e = 4543.2 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{\text{cr}} := \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) \cdot F_y$$

$$F_{\text{cr}} = 2.529 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

Resistencia a compresión:

$$P_{\text{ncomp}} := F_{\text{cr}} \cdot (A_{\text{gati}})$$

$$P_{\text{ncomp}} = 362.717 \cdot \text{tonf}$$

Resistencia Admisible:

$$P_{\text{admati}} := \frac{P_{\text{ncomp}}}{\Omega_{\text{comp}}}$$

$$P_{\text{admati}} = 217.196 \cdot \text{tonf}$$

3. Comprobación de la sección 40 x 40

Propiedades de los elementos:

$$E := 2100 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_y := 2.53 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_u := 4.08 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

Elegimos la sección HN 40 x 301

$$H := 40 \text{ cm}$$

$$B := 40 \text{ cm}$$

$$e := 4 \text{ cm}$$

$$t := 2 \text{ cm}$$

$$A_g := 384 \text{ cm}^2$$

$$I_x := 110000 \text{ cm}^4$$

$$S_x := 5480 \text{ cm}^3$$

$$r_x := 16.9 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
I_{yy} &:= 42700 \text{cm}^4 & S_{yy} &:= 2130 \text{cm}^3 & r_{yy} &:= 10.5 \text{cm} & J &:= 1800 \text{cm}^4 \\
Z_{yy} &:= 6270 \text{cm}^3 & Z_{zz} &:= 3230 \text{cm}^3 & h_0 &:= H - e = 36 \text{cm} \\
L_b &:= 98 \text{cm} & C_{yy} &:= \frac{I_y \cdot h_0^2}{4} = 13834800 \cdot \text{cm}^6
\end{aligned}$$

TRACCIÓN

Solicitud:

$$T_{sol} := 100 \text{tonf}$$

Esbeltez de la sección:

$$\begin{cases}
\text{"OK"} & \text{if } \left(\frac{L_b}{r_y} \right) \leq 300 = \text{"OK"} \\
\text{"rediseñar"} & \text{otherwise}
\end{cases}$$

a) Fluencia en tracción en el área bruta

$$\Omega_t := 1.67$$

$$P_{nta} := F_y \cdot A_g$$

$$P_{nta} = 971.52 \cdot \text{tonf}$$

La resistencia admisible está dada por:

$$P_{adma} := \frac{P_{nta}}{\Omega_t}$$

$$P_{adma} = 581.749 \cdot \text{tonf}$$

b) Ruptura en tracción sección neta

$$\Omega_{tu} := 2.00$$

$$U := 0.85$$

$$A_n := A_g$$

$$A_e := A_n \cdot U$$

$$A_e = 326.4 \cdot \text{cm}^2$$

$$P_{ntb} := F_u \cdot A_e$$

$$P_{ntb} = 1331.7 \cdot \text{tonf}$$

La resistencia admisible de la sección está dada por:

$$P_{admb} := \frac{P_{ntb}}{\Omega_{tu}}$$

$$P_{admb} = 665.856 \cdot \text{tonf}$$

Compresión

$$P_{sol} := 100 \text{ tonf}$$

$$\Omega_c := 1.67$$

Esbeltez de los elementos:

Alma:

$$\lambda_{w40} := \frac{H - 2e}{t}$$

$$\lambda_{w40} = 16$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alma40}} := \begin{cases} \text{"No Esbelto"} & \text{if } \lambda_{w40} \leq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"Esbelto"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alma40}} = \text{"No Esbelto"}$$

Ala:

$$\lambda_{f40} := \frac{B}{2 \cdot e}$$

$$\lambda_{f40} = 5$$

$$k_c := \frac{4}{\sqrt{\frac{H - 2e}{t}}}$$

$$k_c = 1$$

$$\text{esbeltez}_{\text{ala40}} := \begin{cases} \text{"No Esbelto"} & \text{if } \lambda_{f40} \leq 0.64 \sqrt{\frac{k_c \cdot E}{F_y}} \\ \text{"Esbelto"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{ala40}} = \text{"No Esbelto"}$$

Para esto, utilizamos el capítulo E3 de Compresión de la AISC 360-2010, donde:

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

Tensión de pandeo elástico:

$$K := 1$$

$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L_b}{r_y} \right)^2}$$

$$F_e = 237.9 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

Tensión de pandeo por flexión:

$$F_{cr} := \begin{cases} \left[\left(\frac{F_y}{F_e} \right) F_y \right] & \text{if } \left(\frac{K \cdot L_b}{r_y} \right) \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ (0.877 \cdot F_e) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{cr} = 2.519 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

Por tanto, la resistencia nominal a compresión, será:

$$P_n := F_{cr} \cdot A_g$$

$$P_n = 967.206 \cdot \text{tonf}$$

De este modo, la resistencia a compresión admisible, será:

$$P_{adm} := \frac{P_n}{\Omega_c}$$

$$P_{adm} = 579.165 \cdot \text{tonf}$$

Factor de utilización:

$$FU_c := \frac{P_{sol}}{P_{adm}}$$

$$FU_c = 0.173$$

Momento:

$$\text{peso}_{\text{actuador}} := 1 \text{ tonf}$$

Momento en el extremo:

$$M_{sol} := L_b \cdot \frac{\text{peso}_{\text{actuador}}}{2}$$

$$M_{sol} = 49 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

Esbeltez de los elementos:

Alma:

$$\lambda_w := \frac{(H - 2e)}{e}$$

$$\lambda_w = 8$$

$$\lambda_p := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_p = 108.327$$

$$\lambda_r := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_r = 164.219$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alma}} := \begin{cases} \text{"compacto"} & \text{if } \lambda_w \leq \lambda_p \\ \text{"no compacto"} & \text{if } \lambda_p < \lambda_w \leq \lambda_r \\ \text{"esbelto"} & \text{if } \lambda_r \leq \lambda_w \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alma}} = \text{"compacto"}$$

Ala:

$$\lambda_f := \frac{B}{2e} \qquad \lambda_f = 5$$

$$\lambda_{pf} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \lambda_{pf} = 10.948$$

$$\lambda_{rf} := 1.0 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \lambda_{rf} = 28.81$$

$$\text{esbeltez}_{\text{ala}} := \begin{cases} \text{"compacto"} & \text{if } \lambda_f \leq \lambda_{pf} \\ \text{"no compacto"} & \text{if } \lambda_{pf} < \lambda_f \leq \lambda_{rf} \\ \text{"esbelto"} & \text{if } \lambda_{rf} \leq \lambda_f \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{ala}} = \text{"compacto"}$$

1. Fluencia

$$M_{n1} := F_y \cdot Z_x$$

$$M_{n1} = 15863.1 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

2. Pandeo Lateral Torsional

$$L_p := 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad L_p = 532.416 \cdot \text{cm}$$

$$r_{ts} := \frac{\sqrt{\sqrt{I_y \cdot C_w}}}{\sqrt{S_x}} \qquad r_{ts} = 11.843 \cdot \text{cm}$$

$$c := \frac{h_0}{2} \cdot \sqrt{\frac{I_y}{C_w}} \qquad c = 1$$

$$L_T := 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \left(\frac{E}{0.7 \cdot F_y} \right) \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J}{S_x \cdot h_0} \right)^2 + 6.76 \cdot \left(\frac{0.7 \cdot F_y}{E} \right)^2}}$$

$$L_T = 3725.412 \cdot \text{cm}$$

En este caso, como:

$$\text{Pandeo}_{LT} := \begin{cases} \text{"No aplica"} & \text{if } L_b \leq L_p \\ \text{"Caso b)}" & \text{if } L_p < L_b \leq L_T \\ \text{"Caso c)}" & \text{if } L_T < L_b \end{cases} \quad \text{Pandeo}_{LT} = \text{"No aplica"}$$

$$M_{n2} := M_{n1}$$

$$M_n := \min(M_{n1}, M_{n2})$$

$$M_n = 15863.1 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{adm} := \frac{M_n}{\Omega_f}$$

$$M_{adm} = 9498.9 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

Factor de utilización:

$$FU := \frac{M_{sol}}{M_{adm}}$$

$$FU = 0.005$$

Pernos de sujeción:

$$\text{tonf} := 1 \text{tonnef}$$

$$F_{ntA325} := 620 \text{MPa}$$

$$F_{nvA325} := 372 \text{MPa}$$

$$F_{ntA490} := 780 \text{MPa}$$

$$F_{nvA490} := 469 \text{MPa}$$

Resistencia a tracción:

Se elegirá un perno de diámetro dp , donde:

$$dp := 2.54 \cdot \left(0 + \frac{3}{4} \right) \text{cm}$$

$$dp = 1.905 \cdot \text{cm}$$

$$\left(\frac{dp}{2} \right) + \frac{1dp}{16} = 1.072 \cdot \text{cm}$$

Para este diámetro de perno, se necesita una pretensión de:

Para grupo A325:

$$T_{\min A325} := 23.13 \text{tonf}$$

$$\frac{84.9313}{4} = 21.233$$

Para grupo A490:

$$T_{\min A490} := 29.03 \text{tonf}$$

$$\frac{26.775}{2} = 13.387$$

La resistencia a tracción de la barra con hilo, está dada por:

$$R_{nt} = F_{nt} \cdot Ab$$

$$\Omega := 2.00$$

donde,

F_{nt}: tensión de tracción nominal

Ab: área bruta del perno o parte roscada

$$Ab := \frac{\pi \cdot dp^2}{4} \quad Ab = 2.85 \cdot \text{cm}^2$$

De este modo se tiene que:

$$R_{ntA325} := F_{ntA325} \cdot Ab$$

$$R_{ntA325} = 18.02 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{ntA490} := F_{ntA490} \cdot Ab$$

$$R_{ntA490} = 22.67 \cdot \text{tonf}$$

Se tiene que, la resistencia admisible de las barras con hilo, están dadas por:

$$R_{admt} = \frac{R_{nt}}{\Omega}$$

De este modo se tiene que:

$$R_{admtA325} := \frac{R_{ntA325}}{\Omega}$$

$$R_{admtA325} = 9.01 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{admtA490} := \frac{R_{ntA490}}{\Omega}$$

$$R_{admtA490} = 11.335 \cdot \text{tonf}$$

La tracción solicitante es:

$$T_{sol} := 100 \text{tonf}$$

De este modo, se tiene que:

$$FU_t := \frac{T_{sol}}{8 \cdot R_{admtA325}} = 1.387$$

$$FU_{t2} := \frac{T_{sol}}{8 \cdot R_{admtA490}} = 1.103$$

4. Comprobación de la sección 60x55

Elegimos la sección 60 x 55

$$\begin{aligned}
 H &:= 50\text{cm} & B &:= 60\text{cm} & e &:= 4\text{cm} & t &:= 2\text{cm} \\
 A_g &:= 544\text{cm}^2 & I_x &:= 368982\text{cm}^4 & S_x &:= 9032\text{cm}^3 & r_x &:= 26.04\text{cm} \\
 I_y &:= 55511\text{cm}^4 & S_y &:= 2306\text{cm}^3 & r_y &:= 10.1\text{cm} & J &:= 2497\text{cm}^4 \\
 Z_x &:= 13672\text{cm}^3 & Z_y &:= 6146\text{cm}^3 & h_0 &:= H - e = 46\text{cm} \\
 L_b &:= 38\text{cm} & C_w &:= \frac{I_y \cdot h_0^2}{4} = 29365319 \cdot \text{cm}^6
 \end{aligned}$$

TRACCIÓN

Solicitud:

$$T_{sol} = 100 \cdot \text{tonf}$$

Esbeltez de la sección:

$$\left| \begin{array}{l} \text{"OK"} \quad \text{if} \quad \left(\frac{L_b}{r_y} \right) \leq 300 \quad = \text{"OK"} \\ \text{"rediseñar"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right.$$

a) Fluencia en tracción en el área bruta

$$\Omega_t := 1.67$$

$$P_{nta} := F_y \cdot A_g$$

$$P_{nta} = 1376.3 \cdot \text{tonf}$$

La resistencia admisible está dada por:

$$P_{adma} := \frac{P_{nta}}{\Omega_t}$$

$$P_{adma} = 824.144 \cdot \text{tonf}$$

b) Ruptura en tracción sección neta

$$\Omega_t := 2.00$$

$$U := 0.85$$

$$A_n := A_g$$

$$A_e := A_n \cdot U$$

$$A_e = 462.4 \cdot \text{cm}^2$$

$$P_{ntb} := F_u \cdot A_e$$

$$P_{ntb} = 1886.6 \text{ tonf}$$

La resistencia admisible de la sección está dada por:

$$P_{admb} := \frac{P_{ntb}}{\Omega_{tu}}$$

$$P_{admb} = 943.296 \text{ tonf}$$

Compresión

$$P_{sol} := 100 \text{ tonf}$$

$$\Omega_c := 1.67$$

Esbeltez de los elementos:

Alma:

$$\lambda_{w55} := \frac{H - 2e}{t}$$

$$\lambda_{w55} = 21$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alma55}} := \begin{cases} \text{"No Esbelto"} & \text{if } \lambda_{w40} \leq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"Esbelto"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alma55}} = \text{"No Esbelto"}$$

Ala:

$$\lambda_{f55} := \frac{B}{2 \cdot e}$$

$$\lambda_{f55} = 7.5$$

$$k_c := \frac{4}{\sqrt{\frac{H - 2e}{t}}}$$

$$k_c = 0.873$$

$$\text{esbeltez}_{\text{ala55}} := \begin{cases} \text{"No Esbelto"} & \text{if } \lambda_{f55} \leq 0.64 \sqrt{\frac{k_c \cdot E}{F_y}} \\ \text{"Esbelto"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{ala55}} = \text{"No Esbelto"}$$

Para esto, utilizamos el capítulo E3 de Compresión de la AISC 360-2010, donde:

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

Tensión de pandeo elástico:

$$K := 1$$

$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L_b}{r_y}\right)^2} \quad F_e = 1464.2 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

Tensión de pandeo por flexión:

$$F_{cr} := \begin{cases} \left[\left(\frac{F_y}{F_e} \right) F_y \right] & \text{if } \left(\frac{K \cdot L_b}{r_y} \right) \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ (0.877 \cdot F_e) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{cr} = 2.528 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

Por tanto, la resistencia nominal a compresión, será:

$$P_n := F_{cr} \cdot A_g \quad P_n = 1375.3 \cdot \text{tonf}$$

De este modo, la resistencia a compresión admisible, será:

$$P_{adm} := \frac{P_n}{\Omega_c} \quad P_{adm} = 823.548 \cdot \text{tonf}$$

Factor de utilización:

$$FU_c := \frac{P_{sol}}{P_{adm}} \quad FU_c = 0.121$$

5. Comprobación sección Puntal 20 x 20

Geometría del perfil:

