



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA**

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

TEMA:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UNA MÁQUINA
DE PRUEBAS PARA CONEXIONES METÁLICAS VIGA-COLUMNA”**

Autor: Dennis Leonel Shigüi Caiminagua

Tutor: Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, MSc., Mg.

AMBATO – ECUADOR

Septiembre - 2023

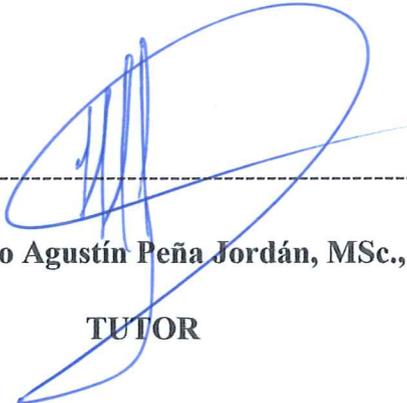
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UNA MÁQUINA DE PRUEBAS PARA CONEXIONES METÁLICAS VIGA-COLUMNA”**, elaborado por el Sr. Dennis Leonel Shigui Caiminagua, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 0705713683, estudiante de la Carrera de Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2023



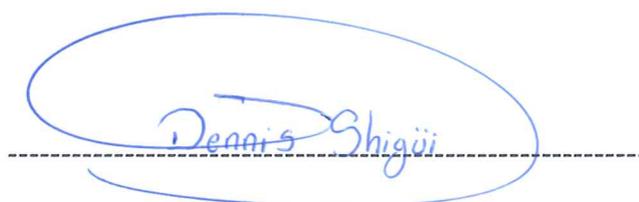
Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, MSc., Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Dennis Leonel Shigui Caiminagua**, con C.I. 0705713683 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Proyecto Técnico con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UNA MÁQUINA DE PRUEBAS PARA CONEXIONES METÁLICAS VIGA-COLUMNA”**, así como ideas de diseño, gráficos, resultados, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad, como autor del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2023



Dennis Leonel Shigui Caiminagua

C.I. 0705713683

AUTOR

DERECHOS DEL AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, septiembre 2023



Dennis Leonel Shigui Caiminagua

C.I. 0705713683

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Dennis Leonel Shigui Caiminagua de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UNA MÁQUINA DE PRUEBAS PARA CONEXIONES METÁLICAS VIGA-COLUMNA”**.

Ambato, septiembre 2023

Para constancia firman:



Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacís

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, MSc.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico en primer lugar a Dios, por ser mi fuente de fortaleza e iluminar mi camino en cada momento, por darme la sabiduría y la valentía para enfrentar cada desafío que me permite hoy alcanzar este gran logro.

A mis padres, quienes desde el primer día han sido dos pilares fundamentales, que con su sacrificio y apoyo que me han brindado a lo largo de mi trayectoria académica hoy lo hemos logrado esta gran meta que serán una de las muchas que pretendo alcanzar a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi gratitud infinita a Dios por brindarme salud y sabiduría para enfrentar los desafíos presentados durante la realización de este trabajo de titulación.

A mis amados padres por su constante apoyo, por ser fuente de motivación e inspiración en cada momento y por brindarme las herramientas necesarias para cumplir esta importante meta.

A mis compañeros de curso, quienes han compartido conmigo esta travesía académica, brindándome su apoyo incondicional y ayuda en cada momento.

A mi tutor de tesis, Ing. Francisco Peña, MSc, por su paciencia, disposición y dedicación al brindarme el asesoramiento necesario para alcanzar los objetivos de este trabajo de titulación.

A cada uno de los docentes que pasaron por las aulas durante todos estos años de estudio, que gracias a su dedicación y conocimientos compartidos han enriquecido mi formación académica.

A la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por brindarme el conocimiento para mi formación profesional y tener siempre el libre acceso a los recursos académicos y laboratorios.