Elegimos la sección 20 x 20

$$\begin{aligned} H_t &:= 20\text{cm} & B_t &:= 20\text{cm} & e_t &:= 1.2\text{cm} & t_t &:= 0.6\text{cm} \\ A_{gt} &:= 58.4\text{cm}^2 & I_{xt} &:= 452\text{cm}^4 & S_{xt} &:= 452\text{cm}^3 & r_{xt} &:= 8.79\text{cm} \\ I_{yt} &:= 1600\text{cm}^4 & S_{yt} &:= 160\text{cm}^3 & r_{yt} &:= 5.23\text{cm} & J_{\text{xx}} &:= 24.4\text{cm}^4 \\ Z_{xt} &:= 498\text{cm}^3 & Z_{yt} &:= 242\text{cm}^3 & h_{0t} &:= H_t - e_t = 18.8\text{cm} \\ L_{bt} &:= 140\text{cm} & C_{wt} &:= \frac{I_{yt} \cdot h_{0t}^2}{4} = 141376 \cdot \text{cm}^6 \end{aligned}$$

Solicitaciones del perfil:

Compresión:

$$C_{\text{xx}} := 50\text{tonf}$$

Tracción:

$$T_{\text{xx}} := 50\text{tonf}$$

Resistencia a Tracción:

a. Fluencia del área bruta $\Omega_t = 1.67$

$$\begin{aligned} P_{nta2} &:= F_y \cdot A_{gt} & P_{nta2} &= 147.752 \cdot \text{tonf} \\ P_{admta2} &:= \frac{P_{nta2}}{\Omega_t} & P_{admta2} &= 88.474 \cdot \text{tonf} \\ FU_{ta} &:= \frac{T}{P_{admta2}} & FU_{ta} &= 0.565 \end{aligned}$$

b. Ruptura en tracción en la sección neta

$$\Omega_{b1} := 2.00$$

$$A_{nt} := A_{gt}$$

$$U_t := 1.0$$

$$A_{et} := A_{nt} \cdot U_t$$

$$P_{ntb2} := F_u \cdot A_{et}$$

$$P_{ntb2} = 238.272 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{admtb2} := \frac{P_{ntb2}}{\Omega_{b1}}$$

$$P_{admtb2} = 119.136 \cdot \text{tonf}$$

$$FU_{tb} := \frac{T}{P_{admtb2}}$$

$$FU_{tb} = 0.42$$

Resistencia a Compresión:

$$\Omega_c := 1.67$$

Esbeltez de los elementos:

Alma:

$$\lambda_{w20} := \frac{H_t - 2e_t}{t_t}$$

$$\lambda_{w20} = 29.333$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alma20}} := \begin{cases} \text{"No Esbelto"} & \text{if } \lambda_{w20} \leq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"Esbelto"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alma55}} = \text{"No Esbelto"}$$

Ala:

$$\lambda_{f20} := \frac{B}{2 \cdot e}$$

$$\lambda_{f20} = 7.5$$

$$k_c := \frac{4}{\sqrt{\frac{H_t - 2e_t}{t_t}}}$$

$$k_c = 0.739$$

$$\text{esbeltez}_{\text{ala20}} := \begin{cases} \text{"No Esbelto"} & \text{if } \lambda_{f20} \leq 0.64 \sqrt{\frac{k_c \cdot E}{F_y}} \\ \text{"Esbelto"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{ala55}} = \text{"No Esbelto"}$$

Para esto, utilizamos el capítulo E3 de Compresión de la AISC 360-2010, donde:

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

Tensión de pandeo elástico:

$$K := 1$$
$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L_b}{r_y}\right)^2} \quad F_e = 1464.2 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

Tensión de pandeo por flexión:

$$F_{cr20} := \begin{cases} \left[\left(\frac{F_y}{F_e} \right) \right] F_y & \text{if } \left(\frac{K \cdot L_b}{r_y} \right) \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ (0.877 \cdot F_e) & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$F_{cr} = 2.528 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

Por tanto, la resistencia nominal a compresión, será:

$$P_{n20} := F_{cr20} \cdot A_{gt} \quad P_{n20} = 147.6 \cdot \text{tonf}$$

De este modo, la resistencia a compresión admisible, será:

$$P_{adm20} := \frac{P_{n20}}{\Omega_c} \quad P_{adm20} = 88.41 \cdot \text{tonf}$$

Factor de utilización:

$$FU_{cp} := \frac{C}{P_{adm20}} \quad FU_{cp} = 0.566$$

Conexiones con pernos:

Geometría del perno:

$$d_p := 2.54 \text{cm} \cdot \left(1 + \frac{0}{4}\right) \quad d_p = 2.54 \text{cm}$$
$$A_{gp} := \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \quad A_{gp} = 5.1 \cdot \text{cm}^2$$

Tracción por perno:

$$n := 4 \quad \text{Número de pernos}$$

$$T_{pp} := \frac{T}{n} \quad T_{pp} = 12.5 \cdot \text{tonf}$$

Características de los pernos de alta resistencia tipo A 325:

$$F_{nt} := 620 \text{MPa}$$

$$F_{nv} := 372 \text{MPa}$$

Resistencia nominal de los pernos

$$\Omega_{perno} := 2.0$$

$$P_{np} := F_{nt} \cdot A_{gp}$$

$$P_{np} = 32.035 \cdot \text{tonf}$$

Resistencia admisible por perno:

$$P_{admperno} := \frac{P_{np}}{\Omega_{perno}}$$

$$P_{admperno} = 16.018 \cdot \text{tonf}$$

$$FU_{pernos} := \frac{T_{pp}}{P_{admperno}}$$

$$FU_{pernos} = 0.78$$

Verificaremos qué tensiones soporta cada elemento. Esto debido a que los esfuerzos se reparten entre el hormigón y este perfil.

$$Ver_{perno} := \text{if}(T_{pp} \leq P_{admperno}, "OK", "rediseñar")$$

$$E_{acero} := 2100 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

$$Ver_{perno} = "OK"$$

$$E_{hormigon} := 370 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

Áreas involucradas:

$$A_{acero} := 38.4 \text{cm}^2$$

$$A_{hormigon} := 60 \text{cm} \cdot 77 \text{cm}$$

$$A_{hormigon} = 4620 \cdot \text{cm}^2$$

De este modo, se tiene que la relación entre los EA es la siguiente:

$$E_{acero} \cdot A_{acero} = 80640 \cdot \text{tonf}$$

$$E_{hormigon} \cdot A_{hormigon} = 1709400 \cdot \text{tonf}$$

$$\frac{E_{acero} \cdot A_{acero}}{E_{hormigon} \cdot A_{hormigon}} = 0.047$$

Por tanto, los esfuerzos se reparten de esa manera:

Repartición de esfuerzos (tubular y hormigón)

$$\text{Comp}_{\text{tubular}} := 100\text{tonf} \cdot \frac{E_{\text{acero}} \cdot A_{\text{acero}}}{E_{\text{hormigon}} \cdot A_{\text{hormigon}}} = 4.717 \cdot \text{tonf}$$

$$\text{Comp}_{\text{hormigon}} := 100\text{tonf} \cdot \left[1 - \left(\frac{E_{\text{acero}} \cdot A_{\text{acero}}}{E_{\text{hormigon}} \cdot A_{\text{hormigon}}} \right) \right] = 95.3 \cdot \text{tonf}$$

Tensión producida por los esfuerzos en el hormigón son:

$$\sigma_{\text{hormigon}} := \frac{\text{Comp}_{\text{hormigon}}}{A_{\text{hormigon}}} \quad \sigma_{\text{hormigon}} = 2.023 \cdot \text{MPa}$$

Donde la tensión característica del hormigón H35 es de:

$$\sigma_{\text{hormigonH35}} := 35\text{MPa}$$

Verificación de resistencia del hormigón:

$$\text{Ver}_{\text{hormigon}} := \text{if}(\sigma_{\text{hormigon}} \leq \sigma_{\text{hormigonH35}}, \text{"OK"}, \text{"rediseñar"})$$

$$\text{Ver}_{\text{hormigon}} = \text{"OK"}$$

Tensión producida en la esquina del muro de reacción:

La tensión en este punto es triangular, en donde la tensión máxima se produce en la esquina del muro. De este modo se tiene:

$$T_{\text{maximizado}} := 50\text{tonf}$$

$$d_{\text{ist}} := 78\text{cm}$$

$$M_{\text{T}} := T_{\text{maximizado}} \cdot d_{\text{ist}} = 3900 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

Asumimos que la compresión es igual a la tracción ($C = T$) de las barras con hilo y el homigón, por tanto:

$$d_{\text{pernos}} := 40\text{cm}$$

Por tanto, cada perno deberá resistir:

$$C := \frac{M_{\text{T}}}{d_{\text{pernos}} \cdot 2} \quad C = 48.75 \cdot \text{tonf}$$

$$T := C$$

$$T = 48.75 \cdot \text{tonf}$$

De este modo, podemos calcular la tensión que se registra la esquina del muro de reacción:

$$x := 1\text{cr}$$

Dado

$$M_T = 2 \cdot C \cdot \left(d_{\text{ist}} - \frac{x}{3} \right)$$

$$x := \text{Find}(x)$$

$$x = 1.14\text{m}$$

Como x es mayor que el largo de la parte del muro que está sometida a compresión, se tiene que:

$$x := 77\text{cm}$$

Por tanto, la tensión que debe resistir el hormigón en la esquina es:

$$\sigma := 1 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

Dado

$$0.5 \cdot \sigma \cdot x \cdot 60\text{cm} = 2C + \text{Comp}_{\text{hormigon}}$$

$$\sigma := \text{Find}(\sigma)$$

$$\sigma = 8.184 \cdot \text{MPa}$$

De este modo, hacemos la verificación:

$$\text{Ver2}_{\text{hormigon}} := \text{if}(\sigma \leq \sigma_{\text{hormigonH35}}, \text{"OK"}, \text{"rediseñar"})$$

$$\text{Ver2}_{\text{hormigon}} = \text{"OK"}$$

CONEXIÓN LINKS RÍGIDOS

tonf := 1tonnef

En este caso, los links están sometidos a tracción y compresión en la conexión del pasador, por lo cual, se tiene que:

$$T_{sol} := 50\text{tonf}$$

$$P_{sol} := 50\text{tonf}$$

$$a := 60\text{mm}$$

$$t := 37\text{mm}$$

$$d := 65\text{mm}$$

$$b := 50\text{mm}$$

$$b_c := \begin{cases} 2 \cdot t + 16\text{mm} & \text{if } 2 \cdot t + 16\text{mm} \leq b \\ b & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b_c = 50\text{mm}$$

$$w := 2 \cdot b_c + d$$

$$w = 16.5\text{cm}$$

$$\frac{w}{8} = 2.063\text{cm}$$

Diseño a tracción:

$$\Omega_{sf} := 2.00$$

$$F_u := 58.0151\text{ksi}$$

$$F_u = 400\text{MPa}$$

(a) Para rotura en tracción en el area neta efectiva:

$$P_{n1} := F_u \cdot 2 \cdot t \cdot b_c$$

$$P_{n1} = 150.918\text{tonf}$$

$$P_{adm1} := \frac{P_{n1}}{\Omega_{sf}}$$

$$P_{adm1} = 75.459\text{tonf}$$

$$FU_1 := \frac{T_{sol}}{P_{adm1}}$$

$$FU_1 = 0.663$$

(b) Para rotura en corte en el área efectiva:

Corte:

$$P_n = 0.6 \cdot F_u \cdot A_{sf}$$

De este modo se tiene que:

$$A_{sf} := 2 \cdot t \cdot \left(a + \frac{d}{2} \right)$$

$$A_{sf} = 68.45\text{cm}^2$$

Así, diseñamos para esta carga de corte

$$P_{nv} := 0.6 \cdot F_u \cdot A_{sf}$$

$$P_{nv} = 167.519\text{tonf}$$

Por lo cual, el corte admisible será:

$$P_{adm2} = \frac{P_{nv}}{\Omega_{sf}}$$

Así se tiene que:

$$P_{adm2} := \frac{P_{nv}}{\Omega_{sf}} \quad P_{adm2} = 83.759 \cdot \text{tonf}$$

$$FU_2 := \frac{T_{sol}}{P_{adm2}} \quad FU_2 = 0.597$$

(c) Para aplastamiento en el área proyectada del pasador (sección J7)

c.1) Resistencia de aplastamiento nominal para pasadores:

$$R_n = 1.8 \cdot F_y \cdot A_{pb}$$

donde,

F_y: tensión de fluencia mínima

A_{pb}: área proyectada de apoyo

$$F_y := 36.2595 \text{ksi} \quad F_y = 250 \cdot \text{MPa}$$

$$A_{pb} := t \cdot d = 24.05 \cdot \text{cm}^2$$

$$R_{n3} := 1.8 F_y \cdot A_{pb} \quad R_{n3} = 110.359 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{adm3} := \frac{R_{n3}}{\Omega_{sf}} \quad R_{adm3} = 55.179 \cdot \text{tonf}$$

$$FU_3 := \frac{P_{sol}}{R_{adm3}} \quad FU_3 = 0.906$$

(d) Para fluencia en la sección bruta (sección D2(a))

d.1) Para fluencia en tracción en la sección bruta:

$$P_{n4} = F_y \cdot A_g$$

$$\Omega_t := 1.67$$

donde,

A_g: area bruta del miembro

F_y: tensión de fluencia mínima

$$A_g := t \cdot w \quad A_g = 61.05 \cdot \text{cm}^2$$

$$P_{n4} := F_y \cdot A_g \quad P_{n4} = 155.634 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{adm4} := \frac{P_{n4}}{\Omega_t} \quad P_{adm4} = 93.194 \cdot \text{tonf}$$

$$FU_4 := \frac{T_{sol}}{P_{adm4}} \quad FU_4 = 0.537$$

d.2) Para ruptura en tracción en la sección neta:

$$P_{n5} = F_u \cdot A_e$$

$$\Omega_T := 2.00$$

donde,

Ae: área neta efectiva

Fu: tensión última mínima especificada

An: área neta

U: factor de corte diferido

$$A_e = A_n \cdot U$$

$$A_n := t \cdot (w - d) \quad A_n = 37 \cdot \text{cm}^2$$

$$U := 1 - 0.15 \quad U = 0.85$$

$$A_e := A_n \cdot U \quad A_e = 31.45 \cdot \text{cm}^2$$

De este modo la resistencia a ruptura en tracción es:

$$P_{n5} := F_u \cdot A_e \quad P_{n5} = 128.28 \cdot \text{tonf}$$

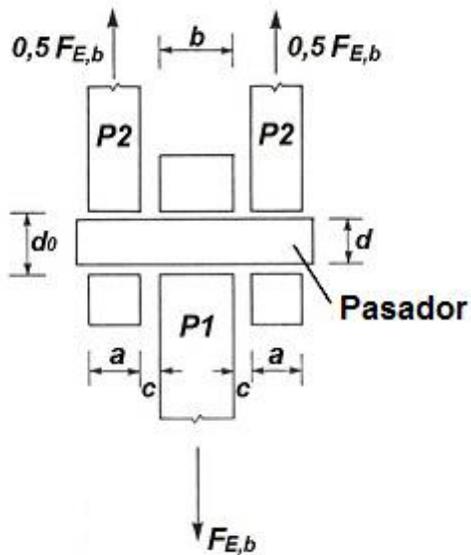
Llegando así, a que la carga admisible para este modo de falla es:

$$P_{adm5} := \frac{P_{n5}}{\Omega_T} \quad P_{adm5} = 64.14 \cdot \text{tonf}$$

$$FU_5 := \frac{T_{sol}}{P_{adm5}} \quad FU_5 = 0.78$$

(e) Diseño para prevenir la falla del pasador

e.1) Resistencia de diseño a flexión de un pasador



Usaremos para esta figura la nomenclatura:

$$\begin{aligned} a &= a1 \\ b &= b1 = t \\ c &= c1 \end{aligned}$$

$$a1 := 0.5406t$$

$$a1 = 2 \cdot \text{cm}$$

$$b1 := t$$

$$b1 = 3.7 \cdot \text{cm}$$

$$c1 := 2.5 \text{mm}$$

El momento flector solicitante está dado por:

$$M_{Eb} := P_{\text{sol}} \cdot \left(\frac{b1 + 4c1 + 2a1}{8} \right)$$

$$M_{Eb} = 54.378 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$M_n = 1.5 \cdot F_y \cdot \pi \cdot \frac{d^3}{32}$$

$$\Omega_{\text{pas}} := 1.67$$

$$F_y := 36 \text{ksi}$$

$$F_u = 400 \text{MPa}$$

Por lo cual,

$$M_n := \frac{1.5 \cdot F_y \cdot \pi \cdot d^3}{32}$$

$$M_n = 102.36 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{\text{adm}} := \frac{M_n}{\Omega_{\text{pas}}}$$

$$M_{\text{adm}} = 61.294 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$\text{Vere1} := \text{if}(M_{Eb} \leq M_{\text{adm}}, \text{"OK"}, \text{"Rediseñar"})$$

$$\text{Vere1} = \text{"OK"}$$

e.2) Resistencia de diseño a corte del pasador

El corte solicitante es:

$$V_{\text{sol}} := 0 \text{tonf}$$

$$F_{yp} := 40 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

La resistencia a corte del pasador está dada por:

$$V_n = 0.6 \cdot F_{yp} \cdot A_{\text{pas}}$$

$$\Omega_{\text{pasv}} := 1.67$$

donde,

A_{pas} : es el área del pasador

$$A_{pas} := \frac{\pi \cdot d^2}{4} \qquad A_{pas} = 33.183 \cdot \text{cm}^2$$

De este modo, tenemos:

$$V_n := 0.6 \cdot F_{yp} \cdot A_{pas} \qquad V_n = 79.639 \cdot \text{tonf}$$

$$V_{adm} := \frac{V_n}{\Omega_{pasv}} \qquad V_{adm} = 47.688 \cdot \text{tonf}$$

$$Vere2 := \text{if}(V_{sol} \leq V_{adm}, \text{"OK"}, \text{"Rediseñar"})$$

$$Vere2 = \text{"OK"}$$

DISEÑO PLACA BASE

Se tiene que para una carga de compresión dada, en este caso tomaremos:

$$P_{sol} = 50 \cdot \text{tonf} \qquad \Omega_c := 2.31$$

El área de apoyo en el concreto, está dada por:

$$P_p = 0.85 \cdot f'_c \cdot A_1$$

$$f'_c := 35 \text{MPa}$$

De donde,

f'_c : Resistencia a compresión del concreto

A_1 : Área de apoyo concéntrico de acero en un soporte de concreto

De este modo, tenemos que, el área A_1 , está dada por:

$$A_1 := \frac{P_{sol}}{\frac{0.85 \cdot f'_c}{\Omega_c}} \qquad A_1 = 380.729 \cdot \text{cm}^2$$

Verificación de apalancamiento de la placa base

Para esto utilizaremos la norma FEMA 350, ecuación (3-61), paso 7. En donde la capacidad nominal de plastificación del ala es a partir de la siguiente ecuación:

$$R_{npb} = \frac{\left(2 \cdot a' - \frac{d_{bt}}{4}\right) \cdot w \cdot F_y \cdot t_f^2}{4 \cdot a' \cdot b' - d_{bt} \cdot (b' + a')} \qquad \Omega_{pb} := 1.67$$

Donde:

w : ancho del ala en tracción

t_f : espesor de la placa base
 a' : distancia del borde de la placa base hasta el borde interno de la perforación

b' : distancia desde el borde de la soldadura hasta el centro del perno

d_{bt} : diámetro del perno

$$w_1 := 40\text{cm}$$

$$t_{f1} := 5\text{cm}$$

$$a' := 10\text{cm} + 2.54\text{cm}$$

$$a' = 12.54\text{cm}$$

$$b' := 16\text{cm}$$

$$d_{bt} := 2\text{in}$$

$$d_{bt} = 5.08\text{cm}$$

$$R_{npb} := \frac{\left(2 \cdot a' - \frac{d_{bt}}{4}\right) \cdot w_1 \cdot F_y \cdot t_{f1}^2}{4 \cdot a' \cdot b' - d_{bt} \cdot (b' + a')}$$

$$R_{npb} = 91.646\text{ tonf}$$

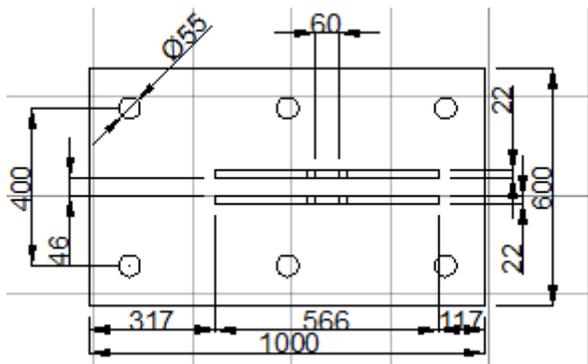
$$R_{admpb} := \frac{R_{npb}}{\Omega_{pb}}$$

$$R_{admpb} = 54.878\text{ tonf}$$

$$t_p := t_{f1} = 5\text{cm}$$

SOLDADURA DE PLACA BASE A CONECTOR PASADOR

Este conector va soldado a la placa base de la siguiente forma:



Se tiene entonces que la soldadura es de penetración completa, y el esfuerzo de tracción es normal al eje de la soldadura:

$$w := 56.6\text{cm}$$

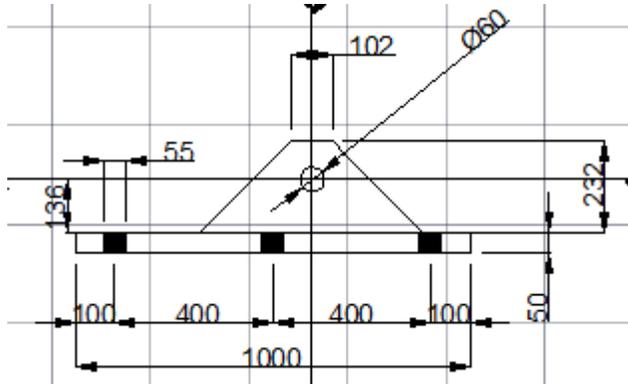
$$T_{sol} = 50\text{ tonf}$$

$$a_1 = 2\text{cm}$$

La sollicitación por largo unitario está dada por:

$$f_{tc} := \frac{T_{sol}}{2w} \qquad f_{tc} = 0.442 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

La sollicitación por momento estará dada por:



El esfuerzo que interviene es aplicado justo en el centro del pasador, de este modo el momento aplicado en el centro de gravedad de la conexión es:

$$dis_{ap} := 13.6\text{cm}$$

$$d_{soldci} := 2\text{cm}$$

Inercia en x:

$$I_x := \left[\left(\frac{t}{2} \right)^2 \cdot d_{soldci} \cdot w + d_{soldci}^3 \cdot \frac{w}{12} \right] \cdot 2 + \left[\left(\frac{w}{2} \right)^2 \cdot d_{soldci} \cdot t + \frac{d_{soldci} \cdot t^3}{12} \right] \cdot 2$$

$$I_x = 127203770 \cdot \text{mm}^4$$

Momento:

$$M := V_{sol} \cdot dis_{ap}$$

$$M = 0 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$f_m := \frac{M \cdot \frac{w}{2}}{\frac{I_x}{\text{mm}}} = 0 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

Por tanto, la sollicitación de diseño estará dada por:

$$f := \sqrt{f_{tc}^2 + f_m^2} \qquad f = 0.442 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

Resistencia del metal base:

1. Resistencia de elementos en tracción:

a) Para fluencia en tracción de elementos conectores: $\Omega_{ta} := 1.67$

$$A_{gsoldado1} := w \cdot a1$$

$$A_{gsoldado1} = 113.212 \cdot \text{cm}^2$$

$$R_{nsold1} := F_y \cdot A_{gsoldado1} \quad R_{nsold1} = 286.546 \cdot \text{tonf}$$

De este modo, la resistencia admisible de la pieza es:

$$R_{admJ4.1.a} := \frac{R_{nsold1}}{\Omega_{ta}} \quad R_{admJ4.1.a} = 171.585 \cdot \text{tonf}$$

b) Para ruptura en tracción de elementos conectores: $\Omega_{tb} := 2.00$

$$A_{esoldado} := A_{gsoldado1}$$

$$R_{nsold2} := F_u \cdot A_{esoldado} \quad R_{nsold2} = 461.778 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{admJ4.1.b} := \frac{R_{nsold2}}{\Omega_{tb}} \quad R_{admJ4.1.b} = 230.889 \cdot \text{tonf}$$

La resistencia de la soldadura está dada por:

$$R_n = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot A_{BM} \quad \Omega_{sold} := 2.00$$

Donde,

FEXX: tensión nominal de la soldadura

ABM: tamaño de la garganta de soldadura

En este caso, usaremos soldaduras del tipo

$$F_{E70} := 70 \text{ksi} \quad F_{E70} = 482.633 \cdot \text{MPa}$$

Se utilizará un espesor y garganta de soldadura de:

$$d_{soldc} := a1$$

$$g_{soldc} := d_{soldc} \quad g_{soldc} = 2 \cdot \text{cm}$$

(*) Donde según AISC 360 Tabla J2.3 la garganta efectiva para el miembro más delgado, en este caso 15 mm, debe ser mínimo de 6 mm. Así mismo, según la Tabla J2.4, para el miembro más delgado (15 mm), se necesita un cordón mayor que 6 mm.

Por tanto, se tiene una resistencia nominal de:

$$R_{nc} := 0.6 \cdot F_{E70} \cdot g_{soldc} \quad R_{nc} = 5.906 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

De este modo la resistencia admisible de la conexión es de:

$$F_{admc} := \frac{R_{nc}}{\Omega_{sold}} \quad F_{admc} = 2.953 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

$$F_{Uc} := \frac{f}{F_{admc}} \quad F_{Uc} = 0.15$$

SOLDADURA LINK SUPERIOR

En este caso, se tienen las mismas solicitaciones que en link inferior, por tanto:

$$w_2 := 17.5\text{cm}$$

$$d_{\text{soldadura2}} := a1$$

$$d_{\text{soldadura2}} = 2\text{cm}$$

Solicitación:

$$T_{\text{soli}} := \frac{T_{\text{sol}}}{2}$$

$$T_{\text{soli}} = 25\text{tonf}$$

$$f_2 := \frac{T_{\text{soli}}}{w_2}$$

$$f_2 = 1.429 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

Resistencia del metal base:

1. Resistencia de elementos en tracción:

a) Para fluencia en tracción de elementos conectores: $\Omega_{ta} = 1.67$

$$A_{\text{gsoldado2}} := w_2 \cdot a1$$

$$A_{\text{gsoldado2}} = 35.004\text{cm}^2$$

$$R_{\text{nsolda2}} := F_y \cdot A_{\text{gsoldado2}}$$

$$R_{\text{nsolda2}} = 88.597\text{tonf}$$

De este modo, la resistencia admisible de la pieza es:

$$R_{\text{adm2J4.1.a}} := \frac{R_{\text{nsolda2}}}{\Omega_{ta}}$$

$$R_{\text{adm2J4.1.a}} = 53.052\text{tonf}$$

b) Para ruptura en tracción de elementos conectores: $\Omega_{tb} = 2$

$$A_{\text{esoldado2}} := A_{\text{gsoldado2}}$$

$$R_{\text{nsoldar2}} := F_u \cdot A_{\text{esoldado2}}$$

$$R_{\text{nsoldar2}} = 142.776\text{tonf}$$

$$R_{\text{adm2J4.1.b}} := \frac{R_{\text{nsoldar2}}}{\Omega_{tb}}$$

$$R_{\text{adm2J4.1.b}} = 71.388\text{tonf}$$

La resistencia de la soldadura está dada por:

$$R_n = 0.6 \cdot F_{\text{EXX}} \cdot A_{\text{BM}}$$

$$\Omega_{\text{sold}} = 2$$

Donde,

FEXX: tensión nominal de la soldadura

ABM: tamaño de la garganta de soldadura

En este caso, usaremos soldaduras del tipo

$$F_{E70} := 70 \text{ksi} \qquad F_{E70} = 482.633 \cdot \text{MPa}$$

Se utilizará un espesor y garganta de soldadura de:

$$d_{\text{soldc}2} := a1$$

$$g_{\text{soldc}2} := d_{\text{soldc}} \qquad g_{\text{soldc}2} = 2 \cdot \text{cm}$$

(*) Donde según AISC 360 Tabla J2.3 la garganta efectiva para el miembro más delgado, en este caso 15 mm, debe ser mínimo de 6 mm. Así mismo, según la Tabla J2.4, para el miembro más delgado (15 mm), se necesita un cordón mayor que 6 mm.