Por último agradecer a mi compañera especial que ha estado pendiente de cada uno de los detalles y brindarme su apoyo durante este arduo proceso.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DEL AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPITULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Fundamentación Teórica	4
1.3.1. Estructuras metálicas	4
1.3.2. Ventajas de las estructuras metálicas.....	4
1.3.3. Desventajas de las estructuras metálicas.....	5
1.3.4. Elementos estructurales	5
1.3.5. Conexiones metálicas a momento.....	7
1.3.6. Tipos de conexiones viga-columna.....	7
1.3.7. Medios de unión viga-columna.....	8
1.3.8. Uniones emperradas	9
1.3.9. Pernos de alta resistencia	9
1.3.10. Uniones soldadas	11
1.3.11. Placas de continuidad.....	11
1.3.12. Apoyos	12

1.3.13.	Norma AISC 358-16.....	13
1.3.14.	Norma AISC 341-16.....	14
1.3.15.	Precalificación de conexiones.....	15
1.3.16.	Calificación de conexión.....	15
1.3.17.	Requisitos de los subconjuntos de prueba	16
1.3.18.	Acero estructural.....	16
1.3.19.	Características del acero estructural.....	16
1.3.20.	Propiedades del acero estructural.....	17
1.3.21.	Esfuerzo-deformación de acero estructural	18
1.3.22.	Perfiles de acero estructural	19
1.3.23.	Cargas de diseño	21
1.3.24.	Combinaciones de cargas.....	21
1.4.	Objetivos.....	22
1.4.1.	Objetivo general.....	22
1.4.2.	Objetivos específicos	22
CAPÍTULO II		23
2.	METODOLOGÍA.....	23
2.1.	Materiales	23
2.1.1.	Propiedades mecánicas de materiales	26
2.2.	Métodos	27
2.2.1.	Etapas del desarrollo del proyecto	27
2.2.2.	Descripción de etapas	28
2.3.	Ecuaciones necesarias para el diseño de estructura.....	30
CAPÍTULO III.....		34
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
3.1.	Prediseño de la estructura.....	34
3.1.1.	Dimensiones de los subensambres de ensayos	34

3.1.2.	Dimensiones de la estructura de la máquina.....	35
3.1.3.	Carga de sistema hidráulico.....	36
3.1.4.	Perfiles utilizados en la estructura.....	37
3.2.	Selección de alternativas.....	38
3.2.1.	Selección de alternativas del modelo de la estructura.....	38
3.2.2.	Selección de alternativas de conexiones estructurales.....	41
3.3.	Diseño de componentes de la estructura metálica.....	43
3.3.1.	Diseño de pórtico de estructura.....	43
3.3.2.	Diseño de conexiones de estructura.....	50
3.3.3.	Diseño de soportes de actuador hidráulico.....	67
3.3.4.	Comprobación del diseño de la estructura.....	70
3.3.5.	Estudio y verificación de estructura reforzada.....	77
3.3.6.	Diseño de anclajes de muestra de ensayo.....	83
3.4.	Construcción de estructura.....	87
3.4.1.	Materiales e insumos necesarios para la construcción.....	97
3.4.2.	Costo del proyecto.....	99
CAPÍTULO IV.....		101
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
4.1.	Conclusiones.....	101
4.2.	Recomendaciones.....	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		103
ANEXOS.....		108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Configuración típica de una máquina de ensayos.....	2
Figura 1.2. Construcción con estructura metálica.....	4
Figura 1.3. Elementos estructurales de pórtico a momento.	5
Figura 1.4. Esquema de una columna.	6
Figura 1.5. Vigas de diferentes materiales.	6
Figura 1.6. Conexiones soldadas y empernadas.....	7
Figura 1.7. Esquema de momento-rotación en conexiones.....	8
Figura 1.8. Perno A325.	9
Figura 1.9. Perno A490.	10
Figura 1.10. Soldadura CJP en junta en V simple y doble.....	11
Figura 1.11. Ubicación de placas de continuidad en columna.	12
Figura 1.12. Apoyo simple o móvil: a) restricciones de apoyo, b) apoyo móvil de puente metálico.	12
Figura 1.13. Apoyo articulado: a) representación y fuerzas de apoyo, b) Apoyo articulado montado en estructura.	13
Figura 1.14. Apoyo fijo o empotrado: a) Reacciones y representación del apoyo, b) montaje de un apoyo fijo.....	13
Figura 1.15. Partes de una conexión precalificada según AISC 358-16.....	14
Figura 1.16. Calificación de conexión viga-columna.	15
Figura 1.17. Subensamble mínimo aceptable para pruebas.	16
Figura 1.18. Diagrama esfuerzo-deformación.	19
Figura 1.19. Parámetros del perfil W.	20
Figura 1.20. Perfil tipo HP.	20
Figura 1.21. Viga estándar (S).	20
Figura 2.1. Diagrama de etapas del proyecto.	28
Figura 2.2. Espesor de placa de continuidad de conexión por un solo lado.	32
Figura 2.3. Espesor de placa de continuidad de conexión por los dos lados.	32
Figura 3.1. Dimensiones de los subensambres de prueba.	35
Figura 3.2. Esquema y dimensiones de la estructura.	36
Figura 3.4. Alternativa de estructura 1.....	38
Figura 3.5. Alternativa de estructura 2.....	39
Figura 3.6. Alternativa de estructura 3.....	39

Figura 3.7. Estructura de máquina.	43
Figura 3.8. Carga cíclica generada por actuador hidráulico.....	44
Figura 3.9. Verificación de capacidad de carga de la estructura.....	45
Figura 3.10. Resultado de desplazamientos de la estructura.....	45
Figura 3.11. Resultado de esfuerzos de Von Mises.	46
Figura 3.12. Momentos en la estructura con carga horizontal hacia la derecha: a) momentos en el plano x-z; b) momentos en el plano x-y.	47
Figura 3.13. Momentos en la estructura con carga horizontal hacia la derecha: a) momentos en el plano x-z; b) momentos en el plano x-y.	48
Figura 3.14. Reacciones en estructura aplicando la carga máxima a la derecha.	49
Figura 3.15. Reacciones en estructura aplicando la carga máxima a la izquierda.	49
Figura 3.16. Fuerzas y momentos que actúan en la conexión viga-columna.....	50
Figura 3.17. Configuración de conexión End Plate 4ES.....	51
Tabla 3.18. Fuerzas de tensión de pernos en conexión viga-columna.	52
Figura 3.19. Verificación de la resistencia de carga de conexión viga-columna.....	54
Figura 3.20. Esfuerzos en elementos de conexión viga-columna.	54
Figura 3.21. Fuerzas y momentos en conexión columna-soporte.....	55
Figura 3.22. Configuración de conexión columna-soporte.....	56
Tabla 3.23. Fuerzas de tensión de pernos en conexión columna-soporte.	57
Figura 3.24. Verificación de la resistencia de carga de conexión columna-soporte..	57
Figura 3.25. Esfuerzos en elementos de conexión columna-soporte.	58
Figura 3.26. Reacciones en base de columna.....	59
Figura 3.27. Conexión de anclajes de columnas.	60
Figura 3.28. Verificación de la resistencia de carga de placas base de columnas.	61
Figura 3.29. Esfuerzos en elementos de anclaje de columnas.	61
Figura 3.30. Fuerzas de tracción en tornillos de anclaje de columnas.	62
Figura 3.31. Reacciones en base de soporte.....	63
Figura 3.32. Conexión de anclaje de soportes.....	64
Figura 3.33. Verificación de la resistencia de carga en anclaje de soportes.	65
Figura 3.34. Esfuerzos en elementos en anclaje de soportes.	65
Figura 3.35. Fuerzas de tracción en tornillos de anclaje de soportes.	66
Figura 3.36. Soporte de cilindro hidráulico.	67
Figura 3.37. Tensiones de Von Mises en soporte del actuador hidráulico.	68