Por tanto, se tiene una resistencia nominal de:

$$R_{nc2} := 0.6 \cdot F_{E70} \cdot g_{\text{soldc}} \qquad R_{nc2} = 5.906 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

De este modo la resistencia admisible de la conexión es de:

$$F_{\text{admc}2} := \frac{R_{nc2}}{\Omega_{\text{sold}}} \qquad F_{\text{admc}2} = 2.953 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}}$$

$$F_{Uc2} := \frac{f2}{F_{\text{admc}2}} \qquad F_{Uc} = 0.15$$

BARRA CON HILO Y COPLA

El hilo que se necesita para realizar el ajuste entre la barra con hilo extremo y copla, para ajustarlo en la celda de carga es M 42 x 2.

$$L_{\text{barra}} := 94.1 \text{cm} \qquad \text{Largo libre de la barra}$$

$$d_{\text{barra}} := 80 \text{mm} \qquad \text{Diámetro de la barra}$$

Área de la barra:

$$A_{\text{barra}} := \frac{\pi \cdot d_{\text{barra}}^2}{4} \qquad A_{\text{barra}} = 50.265 \cdot \text{cm}^2$$

Inercia de la barra:

$$I_{x\text{barra}} := \frac{\pi \cdot d_{\text{barra}}^4}{64} \qquad I_{x\text{barra}} = 201.062 \cdot \text{cm}^4$$

$$r_{x\text{barra}} := \sqrt{\frac{I_{x\text{barra}}}{A_{\text{barra}}}} \quad r_{x\text{barra}} = 2 \cdot \text{cm}$$

Esbeltez de la barra

$$K := 1.00$$

$$\lambda_{\text{barra}} := \frac{K \cdot L_{\text{barra}}}{r_{x\text{barra}}} \quad \lambda_{\text{barra}} = 47.05$$

Verificación Pandeo Global

$$\text{Ver}_{\text{glob}} := \text{if}(\lambda_{\text{barra}} \leq 200, \text{"OK"}, \text{"Aumentar diámetro"})$$

$$\text{Ver}_{\text{glob}} = \text{"OK"}$$

RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Para elementos sin elementos esbeltos, se tiene que:

$$E := 2100 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{e\text{barra}} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_{\text{barra}}^2} \quad F_{e\text{barra}} = 9.363 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{cr\text{barra}} := \begin{cases} \left[\left(\frac{F_y}{0.658 F_{e\text{barra}}} \right) F_y \right] & \text{if } \lambda_{\text{barra}} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ (0.877 F_{e\text{barra}}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{cr\text{barra}} = 2.275 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2}$$

Resistencia nominal de la barra

$$P_{n\text{barra}} := F_{cr\text{barra}} \cdot A_{\text{barra}} \quad P_{n\text{barra}} = 114.339 \cdot \text{tonf}$$

Resistencia admisible de la barra: $\Omega_{\text{comp}} := 1.67$

$$P_{\text{admbarra}} := \frac{P_{\text{nbarra}}}{\Omega_{\text{comp}}}$$

$$P_{\text{admbarra}} = 68.467 \cdot \text{tonf}$$

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Esbeltez

$$\text{Ver}_{\text{taccion}} := \text{if}(\lambda_{\text{barra}} \leq 300, \text{"OK"}, \text{"Rediseñar"})$$

$$\text{Ver}_{\text{taccion}} = \text{"OK"}$$

a) Fluencia a tracción de la sección bruta: $\Omega_a := 1.67$

$$P_{\text{na}} := F_y \cdot A_{\text{barra}}$$

$$P_{\text{na}} = 128.142 \cdot \text{tonf}$$

Resistencia Admisibile:

$$P_{\text{adma}} := \frac{P_{\text{na}}}{\Omega_a}$$

$$P_{\text{adma}} = 76.731 \cdot \text{tonf}$$

$$\text{FU}_{\text{barra}} := \frac{T_{\text{sol}}}{P_{\text{adma}}}$$

$$\text{FU}_{\text{barra}} = 0.652$$

Deformación:

$$\delta_{\text{barra}} := \frac{P_{\text{sol}} \cdot L_{\text{barra}}}{A_{\text{barra}} \cdot E}$$

$$\delta_{\text{barra}} = 0.446 \text{ mm}$$

ESFUERZOS FUERA DEL PLANO DE ACCIÓN DEL ACTUADOR

tonf := 1tonnef

1. Esfuerzos fuera del plano

Para el cálculo de los esfuerzos fuera del plano de acción de las fuerzas concernientes al actuador hidráulico, se utilizará el Apéndice 6 de la AISC 360 "STABILITY BRACING FOR COLUMNS AND BEAMS", en específico el punto 6.4.a y 6.4.b, "BEAM-COLUMN BRACING"

1.- Resistencia requerida

$$P_{br} = P_{brc} + P_{brv}$$

$$P_{brc} = 0.004 \cdot P_r$$

$$P_{brv} = 0.008 \cdot \frac{M_r \cdot C_d}{h_0}$$

P_r : Resistencia axial de compresión requerida

M_r : resistencia de flexión requerida

h_0 : distancia entre centroides de las alas

$$C_d := 1.0$$

$$P_r := 107.2 \text{ tonf}$$

$$M_r := 175 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

$$h_0 := (80 \text{ cm} - 6 \text{ cm}) = 74 \cdot \text{cm}$$

$$P_{brc} := 0.004 \cdot P_r$$

$$P_{brc} = 0.429 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{brv} := 0.008 \cdot \frac{M_r \cdot C_d}{h_0}$$

$$P_{brv} = 1.892 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{br} := P_{brc} + P_{brv}$$

$$P_{br} = 2.321 \cdot \text{tonf}$$

Por tanto, la carga a la cual estará sometido el marco de reacción fuera del plano de acción del actuador hidráulico será:

$$P_{br} = 2.321 \cdot \text{tonf}$$

2. Marco necesario para la restricción

Momento máximo en el marco:

$$M_{sol} := 210 \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$E := 2100 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \quad F_y := 2.53 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \quad F_u := 4.08 \frac{\text{tonf}}{\text{cm}^2} \quad \Omega := 1.67$$

Para el marco, se elige un perfil HN 30, cuyas propiedades son:

$$\begin{array}{lllll} H := 30 \text{cm} & B := 30 \text{cm} & e := 1.0 \text{cm} & t := 0.8 \text{cm} & A_g := 82.4 \text{cm}^2 \\ I_x := 14100 \text{cm}^4 & S_x := 939 \text{cm}^3 & r_x := 13.1 \text{cm} & & \\ I_y := 4500 \text{cm}^4 & S_y := 300 \text{cm}^3 & r_y := 7.39 \text{cm} & & \\ J := 24.9 \text{cm}^4 & C_a := 946000 \text{cm}^6 & Z_x := 1510 \text{cm}^3 & Z_y := 724 \text{cm}^3 & \end{array}$$

DISEÑO A FLEXIÓN

Esbeltez:

$$E = 205.94 \text{GPa}$$

Ala:

$$F_y = 248.108 \text{MPa}$$

$$\lambda_f := \frac{B}{2e} \quad \lambda_f = 15$$

$$\text{esbeltez}_{\text{ala}} := \begin{cases} \text{"compacto"} & \text{if } \lambda_f < 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"no compacto"} & \text{if } 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \leq \lambda_f < 1.0 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"esbelto"} & \text{if } 1.0 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \lambda_f \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{ala}} = \text{"no compacto"}$$

Alma:

$$\lambda_w := \frac{(H - 2e)}{t} \quad \lambda_w = 35$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alma}} := \begin{cases} \text{"compacto"} & \text{if } \lambda_w < 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"no compacto"} & \text{if } 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \leq \lambda_w < 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"esbelto"} & \text{if } 5.7 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \lambda_w \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alma}} = \text{"compacto"}$$

Correspondiente al caso F3 de la AISC 360:

Diseño Flexión:

1. Fluencia:

$$M_{n1} := F_y \cdot Z_x \qquad M_{n1} = 3820.3 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

2. Pandeo Lateral torsional:

$$L_b := 260 \text{cm}$$

$$L_p := 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad L_p = 374.72 \cdot \text{cm}$$

$$h_0 := H - e \qquad h_0 = 29 \cdot \text{cm}$$

$$C_w := \frac{I_y \cdot h_0^2}{4} \qquad C_w = 946125 \cdot \text{cm}^6$$

$$r_{ts} := \sqrt{\frac{\sqrt{I_y \cdot C_w}}{S_x}} \qquad r_{ts} = 8.336 \cdot \text{cm}$$

$$M_p := M_{n1}$$

$$c := 1$$

$$k_c := \frac{4}{\sqrt{\frac{H - 2e}{t}}} \qquad k_c = 0.676$$

$$L_T := 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 F_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(0.7 \cdot \frac{F_y}{E}\right)^2}} \qquad L_T = 1105.6 \cdot \text{cm}$$

$$\text{Caso} := \begin{cases} \text{"Caso a"} & \text{if } L_b < L_p \\ \text{"Caso b"} & \text{if } L_p \leq L_b < L_T \\ \text{"Caso c"} & \text{if } L_T \leq L_b \end{cases} \quad \text{Caso} = \text{"Caso a"}$$

Por tanto, no aplica pandeo lateral torsional

3. Pandeo Local Ala en Compresión

$$M_{n2} := \begin{cases} \left[M_p - (M_p - 0.7 \cdot F_y \cdot S_x) \cdot \frac{\left(\lambda_f - 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right)}{\left(1.0 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} - 0.038 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right)} \right] & \text{if esbeltez}_{\text{ala}} = \text{"no compacto"} \\ \left(\frac{0.9 \cdot E \cdot k_c \cdot S_x}{\lambda_f^2} \right) & \text{if esbeltez}_{\text{ala}} = \text{"esbelto"} \end{cases}$$

$$M_{n2} = 3504.9 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

De este modo, se tiene que:

$$M_n := \min(M_{n1}, M_{n2})$$

$$M_n = 3504.9 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

Por lo cual,

$$M_{\text{adm}} := \frac{M_n}{\Omega} \quad M_{\text{adm}} = 2098.7 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

De este modo, el factor de utilización da:

$$FU := \frac{M_{\text{sol}}}{M_{\text{adm}}} \quad FU = 0.1$$

3. Puntales de Marco

Compresión y Tracción del puntal:

$$P_{\text{sol}} := 4 \text{tonf} \quad T_{\text{sol}} := 4 \text{tonf}$$

Se elige el perfil canal, cuyas propiedades geométricas son las siguientes:

$$\begin{aligned} H_c &:= 20 \text{cm} & B_c &:= 10 \text{cm} & e_c &:= 0.6 \text{cm} & A_{g_c} &:= 22.8 \text{cm}^2 & I_{xc} &:= 1420 \text{cm}^3 \\ S_{xc} &:= 142 \text{cm}^3 & r_{xc} &:= 7.88 \text{cm} & I_{yc} &:= 225 \text{cm}^4 & S_{yc} &:= 31.2 \text{cm}^3 & r_{yc} &:= 3.14 \text{cm} \end{aligned}$$

$$L := 338 \text{ cm}$$

$$\Omega_c := 1.67$$

Esbeltez de la sección:

$$\lambda_{f1} := \frac{B_c}{e_c} \quad \lambda_{f1} = 16.667$$

Esbeltez del ala

$$\text{esbeltez}_{\text{alacompresión}} := \begin{cases} \text{"No Esbelto"} & \text{if } \lambda_{f1} < 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"Esbelto"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alacompresión}} = \text{"Esbelto"}$$

$$\lambda_{w1} := \frac{H_c - 2e_c}{e_c} = 31.333$$

Esbeltez del alma

$$\text{esbeltez}_{\text{alacompresión}} := \begin{cases} \text{"No Esbelto"} & \text{if } \lambda_{w1} < 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"Esbelto"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{\text{alacompresión}} = \text{"No Esbelto"}$$

Miembros con elementos esbeltos:

Para elementos no atesados Qs:

$$k_c := \frac{4}{\sqrt{\frac{B_c}{e_c}}} \quad k_c = 0.98$$

$$Q_s := \begin{cases} 1.0 & \text{if } \lambda_{f1} \leq 0.64 \sqrt{\frac{E \cdot k_c}{F_y}} \\ \left(1.415 - .65 \cdot \lambda_{f1} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E \cdot k_c}} \right) & \text{if } 0.64 \sqrt{\frac{E \cdot k_c}{F_y}} < \lambda_{f1} \leq 1.17 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_c}{F_y}} \\ \left(\frac{0.90 \cdot E \cdot k_c}{F_y \cdot \lambda_{f1}^2} \right) & \text{if } 1.17 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_c}{F_y}} < \lambda_{f1} \end{cases}$$

$$Q_s = 1$$

$$Q := Q_s$$

$$K_{\lambda\lambda\lambda\lambda} := 2.0$$

Esbeltez Global:

$$\lambda_1 := \frac{K \cdot L}{r_{xc}} = 85.787$$

$$\lambda_2 := \frac{K \cdot L}{r_{yc}} = 215.287$$

Donde:

$$\lambda := \max(\lambda_1, \lambda_2)$$

$$\lambda = 215.287$$

Comprobamos que:

$$Ver_0 := \text{if}(\lambda < 300, \text{"OK"}, \text{"rediseñar"})$$

$$Ver_0 = \text{"OK"}$$

Caso E3 de la AISC 360.