Figura 3.38. Desplazamientos en el soporte del actuador hidráulico.....	69
Figura 3.39. Factores de seguridad en el soporte del actuador hidráulico.	69
Figura 3.40. Ensamble de componentes de estructura.	70
Figura 3.41. Tensiones en la estructura con carga a la derecha.	72
Figura 3.42. Desplazamientos en estructura con carga a la derecha.	73
Figura 3.43. Factores de seguridad en la estructura con carga a la derecha.	73
Figura 3.44. Comprobación de pernos en estructura con carga a la derecha.	74
Figura 3.45. Tensiones en la estructura con carga a la izquierda.....	75
Figura 3.46. Desplazamientos en estructura con carga a la izquierda.	75
Figura 3.47. Factores de seguridad en la estructura con carga a la izquierda.	76
Figura 3.48. Comprobación de pernos en estructura con carga a la izquierda.....	77
Figura 3.49. Ensamble de refuerzo en estructura.	77
Figura 3.50. Tensiones en la estructura reforzada con carga a la derecha.	78
Figura 3.51. Desplazamientos en estructura reforzada con carga a la derecha.	79
Figura 3.52. Factores de seguridad en la estructura reforzada con carga a la derecha.	79
Figura 3.53. Comprobación de pernos en estructura reforzada con carga a la derecha.	80
Figura 3.54. Tensiones en la estructura reforzada con carga a la izquierda.....	81
Figura 3.55. Desplazamientos en estructura reforzada con carga a la izquierda.	81
Figura 3.56. Factores de seguridad en estructura reforzada con carga a la izquierda.	82
Figura 3.57. Comprobación de pernos en estructura con carga a la izquierda.....	83
Figura 3.58. Soportes de muestra de ensayo.	83
Figura 3.59. Tensiones de Von Mises en los soportes de las muestras de ensayo.....	85
Figura 3.60. Factores de seguridad en los soportes de las muestras de ensayo.	85
Figura 3.61. Reacciones en bases de soportes de las muestras de ensayo.	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Tipos de conexiones y metodología de diseño.....	8
Tabla 1.2. Propiedades mecánicas de los tornillos A325.....	10
Tabla 1.3. Propiedades mecánicas de los tornillos A490.....	10
Tabla 1.4. Conexiones precalificadas según AISC 358-16.....	14
Tabla 2.1. Materiales e insumos.....	23
Tabla 2.2. Equipos y herramientas.....	24
Tabla 2.3. Propiedades mecánicas del acero estructural.....	26
Tabla 2.4. Propiedades mecánicas del microalambre AWS ER70S-6.....	26
Tabla 2.5. Tensión nominal de conectores estructurales.....	33
Tabla 3.1. Carga cíclica ejercida por el actuador hidráulico.....	36
Tabla 3.2. Propiedades del perfil HEB200.....	37
Tabla 3.3. Propiedades del perfil IPE100.....	38
Tabla 3.4. Matriz de ponderación del modelo de estructura.....	41
Tabla 3.5. Matriz de ponderación de conexiones estructurales.....	42
Tabla 3.6. Desplazamientos en la estructura.....	46
Tabla 3.7. Esfuerzos de Von Mises en la estructura.....	46
Tabla 3.8. Fuerzas y momentos que actúan en la conexión viga-columna.....	51
Tabla 3.9. Esfuerzos máximos y mínimos en conexión viga-columna.....	55
Tabla 3.10. Fuerzas y momentos que actúan en la conexión columna-soporte.....	56
Tabla 3.11. Esfuerzos máximos y mínimos en conexión columna-soporte.....	58
Tabla 3.12. Reacciones en base de columna.....	59
Tabla 3.13. Esfuerzos máximos y mínimos en conexión de anclaje de columnas.....	61
Tabla 3.14. Resistencia de diseño del acero para anclajes HSL-3 de columnas.....	63
Tabla 3.15. Reacciones en base de soporte.....	64
Tabla 3.16. Esfuerzos máximos y mínimos en anclaje de soportes.....	65
Tabla 3.17. Resistencia de diseño del acero para anclajes HSL-3 de soportes.....	66
Tabla 3.18. Condiciones de carga del soporte del actuador hidráulico.....	68
Tabla 3.19. Tensiones en el soporte del actuador hidráulico.....	69
Tabla 3.20. Desplazamientos en el soporte del actuador hidráulico.....	69
Tabla 3.21. Factores de seguridad en el soporte del actuador.....	69
Tabla 3.22. Condiciones de carga en la estructura.....	71
Tabla 3.23. Tensiones en la estructura con carga a la derecha.....	72

Tabla 3.24. Desplazamientos de la estructura con carga a la derecha.	73
Tabla 3.25. Factores de seguridad en la estructura con carga a la derecha.	74
Tabla 3.26. Tensiones en la estructura con carga a la izquierda.	75
Tabla 3.27. Desplazamientos en estructura con carga a la izquierda.	76
Tabla 3.28. Factores de seguridad en la estructura con carga a la izquierda.	76
Tabla 3.29. Tensiones en la estructura reforzada con carga a la derecha.	78
Tabla 3.30. Desplazamientos de la estructura reforzada con carga a la derecha.	79
Tabla 3.31. Factores de seguridad en estructura reforzada con carga a la derecha....	80
Tabla 3.32. Tensiones en la estructura reforzada con carga a la izquierda.	81
Tabla 3.33. Desplazamientos de la estructura reforzada con carga a la derecha.	82
Tabla 3.34. Factores de seguridad en la estructura con carga a la izquierda.	82
Tabla 3.35. Condiciones de carga de los soportes de las muestras de ensayo.	84
Tabla 3.36. Tensiones en los soportes de las muestras de ensayo.	85
Tabla 3.37. Factores de seguridad en los soportes de las muestras de ensayo.	86
Tabla 3.38. Proceso de construcción de la estructura.	87
Tabla 3.39. Procesos de montaje de la estructura.	93
Tabla 3.40. Materiales e insumos utilizados en la construcción de la estructura.	97
Tabla 3.41. Elementos normalizados usados en el montaje de la estructura.	97
Tabla 3.42. Equipos necesarios para la construcción y montaje de la estructura.	98
Tabla 3.43. Herramientas para la construcción y montaje de la estructura.	98
Tabla 3.44. Costo de materiales e insumos.	99
Tabla 3.45. Costo de elementos normalizados.	99
Tabla 3.46. Costos directos en la construcción de la estructura.	100
Tabla 3.47. Costos indirectos en la construcción de la estructura.	100

RESUMEN EJECUTIVO

En los últimos años se ha evidenciado que se han construido edificios de acero que no cuentan con conexiones debidamente calificadas ni ensayadas, debido a que no existe una ordenanza que exija a los ingenieros a realizar inspecciones o ensayos de los diferentes tipos de conexiones antes de realizar una construcción.

Para la elaboración del proyecto se realizó una investigación bibliográfica enfocada a máquinas de ensayos similares, al igual que a los procesos de precalificación y calificación de conexiones viga-columna. Posteriormente se realizó el diseño de la alternativa más efectiva, siguiendo los parámetros y recomendaciones que brindan las normas vigentes y con la ayuda de softwares especializados de simulación se hizo la verificación del comportamiento del diseño. Del mismo modo, se realizaron los dibujos de cada una de las partes, al igual que los respectivos planos de montaje y construcción del proyecto. Finalmente se realizó la construcción de la estructura, se ensambló el sistema hidráulico y se verificó su funcionabilidad con la ayuda de una muestra de ensayo.

Al culminar este proyecto se busca contribuir a la industria de la construcción con una herramienta eficiente de calificación de conexiones viga-columna y con ello garantizar un mayor factor de seguridad en las construcciones metálicas.

Palabras claves: Conexión viga-columna, AISC 341-16, calificación de conexiones, conexiones precalificadas, muestra de ensayo.

ABSTRACT

In recent years, it has become evident that steel buildings have been constructed without properly qualified and tested connections because there is no ordinance requiring engineers to perform inspections or tests of the different types of connections prior to construction.

For the elaboration of the project, bibliographic research was carried out focused on similar testing machines, as well as on the processes of prequalification and qualification of beam-column connections. Subsequently, the design of the most effective alternative was carried out, following the parameters and recommendations provided by the current standards and with the help of specialized simulation software, the behavior of the design was verified. Likewise, the drawings of each of the parts were made, as well as the respective assembly and construction drawings of the project. Finally, the structure was built, the hydraulic system was assembled, and its functionality was verified with the help of a test sample.

At the end of this project, the aim is to contribute to the construction industry with an efficient tool for the qualification of beam-column connections and thus guarantee a higher safety factor in metallic constructions.

Keywords: Beam-column connection, AISC 341-16, connection qualification, prequalified connections, test specimen.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

TEMA

Diseño y construcción de la estructura de una máquina de pruebas para conexiones metálicas viga- columna.

1.1. Antecedentes Investigativos

En 2017, Zambrano [1] señala que la transformación del acero en el Ecuador ha tenido una gran aceptación desde que se comenzó a utilizar en 1968, por estas razones en el país se comenzaron a establecer nuevas alternativas de construcción con la finalidad de acelerar de manera masiva la edificación de estructuras, esto a consecuencia de que los costos de construcción de estructuras convencionales podrían ser más elevados en cuestión de materiales y mano de obra. Las ciudades en las cuales las edificaciones en su mayoría están fabricadas con estructuras metálicas son Quito y Guayaquil, este poco interés de construir con acero se debe por la falta de información de los beneficios de este nuevo método constructivo.

Existen investigaciones que demuestran cuales son los beneficios de usar estructuras metálicas para la construcción de edificaciones sin importar su magnitud, también existen algunos estudios que demuestran que estas construcciones optimizan procesos de fabricación y montaje. Además, al ser el acero un material dúctil, muy liviano y poseer una alta resistencia a las cargas lo hace un material óptimo para resistir sismos sin sufrir daños significativos, en comparación a estructuras de hormigón [2].