$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

$$F_e = 43.854 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} := \begin{cases} Q \cdot \left[\left(0.658 \frac{Q \cdot F_y}{F_e} \right) \cdot F_y \right] & \text{if } \lambda \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{Q \cdot F_y}} \\ (0.877 \cdot F_e) & \text{otherwise} \end{cases} \quad F_{cr} = 38.46 \text{ MPa}$$

De este modo se tiene que, la compresión nominal de la sección es:

$$P_n := F_{cr} \cdot A_{g_c}$$

$$P_n = 8.942 \cdot \text{tonf}$$

En donde, la compresión admisible es:

$$P_{admc} := \frac{P_n}{\Omega_c}$$

$$P_{admc} = 5.354 \cdot \text{tonf}$$

$$Ver_{comp} := \text{if}(P_{sol} \leq P_{admc}, \text{"OK"}, \text{"rediseñar"})$$

$$Ver_{comp} = \text{"OK"}$$

Por lo cual, el factor de utilización es:

$$FU_c := \frac{P_{sol}}{P_{admc}}$$

$$FU_c = 0.747$$

Resistencia a la Tracción:

$$\Omega_t := 1.67$$

a) Fluencia en tracción en la sección bruta:

$$P_{na} := F_y \cdot A_{g_c}$$

$$P_{na} = 57.684 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{adma} := \frac{P_{na}}{\Omega_t}$$

$$P_{adma} = 34.541 \cdot \text{tonf}$$

$$\text{Ver}_{\text{traca}} := \text{if}(T_{\text{sol}} \leq P_{adma}, \text{"OK"}, \text{"rediseñar"})$$

$$\text{Ver}_{\text{traca}} = \text{"OK"}$$

$$FU_{ta} := \frac{T_{\text{sol}}}{P_{adma}}$$

$$FU_{ta} = 0.116$$

b) Ruptura en tracción en la sección neta:

$$\Omega_{tu} := 2.00$$

$$A_n := A_{g_c} - 2 \cdot e_c \cdot (0.5 \cdot 2.54 \text{cm})$$

$$A_e := 0.85 \cdot A_n$$

$$P_{nb} := F_u \cdot A_e$$

$$P_{nb} = 73.785 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{admb} := \frac{P_{nb}}{\Omega_{tu}}$$

$$P_{admb} = 36.893 \cdot \text{tonf}$$

$$\text{Ver}_{\text{tracb}} := \text{if}(T_{\text{sol}} \leq P_{admb}, \text{"OK"}, \text{"rediseñar"})$$

$$\text{Ver}_{\text{tracb}} = \text{"OK"}$$

$$FU_{tb} := \frac{T_{\text{sol}}}{P_{admb}}$$

$$FU_{tb} = 0.108$$

4. Placas Bases de las Columnas

$$P_{\text{sol1}} := 4 \text{tonf}$$

$$\Omega_{\text{sol1}} := 2.31$$

El área de apoyo en el concreto, está dada por:

$$P_p = 0.85 \cdot f_c \cdot A_1$$

$$f_c := 35 \text{MPa}$$

De donde,

$f'c$: Resistencia a compresión del concreto

A1: Área de apoyo concéntrico de acero en un soporte de concreto

De este modo, tenemos que, el área A1, está dada por:

$$A_1 := \frac{P_{sol}}{\frac{0.85 \cdot f'c}{\Omega_c}} \quad A_1 = 30.458 \cdot \text{cm}^2$$

Espesor de la placa base

Se tiene que,

$$\text{lado} := \sqrt{A_1} = 5.519 \cdot \text{cm}$$

$$\text{ancho} := 60 \text{cm}$$

$$\text{largo} := 60 \text{cm}$$

$$P_p := 0.85 \cdot f'c \cdot \text{ancho} \cdot \text{largo}$$

$$P_p = 1092.1 \cdot \text{tonf}$$

$$d_c := B$$

Donde, d_c : peralte de la columna

b_f : ancho del ala de la columna

$$b_f := B$$

t_w : espesor del alma de la columna

t_f : espesor del ala de la columna

$$t_w := t$$

$$t_f := e$$

Se define como longitud crítica "l" como la mayor entre m,n, λn , las cuales se definen así:

$$m := \frac{\text{largo} - 0.95 \cdot d_c}{2} \quad m = 15.75 \cdot \text{cm}$$

$$n := \frac{\text{ancho} - 0.8 \cdot b_f}{2} \quad n = 18 \cdot \text{cm}$$

$$X := \left[\frac{4d_c \cdot b_f}{(d_c + b_f)^2} \right] \cdot \frac{P_{sol}}{0.9 \cdot P_p} \quad X = 4.07 \times 10^{-3}$$

$$\lambda := \frac{2\sqrt{X}}{1 + \sqrt{1 - X}} \quad \lambda = 0.064$$

$$\lambda n' := \lambda \cdot \frac{\sqrt{d_c \cdot b_f}}{4} \quad \lambda n' = 0.479 \cdot \text{cm}$$

$$l := \max(m, n, \lambda n') \quad l = 18 \cdot \text{cm}$$

De este modo se tiene que el espesor mínimo de la placa base está dado para el límite de fluencia como:

$$t_{\min} := 1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{sol}}}{0.9 \cdot F_y \cdot \text{largo} \cdot \text{ancho}}} \quad t_{\min} = 0.562 \text{ cm}$$

$$t_{\text{col}} := 0.6 \text{ cm}$$

5. Placas Bases de las Canales

$$P_{\text{sol2}} := 4.5 \text{ tonf} \quad \Omega_c := 2.31$$

$$T_{\text{sol2}} := 4.5 \text{ tonf}$$

El área de apoyo en el concreto, está dada por:

$$P_p = 0.85 \cdot f'_c \cdot A_1$$

De donde,

f'_c : Resistencia a compresión del concreto

A_1 : Área de apoyo concéntrico de acero en un soporte de concreto

De este modo, tenemos que, el área A_1 , está dada por:

$$A_1 := \frac{P_{\text{sol2}}}{\frac{0.85 \cdot f'_c}{\Omega_c}} \quad A_1 = 34.266 \text{ cm}^2$$

Espesor de la placa base

$$t_{\text{placa}} := 0.4 \text{ cm}$$

$$\text{largo} := (H_c - 2e_c + 4t_{\text{placa}}) \quad \text{largo} = 20.4 \text{ cm}$$

$$\text{ancho} := \frac{e_c}{2} + 4t_{\text{placa}} \quad \text{ancho} = 1.9 \text{ cm}$$

$$\text{Area}_{\text{efectiva}} := \text{largo} \cdot (e_c + 4t_{\text{placa}}) + 2 \cdot (B_c + 4t_{\text{placa}}) \cdot (e_c + 4t_{\text{placa}}) - 2(e_c + 2t_{\text{placa}})^2$$

$$\text{Area}_{\text{efectiva}} = 92 \text{ cm}^2$$

$$P_p := 0.85 \cdot f'_c \cdot \text{largo} \cdot \text{ancho} \quad P_p = 11.758 \text{ tonf}$$

$$1.7 \cdot f'_c \cdot \text{Area}_{\text{efectiva}} = 55.819 \text{ tonf}$$

$$P_{admcomp} := \frac{P_p}{\Omega_c} \quad P_{admcomp} = 5.09 \cdot \text{tonf}$$

$$Ver_{\text{espesorplaca}} := \text{if}(P_{sol2} \leq P_{admcomp}, \text{"OK"}, \text{"Rediseñar"})$$

$$Ver_{\text{espesorplaca}} = \text{"OK"}$$

Resistencia a la apalancamiento de la placa:

Para esto usaremos una barra con hilo de diámetro de 32mm, con el espesor de placa que obtuvimos del punto anterior.

La tracción que se obtiene de este punto es de:

$$T_{sol3} := 4 \text{tonf}$$

Para esto utilizaremos la norma FEMA 350, ecuación (3-61), paso 7. En donde la capacidad nominal deplastificación del ala es a partir de la siguiente ecuación:

$$R_{npb} = \frac{\left(2 \cdot a' - \frac{d_{bt}}{4}\right) \cdot w \cdot F_y \cdot t_f^2}{4 \cdot a' \cdot b' - d_{bt} \cdot (b' + a')} \quad \Omega_{pb} := 1.67$$

Donde:

w : ancho del ala en tracción

t_f : espesor de la placa base a' : distancia del borde de la placa base hasta el borde interno de la perforación

b' : distancia desde el borde de la soldadura hasta el centro del perno

dbt: diámetro del perno

$$w_1 := 40 \text{cm}$$

$$t_{f1} := 1.5 \text{cm}$$

$$a' := 10 \text{cm} + \frac{3.2}{2} \text{cm}$$

$$a' = 11.6 \text{cm}$$

$$b' := 15 \text{cm}$$

$$d_{bt} := 32 \text{mm}$$

$$d_{bt} = 3.2 \cdot \text{cm}$$

$$R_{npb} := \frac{\left(2 \cdot a' - \frac{d_{bt}}{4}\right) \cdot w_1 \cdot F_y \cdot t_{f1}^2}{4 \cdot a' \cdot b' - d_{bt} \cdot (b' + a')}$$

$$R_{npb} = 8.349 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{admpb} := \frac{R_{npb}}{\Omega_{pb}}$$

$$R_{admpb} = 5 \cdot \text{tonf}$$

$$t_p := t_{f1} = 1.5 \cdot \text{cm}$$

Resistencia de anclajes

Tracción solicitante:

$$T_{\text{sol}} = 4 \cdot \text{tonf}$$

$$\Omega_b := 2.00$$

Corte solicitante:

$$V_{\text{sol}} := 3 \text{tonf}$$

Resistencia de las barras con hilo:

Pernos A325

$$F_{\text{nt A325}} := 620 \text{MPa}$$

$$F_{\text{nv A325}} := 372 \text{MPa}$$

Barras con hilo

$$F_{\text{nt}} := 500 \text{MPa}$$

$$F_{\text{nv}} := F_{\text{nt}} \cdot \frac{F_{\text{nv A325}}}{F_{\text{nt A325}}}$$

$$F_{\text{nv}} = 300 \cdot \text{MPa}$$

Área de las barras con hilo

$$d_{\text{barra}} := 32 \text{mm}$$

$$A_{\text{barra}} := \frac{\pi d_{\text{barra}}^2}{4}$$

$$A_{\text{barra}} = 8.042 \cdot \text{cm}^2$$

Resistencia Tracción

$$R_{\text{nt}} := F_{\text{nt}} \cdot A_{\text{barra}}$$

$$R_{\text{nt}} = 41.005 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{\text{admt}} := \frac{R_{\text{nt}}}{\Omega_b}$$

$$R_{\text{admt}} = 20.503 \cdot \text{tonf}$$

Resistencia a Corte

$$R_{\text{nv}} := F_{\text{nv}} \cdot A_{\text{barra}}$$

$$R_{\text{nv}} = 24.603 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{\text{admv}} := \frac{R_{\text{nv}}}{\Omega_b}$$

$$R_{\text{admv}} = 12.302 \cdot \text{tonf}$$

Combinación Tracción y Corte

$$F_{\text{nt}'} := 1.3 \cdot F_{\text{nt}} - \frac{\Omega_b F_{\text{nt}}}{F_{\text{nv}}} \cdot \frac{V_{\text{sol}}}{A_{\text{barra}}}$$

$$F_{\text{nt}'} = 528.064 \cdot \text{MPa}$$

$$F'_{nt} := \text{if}(F_{nt'} \leq F_{nt}, F_{nt'}, F_{nt})$$

$$F'_{nt} = 500 \cdot \text{MPa}$$

Por lo cual,

$$R_{admtv} := R_{admt}$$

$$R_{admtv} = 20.503 \cdot \text{tonf}$$

Factor de Utilización

$$FU_v := \frac{V_{sol}}{R_{admv}}$$

$$FU_v = 0.244$$

6. Unión Canal Columna

Se utilizará la AISC 360-J para el cálculo de las conexiones.

Tracción solicitante:

$$T_{soli} := 4 \cdot \text{tonf}$$

Corte solicitante:

$$V_{soli} := 4 \cdot \text{tonf}$$

Calidad de Pernos A325:

$$F_{nt \text{ A325}} := 620 \cdot \text{MPa}$$

$$F_{nv \text{ A325}} := 372 \cdot \text{MPa}$$

Resistencia de Tracción y Corte de Pernos:

$$R_n = F_n \cdot A_b$$

$$\Omega := 2.00$$

Resistencia a la Tracción:

Consideración de pernos de diámetro:

$$d_{conexión} := (2.54) \cdot \frac{1}{2} \cdot \text{cm}$$

$$d_{conexión} = 1.27 \cdot \text{cm}$$

$$\frac{d_{conexión}}{2} = 0.635 \cdot \text{cm}$$

$$A_{b \text{ conex}} := \frac{\left(d_{conexión}^2 \cdot \pi\right)}{4}$$

$$A_{b \text{ conex}} = 1.267 \cdot \text{cm}^2$$

Para pernos tipo A325 en la viga, se tiene que:

Resistencia a Tracción:

$$R_{ntv\ A325} := F_{nt\ A325} \cdot A_{b\ conex}$$

$$R_{ntv\ A325} = 8.009 \cdot \text{tonf}$$

Resistencia a Corte:

$$R_{nvv\ A325} := F_{nv\ A325} \cdot A_{b\ conex}$$

$$R_{nvv\ A325} = 4.805 \cdot \text{tonf}$$

Resistencia admisible para pernos:

$$R_{adm} = \frac{R_n}{\Omega}$$

$$R_{admtv\ A325} := \frac{R_{ntv\ A325}}{\Omega} \qquad R_{admtv\ A325} = 4.004 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{admvv\ A325} := \frac{R_{nvv\ A325}}{\Omega} \qquad R_{admvv\ A325} = 2.403 \cdot \text{tonf}$$

Cantidad de pernos para la sollicitación:

$$T_{soli} = 4 \cdot \text{tonf}$$

$$n_{solA325} := \frac{T_{soli}}{R_{admtv\ A325}} = 0.999$$

Combinación de Tracción y Corte en Conexiones de Tipo Aplastamiento

La resistencia disponible a tracción debido a una barra solicitada por tracción y corte, queda dada por:

$$R_{nt} = F'_{nt} \cdot A_b$$

donde,

F'_{nt} : tensión de tracción nominal modificada para incluir efectos de tensión de corte

$$F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \left(\frac{F_{nt}}{\Omega \cdot F_{nv}} \right) \cdot f_{rv}$$

Por lo cual, se tiene que:

$$F'_{ntA325} := 1.3 \cdot F_{nt\ A325} - \left(\frac{F_{nt\ A325}}{\Omega \cdot F_{nv\ A325}} \right) \cdot \frac{V_{soli}}{4 \cdot A_{b\ conex}} \qquad F'_{ntA325} = 741.488 \cdot \text{MPa}$$

$$R_{ntv} := F_{ntA.325} \cdot Ab_{conex} = 9.578 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{admtv} := \frac{R_{ntv}}{\Omega} \quad R_{admtv} = 4.789 \cdot \text{tonf}$$

7. Unión Viga Columna

Atiesador transversal

$$I_{st} \geq a \cdot t_w^3 \cdot j$$

donde

$$j = \frac{2.5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2 \geq 0.5$$

Tenemos que la columna del marco que restringe la acción fuera del plano tiene:

$$t_{w1} := t$$

$$t_{w1} = 0.8 \cdot \text{cm}$$

$$a := H - 2e$$

$$a = 28 \cdot \text{cm}$$

El atiesador tiene dimensiones:

$$b := t_{w1}$$

$$b = 0.8 \cdot \text{cm}$$

$$h := 142 \cdot \text{cm}$$

Por lo cual, se tiene que:

$$I_{st} := \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{st} = 190885.9 \cdot \text{cm}^4$$

$$j := \frac{2.5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2 = 62.298$$

De este modo, hacemos la verificación:

$$\text{Ver1} := \text{if}\left(I_{st} \geq a \cdot t_{w1}^3 \cdot j, \text{"OK"}, \text{"rediseñar"}\right)$$

$$\text{Ver1} = \text{"OK"}$$

SOLDADURAS

$$E_{70} := 70 \text{ksi} = 482.633 \cdot \text{MPa}$$

$$d_{\text{soldadura}} := 1 \text{cm} \quad \xi_{\text{ef}} := d_{\text{soldadura}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.707 \cdot \text{cm}$$

$$\text{perimetro}_{\text{sold}} := 10 \text{cm} + 5 \text{cm} \cdot 2 \quad \text{perimetro}_{\text{sold}} = 20 \cdot \text{cm}$$

$$R_n = 0.6 F_{nBM} \cdot A_{BM} \quad \Omega_{\text{sold}} := 2.00$$

Elegimos soldadura tipo filete para esta unión:

$$A_{BM} := \text{perimetro}_{\text{sold}} \cdot \xi_{\text{ef}} \quad A_{BM} = 14.142 \cdot \text{cm}^2$$

Por tanto, la resistencia nominal de la conexión del atiesador es:

$$R_{\text{nsold}} := E_{70} \cdot A_{BM} \quad R_{\text{nsold}} = 69.6 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{\text{adm}} := \frac{R_{\text{nsold}}}{\Omega_{\text{sold}}} \quad R_{\text{adm}} = 34.8 \cdot \text{tonf}$$

Reacción de la viga en la columna:

$$\text{largo}_{\text{viga}} := 2.75 \text{m} \quad \rho_{\text{acero}} := 7850 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

$$\text{peso} := A_g \cdot \text{largo}_{\text{viga}} \cdot \rho_{\text{acero}} \quad \text{peso} = 7.171 \cdot \text{tonf}$$

$$\text{Ver}_{12} := \text{if} \left[\left(R_{\text{adm}} \geq \frac{\text{peso}}{2} \right), \text{"OK"}, \text{"rediseñar"} \right] \quad \text{Ver}_{12} = \text{"OK"}$$

Placa conectora de almas Viga-Columna

Dimensiones de la placa:

$$a_{\text{ancho}} := 19 \text{cm} \quad b_{\text{largo}} := 20.6 \text{cm} \quad e_{\text{espesor}} := 1.6 \text{cm}$$

Solicitaciones de la placa:

$$V_{\text{solicitante}} := 3 \text{tonf}$$

Corte en la Placa

$$A_{\text{wplaca}} := b_{\text{largo}} \cdot e_{\text{espesor}} \quad A_{\text{wplaca}} = 33 \cdot \text{cm}^2$$

$$\frac{b_{\text{largo}}}{t_w} = 25.75 \quad 2.24 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 64.535$$

$$C_v := 1 \quad \Omega_v := 1.67$$

$$V_n := 0.6 \cdot F_y \cdot A_{wplaca} \cdot C_v = 50.033 \cdot \text{tonf}$$

$$V_{adm} := \frac{V_n}{\Omega_v} = 29.96 \cdot \text{tonf}$$

$$FU_{placa} := \frac{V_{soli}}{V_{adm}} = 0.134$$

Resistencia Pernos

Se utilizará la AISC 360-J para el cálculo de las conexiones.

Tracción solicitante:

$$T_{solip} := 0 \cdot \text{tonf}$$

Corte solicitante:

$$V_{solip} := 4 \cdot \text{tonf}$$

Calidad de Pernos A325:

$$F_{nt_{A325}} = 620 \cdot \text{MPa}$$

$$F_{nv_{A325}} = 372 \cdot \text{MPa}$$

Resistencia de Tracción y Corte de Pernos:

$$R_n = F_n \cdot A_b$$

$$\Omega = 2$$

Resistencia a la Tracción:

Consideración de pernos de diámetro:

$$d_{bplaca} := (2.54) \cdot \frac{1}{2} \cdot \text{cm}$$

$$d_{bplaca} = 1.27 \cdot \text{cm}$$

$$\frac{d_{bplaca}}{2} = 0.635 \cdot \text{cm}$$

$$A_{bplaca} := \frac{(d_{bplaca}^2 \cdot \pi)}{4}$$

$$A_{bplaca} = 1.267 \cdot \text{cm}^2$$

Para pernos tipo A325 en la viga, se tiene que:

Resistencia a Tracción:

$$R_{ntv_{A325p}} := F_{nt_{A325}} \cdot A_{bplaca}$$

$$R_{ntv_{A325p}} = 8.009 \cdot \text{tonf}$$

Resistencia a Corte:

$$R_{nvv\ A325p} := F_{nv\ A325} \cdot A_{b\ placa}$$

$$R_{nvv\ A325p} = 4.805 \cdot \text{tonf}$$

Resistencia admisible para pernos:

$$R_{adm} = \frac{R_n}{\Omega}$$

$$R_{admtv\ A325p} := \frac{R_{ntv\ A325p}}{\Omega}$$

$$R_{admtv\ A325p} = 4.004 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{admvv\ A325p} := \frac{R_{nvv\ A325p}}{\Omega}$$

$$R_{admvv\ A325p} = 2.403 \cdot \text{tonf}$$

Cantidad de pernos para la sollicitación:

$$V_{solip} = 4 \cdot \text{tonf}$$

$$n_{solA325p} := \frac{V_{solip}}{R_{admvv\ A325p}} = 1.665$$

$$FU_{bplaca} := \frac{V_{solip}}{2 \cdot R_{admvv\ A325p}}$$

$$FU_{bplaca} = 0.832$$

8. Cajones Restricción Lateral

Solicitaciones

$$T := 2 \cdot \text{tonf}$$

$$P := 2 \cdot \text{tonf}$$

$$M := 44 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

Geometría de perfil tubular

$$H_t := 15 \cdot \text{cm}$$

$$e_t := 0.5 \cdot \text{cm}$$

$$A_{g_t} := 4 \cdot H_t \cdot e_t - 4 \cdot e_t^2$$

$$A_{g_t} = 29 \cdot \text{cm}^2$$

$$I_{xxt} := \left[\left(\frac{H_t \cdot e_t^3}{12} \right) + H_t \cdot e_t \cdot \left(\frac{H_t - e_t}{2} \right)^2 + \left(\frac{H_t^3 \cdot e_t}{12} \right) + (H_t \cdot e_t) \cdot \left(\frac{H_t - e_t}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_{xxt} = 929.2 \cdot \text{cm}^4$$

$$r_{xxt} := \sqrt{\frac{I_{xxt}}{A_{g_t}}} = 5.661 \cdot \text{cm}$$

$$I_{yyt} := I_{xxt}$$

$$I_{yyt} = 929.2 \cdot \text{cm}^4$$

$$r_{yyt} := \sqrt{\frac{I_{yyt}}{A g_t}} = 5.661 \cdot \text{cm}$$

$$S_{xt} := \frac{I_{xxt}}{\frac{H_t}{2}} \quad S_{xt} = 123.9 \cdot \text{cm}^3$$

$$S_{yt} := S_{xt}$$

$$Z := 2 \left[2 \left(H_t \cdot \frac{e_t^2}{2} \right) + \frac{e_t \cdot H_t^2}{2} \right] = 120 \cdot \text{cm}^3$$

RESISTENCIA EN TRACCIÓN

a) Fluencia en tracción en la sección bruta

$$P_{nt} := F_y \cdot A g_t \quad P_{nt} = 73.37 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{admtt} := \frac{P_{nt}}{\Omega_c} \quad P_{admtt} = 31.762 \cdot \text{tonf}$$

$$FU_{tta} := \frac{T}{P_{admtt}} \quad FU_{tta} = 0.063$$

b) Ruptura en tracción en la sección neta:

$$d_{pt} := 2.54 \text{cm}$$

$$A_{nt} := A g_t - e_t \cdot d_{pt} \quad A_{nt} = 27.73 \cdot \text{cm}^2$$

$$U := 0.85$$

$$A_{et} := A_{nt} \cdot U \quad A_{et} = 23.571 \cdot \text{cm}^2$$

$$P_{ntb} := F_u \cdot A_{et} \quad P_{ntb} = 96.168 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{admtb} := \frac{P_{ntb}}{\Omega} \quad P_{admtb} = 48.084 \cdot \text{tonf}$$

$$FU_{ttb} := \frac{T}{P_{admtb}} \quad FU_{ttb} = 0.042$$

RESISTENCIA EN COMPRESIÓN

Caso E3, Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos

$$L_c := 110 \text{cm}$$

$$K_{xx} := 2.0$$

$$F_{ec} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L_c}{r_{xxt}}\right)^2} \quad F_{ec} = 1345.6 \text{ MPa}$$

$$F_{crc} := \begin{cases} \left[\left(\frac{F_y}{F_e} \right) \right]_{0.658} F_y & \text{if } \left(K \cdot \frac{L_c}{r_{xxt}} \right) \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ (0.877 \cdot F_{ec}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad F_{crc} = 23.24 \text{ MPa}$$

$$P_{nc} := F_{crc} \cdot A g_t \quad P_{nc} = 6.872 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{admttc} := \frac{P_{nc}}{\Omega_c} \quad P_{admttc} = 2.975 \cdot \text{tonf}$$

$$FU_{ct} := \frac{P}{P_{admttc}} \quad FU_{ct} = 0.672$$

Resistencia a Flexión

Esbeltez:

$$\lambda_{tub} := \frac{(H_t - 2e_t)}{e_t} \quad \lambda_{tub} = 28$$

$$\text{esbeltez}_{tub} := \begin{cases} \text{"compacto"} & \text{if } \lambda_{tub} \leq 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"no compacto"} & \text{if } 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \lambda_{tub} \leq 1.40 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"esbelto"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_{tub} = \text{"compacto"}$$

1. Fluencia $\Omega_{tub} := 1.67$

$$M_{nt} := F_y \cdot Z \quad M_{nt} = 303.6 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{admtub} := \frac{M_{nt}}{\Omega_{tub}} \quad M_{admtub} = 181.8 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

2. Pandeo Local del ala

Como la sección es compacta, este tipo de falla no aplica

3. Pandeo Local del Alma

Como la sección es compacta, este tipo de falla no aplica

Requerimientos para combinación de carga axial y momento.

$$P_{rtub} := P \qquad P_{rtub} = 2 \cdot \text{tonf}$$

$$P_{adm\text{t}tc} = 2.975 \cdot \text{tonf}$$

$$M_{rtub} := M \qquad M_{rtub} = 44 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{adm\text{t}ub} = 181.796 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

Según el capítulo H de la AISC 360,

$$\frac{P_{rtub}}{P_{adm\text{t}tc}} = 0.672$$

Por tanto, se debe cumplir que:

$$\frac{P_{rtub}}{P_{adm\text{t}tc}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rtub}}{M_{adm\text{t}ub}} \right) = 0.887$$

Resistencia Pernos de Alta resistencia:

Se utilizará la AISC 360-J para el cálculo de las conexiones.

Tracción solicitante:

$$T_{soli} := 4 \text{tonf}$$

Corte solicitante:

$$V_{soli} := 2 \text{tonf}$$

Calidad de Pernos A325:

$$F_{nt\ A325} = 620 \cdot \text{MPa}$$

$$F_{nv\ A325} = 372 \cdot \text{MPa}$$

Resistencia de Tracción y Corte de Pernos:

$$R_n = F_n \cdot A_b$$

$$\Omega := 2.00$$

Resistencia a la Tracción:

Consideración de pernos de diámetro:

$$d_{conexion1} := (2.54) \cdot \frac{1}{2} \text{cm}$$

$$d_{conexion1} = 1.27 \cdot \text{cm}$$

$$\frac{d_{conexion1}}{2} = 0.635 \cdot \text{cm}$$

$$A_{b\ conex1} := \frac{\left(d_{conexion1}^2 \cdot \pi \right)}{4}$$

$$A_{b\ conex1} = 1.267 \cdot \text{cm}^2$$

Para pernos tipo A325 en la viga, se tiene que:

Resistencia a Tracción:

$$R_{ntv_{A3251}} := F_{nt_{A325}} \cdot A_{b_{conex1}}$$

$$R_{ntv_{A3251}} = 8.009 \cdot \text{tonf}$$

Resistencia a Corte:

$$R_{nvv_{A3251}} := F_{nv_{A325}} \cdot A_{b_{conex1}}$$

$$R_{nvv_{A3251}} = 4.805 \cdot \text{tonf}$$

Resistencia admisible para pernos:

$$R_{adm} = \frac{R_n}{\Omega}$$

$$R_{admtv_{A3251}} := \frac{R_{ntv_{A3251}}}{\Omega} \qquad R_{admtv_{A3251}} = 4.004 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{admvv_{A3251}} := \frac{R_{nvv_{A3251}}}{\Omega} \qquad R_{admvv_{A3251}} = 2.403 \cdot \text{tonf}$$

Cantidad de pernos para la solicitud:

$$T_{sol} = 4 \cdot \text{tonf}$$

$$n_{solA3251} := \frac{T_{soli}}{R_{admtv_{A3251}}} = 0.999$$

Combinación de Tracción y Corte en Conexiones de Tipo Aplastamiento

La resistencia disponible a tracción debido a una barra solicitada por tracción y corte, queda dada por:

$$R_{nt} = F'_{nt} \cdot A_b$$

donde,

F'_{nt} : tensión de tracción nominal modificada para incluir efectos de tensión de corte

$$F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \left(\frac{\Omega \cdot F_{nt}}{F_{nv}} \right) \cdot f_{TV}$$

Por lo cual, se tiene que:

$$F'_{ntA3251} := 1.3 \cdot F_{nt_{A325}} - \left(\frac{\Omega \cdot F_{nt_{A325}}}{F_{nv_{A325}}} \right) \cdot \frac{V_{soli}}{4 \cdot A_{b_{conex1}}} \qquad F'_{ntA3251} = 676.976 \cdot \text{MPa}$$

$$R_{ntv1} := F'_{ntA3251} \cdot A_{b_{conex1}} = 9.578 \cdot \text{tonf}$$

$$R_{admtv1} := \frac{R_{ntv1}}{\Omega} \quad R_{admtv1} = 4.789 \cdot \text{tonf}$$

Por tanto, para la conexión con la viga, se tiene que:

$$M_{\text{tub}} := 15 \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

Perno más lejano de la carga:

$$d_{\text{ext}} := 9.5 \text{cm}$$

$$I_{\text{pernos}} := d_{\text{ext}}^2 \cdot 4 \quad I_{\text{pernos}} = 361 \cdot \text{cm}^2$$

$$T_{\text{Mom}} := M_{\text{tub}} \cdot \frac{d_{\text{ext}}}{I_{\text{pernos}}} \quad T_{\text{Mom}} = 0.395 \cdot \text{tonf}$$

$$FU_{\text{tub}} := \frac{T_{\text{Mom}} + T_{\text{soli}}}{4R_{admtv1}} \quad FU_{\text{tub}} = 0.274$$

9. Ángulos Restricción Lateral

$$M_{\text{ang}} := 51 \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

Se escoge un perfil de:

$$H_a := 20 \text{cm} \quad B_a := 20 \text{cm} \quad e_a := 1.4 \text{cm} \quad A_{ga} := 38.4 \text{cm}^2$$

$$I_{xa} := 1530 \text{cm}^4 \quad S_{xa} := 105 \text{cm}^3 \quad r_{xa} := 6.31 \text{cm}$$

$$I_{ya} := I_{xe} \quad S_{ya} := S_{xe} \quad r_{ya} := r_{xe}$$

Diseño a Flexión:

$$\lambda_a := \frac{B_a}{e_a} \quad \lambda_a = 14.286$$

$$\text{esbeltez}_a := \begin{cases} \text{"compacto"} & \text{if } \lambda_a \leq 0.54 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"no compacto"} & \text{if } 0.54 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \lambda_a \leq 0.91 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \text{"esbelto"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{esbeltez}_a = \text{"compacto"}$$

1. Fluencia:

$$M_y := S_{xa} \cdot F_y$$

$$M_y = 265.6 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{na1} := 1.5 \cdot M_y$$

$$M_{na1} = 398.5 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

2. Pandeo Lateral-Torsional

$$C_b := 1$$

$$L_{ba} := 130 \text{cm}$$

$$M_e := \frac{0.46 \cdot E \cdot B_a^2 \cdot e_a^2 \cdot C_b}{L_{ba}}$$

$$M_e = 5825.7 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{na2} := \begin{cases} \left[\left(0.92 - \frac{0.17 \cdot M_e}{M_y} \right) M_y \right] & \text{if } M_e \leq M_y \\ \left[\left(1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{M_y}{M_e}} \right) M_y \right] & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{na2} = 443.7 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

3. Pandeo Local del Ala

Como la sección es compacta, no aplica.

$$M_{naf} := \min(M_{na1}, M_{na2})$$

$$M_{naf} = 398.5 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

$$M_{admaf} := \frac{M_{naf}}{\Omega_c}$$

$$M_{admaf} = 172.5 \cdot \text{tonf} \cdot \text{cm}$$

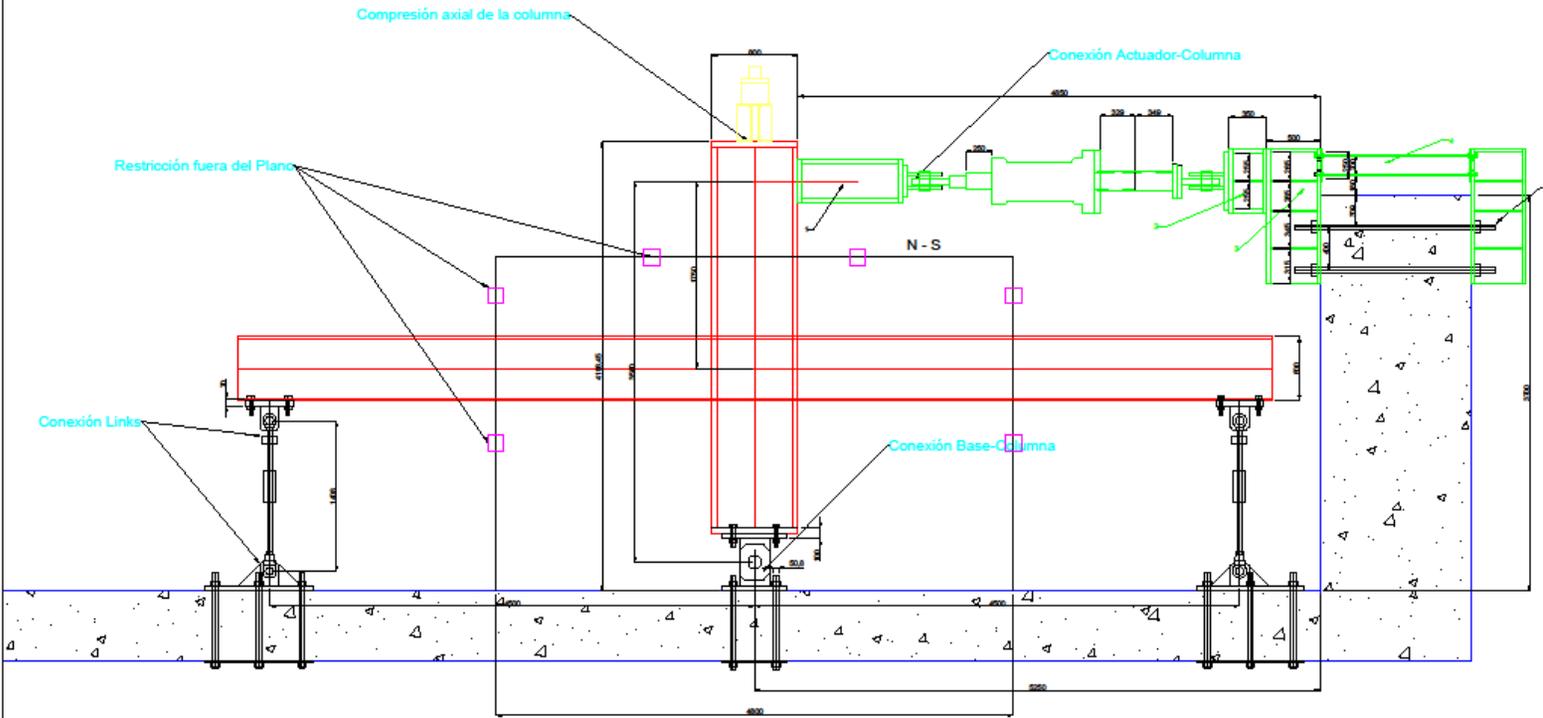
$$FU_{af} := \frac{M}{M_{admaf}}$$

$$FU_{af} = 0.255$$

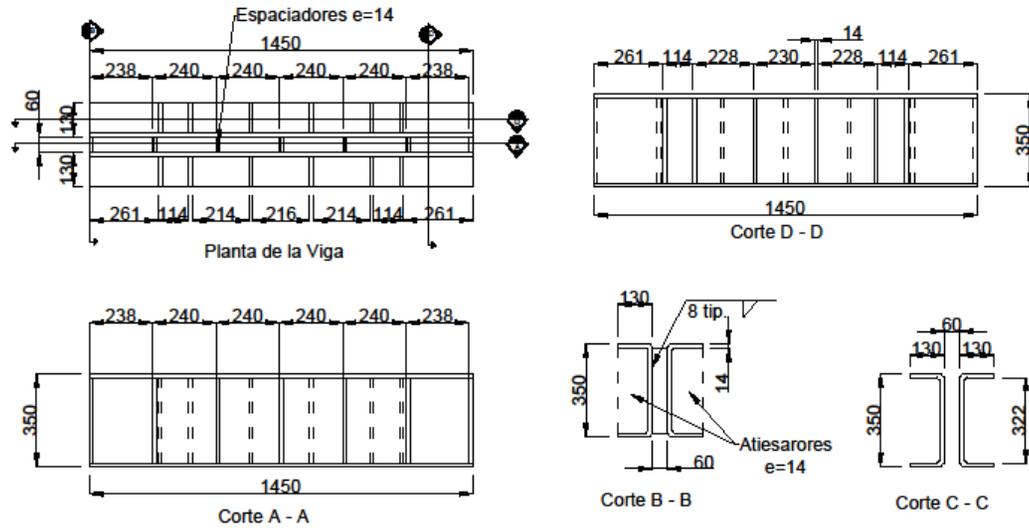
Anexo C

Planos

Instalación Experimental



Detalle Viga de Compresión

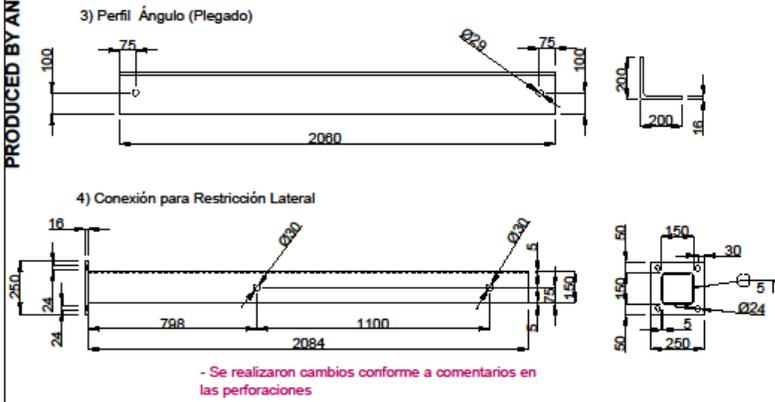
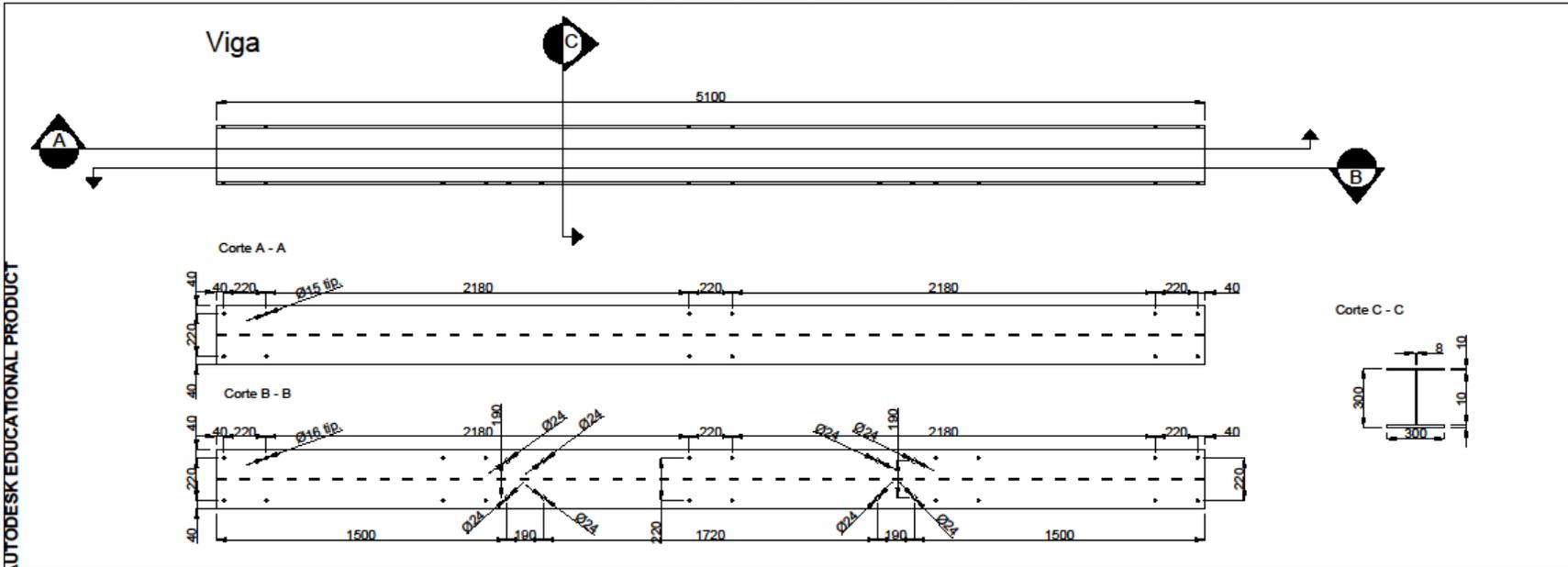


- NOTAS:**
- Todas las dimensiones en [mm]
 - Acero Base ASTM - A36
 - Dimensiones de los orificios especificadas en [mm]
 - Soldadura E70

Universidad de Chile
 Facultad de Cs. Físicas y Matemáticas
 Departamento de Ingeniería Civil

TÍTULO Y TEMA:
 DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE UNA
 INSTALACIÓN EXPERIMENTAL, PARA EL ENSAYO
 DE CONEXIONES

Plano de Fabricación		
PROYECTO	A.S.A.	Nº PLANO: 3
REVISÓ	A.S.A.	
DIBUJÓ	A.S.A.	
MEMORIA DE CÁLCULO	C.V.C.	ESCALA: 1:10



NOTAS:

- Todas las dimensiones en [mm]
- Acero Base ASTM - A36
- Dimensiones de los críticos especificadas en [mm]
- Soldadura E70

DETALLE DE LAS PIEZAS

- VIGA: L=6100 mm (Son 1)
- Perfil Ángulo (Plegado): L=2080 mm (Son 2)
- Conexión para Restricción Lateral: L=2100 mm (Son 2)

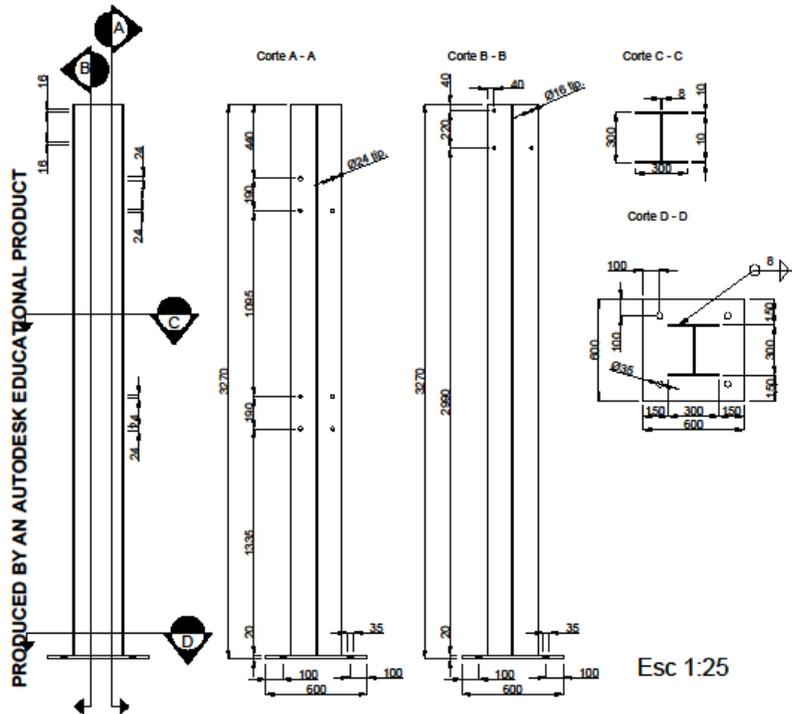
Universidad de Chile
Facultad de Cs. Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil

TRABAJO DE TÍTULO:
**DESEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE UNA
INSTALACIÓN EXPERIMENTAL, PARA EL ENSAYO
DE CONEXIONES**

Plano de Fabricación		PROYECTO: A.M.A.	Nº PLANO: 5
Andrés Antonio Núñez Aron	REVISÓ: A.M.A.	FECHA: A.M.A.	
Profesor: Ricardo Herrera	DIBUJÓ: A.M.A.	ESCALA: 1:20	FECHA: septiembre 2018

Detalle Columnas

Columnas 1 y 3

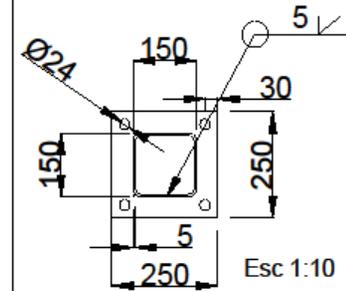


1) Conexión para Restricción Lateral



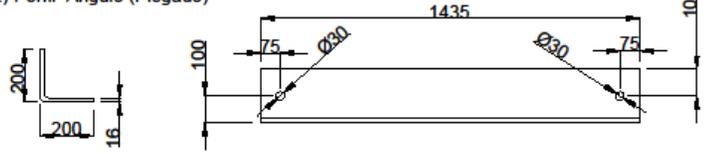
- Separación de las perforaciones aumentó a 490 mm
- Cambios conforme a comentarios

Esc 1:16



Esc 1:10

2) Perfil Ángulo (Plegado)



Esc 1:16

NOTAS:

- Todas las dimensiones en [mm]
 - Acero Base ASTM - A36
 - Dimensiones de los orificios especificadas en [mm]
 - Soldadura E70
- DETALLE DE LAS PIEZAS
- Columnas 1 y 3: L=3270 mm (Son 2)
 - Perfil Ángulo (Plegado): L=1435 mm (Son 2)
 - Conexión para Restricción Lateral: L=1500 mm (Son 2)

Universidad de Chile
Facultad de Cs. Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil

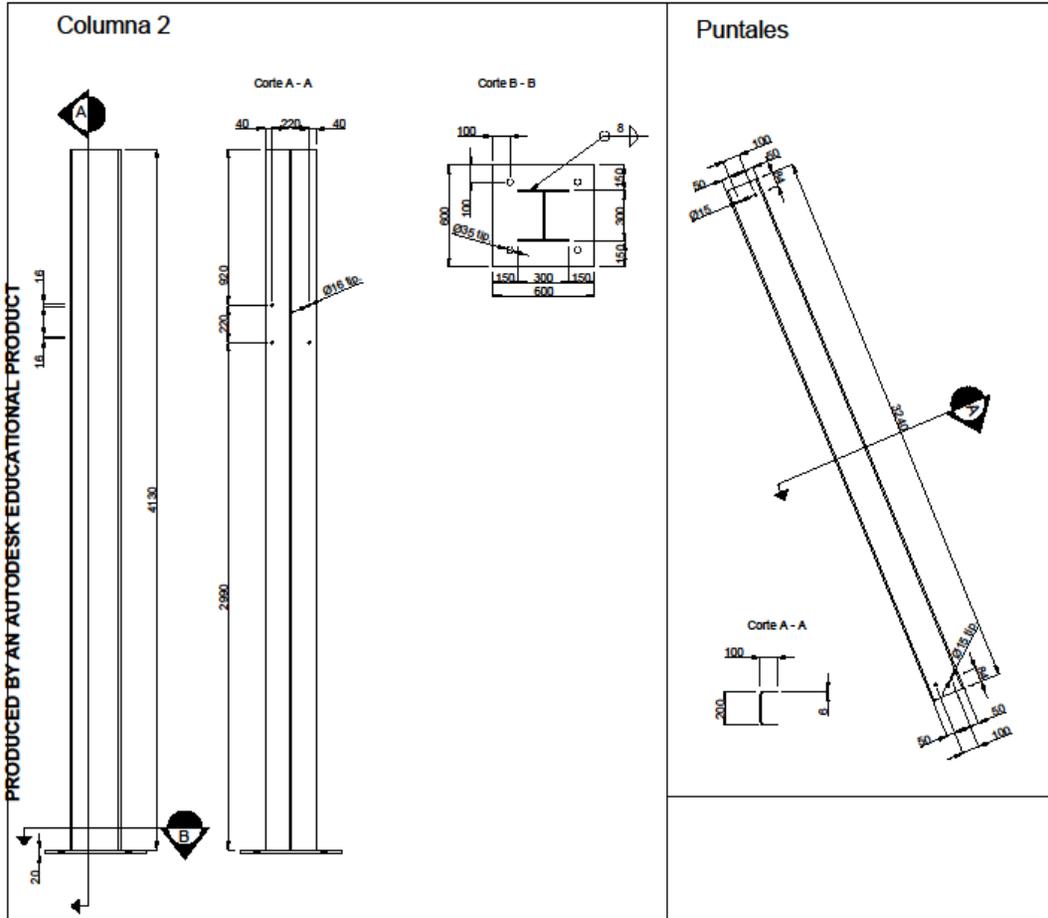
TÍTULO DE TRABAJO:
DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE UNA
INSTALACIÓN EXPERIMENTAL, PARA EL ENSAYO
DE CONEXIONES

Fase de Fabricación:

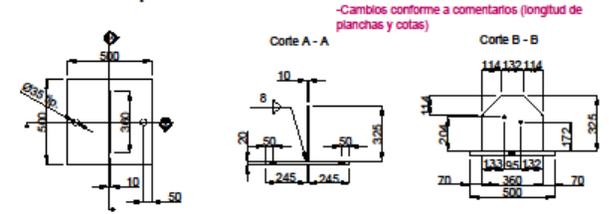
Ángel Antonio Vidales Arce
Profesor: Ricardo Herrera

PROFESOR A.E.A. N° PLANO:
ESTUDIANTE A.E.A. 8
AYUDANTE A.E.A.

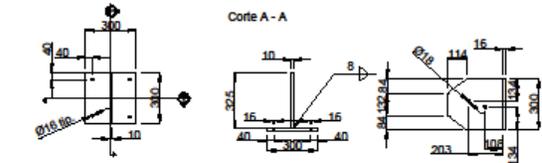
REPRESENTACIÓN DE INGENIEROS CIVILES CIPRO FECHA: 14/05/2014



Placa Base para Puntales



Unión Puntales - Viga



Universidad de Chile
 Facultad de Cs. Físicas y Matemáticas
 Departamento de Ingeniería Civil

TRABAJO DE TÍTULO :
 DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE UNA
 INSTALACIÓN EXPERIMENTAL, PARA EL ENSAYO
 DE CONEXIONES

Plano de Fabricación

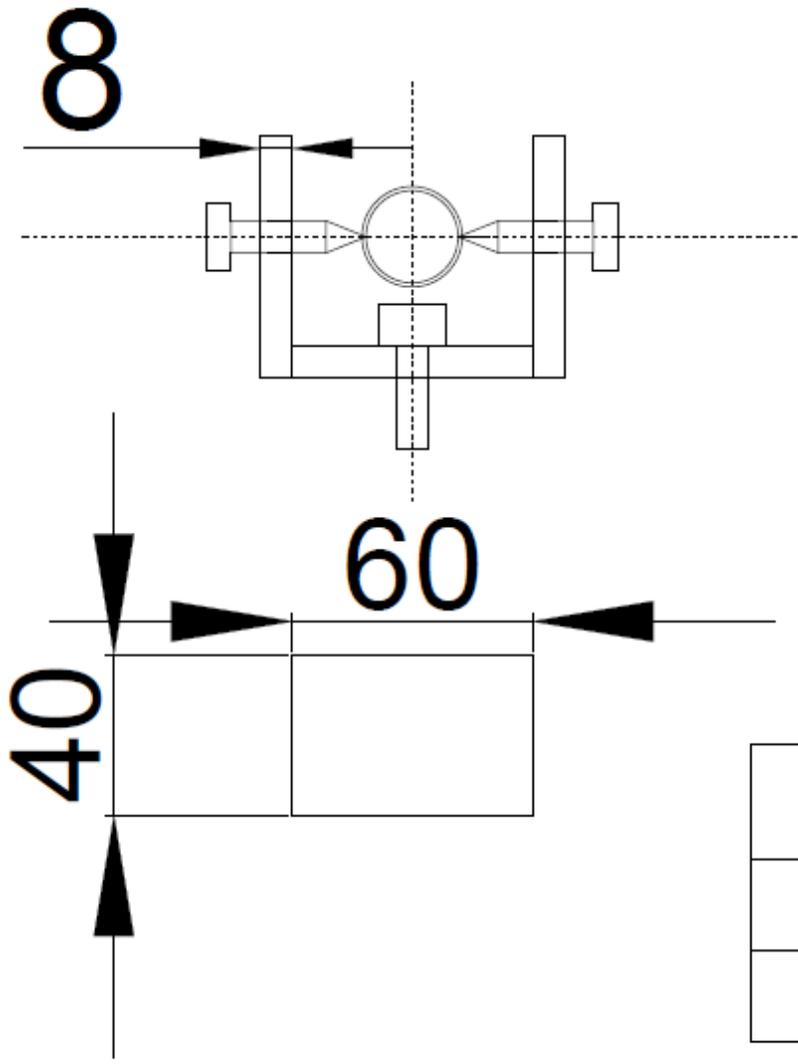
Andrés Antonio Núñez Arce
 Profesor: Ricardo Herrera

PROYECTO: A.N.A.	Nº PLANO:
REVISO: A.N.A.	9
DIBUJO: A.N.A.	
ESCALA: 1:25	FECHA: septiembre 2015

- | | |
|--|---|
| <p>NOTAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Todas las dimensiones en [mm] - Acero Base ASTM - A36 - Dimensiones de los orificios especificadas en [mm] - Soldadura E70 | <p>DETALLE DE LAS PIEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Columna 2: L=4150 mm (Es 1) - Puntales: L= 3300 mm (Son 3) - Placas Base para Puntales: (Son 3) - Unión Puntales-Viga: (Son 3) |
|--|---|

Haga clic en Fin
texto y firmar un

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



SOPORTE LVDT	
Cantidad de placas 60x40 mm: 21	
Material :	ACRILICO

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Anexo D

Análisis Seguro de Trabajo

ANÁLISIS SEGURO DE TRABAJO

FECHA / / VIGENCIA / /

Preparado por	Nombre y RUT	Cargo	Firma
Aprobado por	Nombre y RUT	Cargo	Firma
NOMBRE ACTIVIDAD			Rutinaria No rutinaria
ETAPA MÁS CRÍTICA			
MEDIDA DE CONTROL			
AREA / LUGAR / FAENA			

1. IDENTIFIQUE LOS RIESGOS ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD.

<p>CAÍDAS</p> <p>A distinto Nivel <input type="checkbox"/></p> <p>Al mismo <input type="checkbox"/></p> <p>VEHICULAR</p> <p>Choques <input type="checkbox"/></p> <p>Colisión <input type="checkbox"/></p> <p>Volcamiento <input type="checkbox"/></p> <p>Atropellos <input type="checkbox"/></p> <p>CONTACTO CON</p> <p>Tª extremas* <input type="checkbox"/></p> <p>Energía eléctrica <input type="checkbox"/></p> <p>Objetos punzantes <input type="checkbox"/></p> <p>Objetos cortantes <input type="checkbox"/></p> <p>Sustancias químicas <input type="checkbox"/></p> <p><small>*Tª: Temperatura.</small></p>	<p>ATRAPAMIENTO</p> <p>En <input type="checkbox"/></p> <p>Entre <input type="checkbox"/></p> <p>Bajo <input type="checkbox"/></p> <p>PROYECCIÓN</p> <p>Partículas sólidas <input type="checkbox"/></p> <p>Partículas incandescentes <input type="checkbox"/></p> <p>Partículas líquidas <input type="checkbox"/></p> <p>AGENTES PRESENTES</p> <p>Polvo en suspensión <input type="checkbox"/></p> <p>Ruido <input type="checkbox"/></p> <p>Radiación U.V <input type="checkbox"/></p> <p>Radiación ionizante <input type="checkbox"/></p> <p>Gases / ácidos <input type="checkbox"/></p>	<p>GOLPEADO</p> <p>Por <input type="checkbox"/></p> <p>Con <input type="checkbox"/></p> <p>Contra <input type="checkbox"/></p> <p>SOBRESFUERZOS</p> <p>Por MMC* <input type="checkbox"/></p> <p>Por sobrecarga física <input type="checkbox"/></p> <p>Por sobrecarga laboral <input type="checkbox"/></p> <p><small>*MMC: Manejo Manual de Cargas.</small></p> <p>OTROS</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
--	---	--

2. IDENTIFIQUE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE DEBERÁ UTILIZAR.

<p>Guantes de _____ <input type="checkbox"/></p> <p>Casco de seguridad <input type="checkbox"/></p> <p>Barbiquejo <input type="checkbox"/></p> <p>Lentes _____ <input type="checkbox"/></p> <p>Calzado de seguridad <input type="checkbox"/></p> <p>Protector auditivo <input type="checkbox"/></p>	<p>Arnés de Seguridad <input type="checkbox"/></p> <p>Cabo de vida <input type="checkbox"/></p> <p>Amortiguador <input type="checkbox"/></p> <p>Protector solar <input type="checkbox"/></p> <p>Otros (mencione) _____</p>
---	---

3. TOMA DE CONOCIMIENTO DE PARTICIPANTES EN LA ACTIVIDAD

NOMBRE	RUT	CARGO	SECCION y/o UNIDAD	FIRMA

Quienes firman en la lista de participantes declaran conocer explícitamente los riesgos y elementos de protección personal que se utilizarán en la actividad, además declaran estar totalmente capacitados para la realización de esta. Por otra parte, quienes firman en la toma de conocimiento serán los únicos que podrán participar en la ejecución de la actividad.

Observación

--

Nombre y firma del responsable