Por varias décadas, la intención primordial de las normas y reglamentos ha sido diseñar estructuras metálicas que tengan la capacidad de soportar las exigencias sísmicas sin colapsar, debido a que se creía que el acero al ser un material muy dúctil sería invulnerable a daños inducidos por un sismo, puesto que suponía que ese daño estuviera dentro de la respuesta dúctil de los elementos (trabes y columnas) [3].

Según [4], el reporte de fracturas frágiles en las uniones de momento ocurridos en las edificaciones en el terremoto ocurrido en Northridge en 1994, motivó a los diseñadores a desarrollar requisitos de ensayos para las conexiones entre vigas y columnas, estas disposiciones adoptaron la filosofía de que el comportamiento de las uniones viga-

columna debe verificarse mediante ensayos cíclicos a escala real, basándose en la opinión de que el comportamiento de las uniones bajo cargas cíclicas severas, no puede predecirse de forma fiable sólo con medios analíticos.

Los diseñadores estructurales tuvieron que encontrar nuevas alternativas para la configuración de los sistemas estructurales y el comportamiento satisfactorio de las conexiones [5]. En 2016, la Norma AISC 341-16 [4], dispuso en su Capítulo K una metodología para calificar diferentes tipos de conexiones viga-columna a escala real, por medio de ensayos experimentales de simulación de movimientos telúricos, esto con el fin de mejorar el comportamiento de las conexiones en futuros terremotos.

A nivel internacional existen diversos laboratorios de experimentación que se encuentran compuestos generalmente de un muro en L y una losa de reacción de hormigón armado como se muestra en la Figura 1.1, destinados a la realización de una gran variedad de ensayos de elementos y sistemas estructurales [6]. En Ecuador la Escuela Politécnica Nacional cuenta con el único Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) del país, creado con el objetivo de realizar una serie de investigaciones que brinden a la sociedad soluciones e innovación en cuanto a seguridad y economía en las edificaciones.

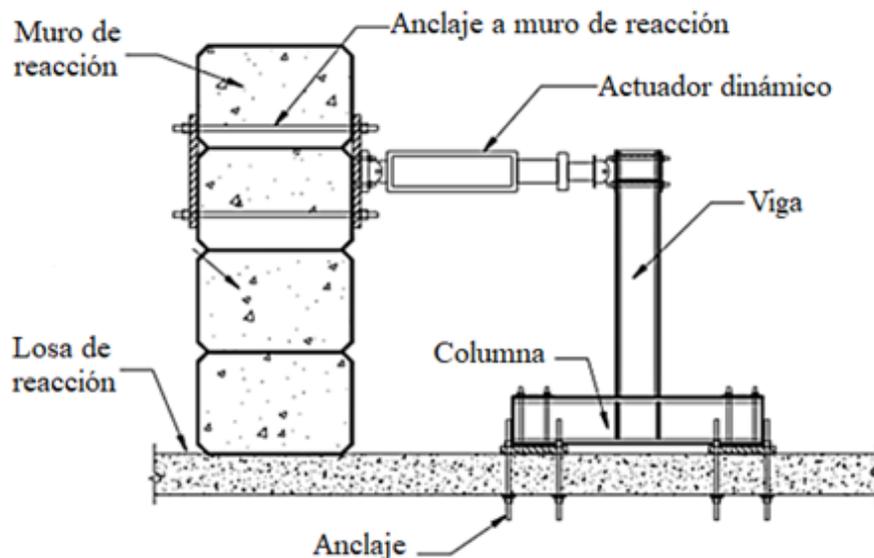


Figura 1.1. Configuración típica de una máquina de ensayos [3].

1.2. Justificación

Ecuador es un país que se ubica en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, por lo que la actividad sísmica en este lugar es alta, y por lo tanto se ha venido evidenciado problemas en los diseños sismorresistentes [7]. Uno de los sismos más recientes es el ocurrido en la ciudad de Pedernales en abril del 2016 que tuvo una magnitud de 7.8; según estudios de la secretaria de gestión de riesgos dejó como consecuencia cuantiosas pérdidas humanas y 40 edificaciones de hormigón armado colapsaron, muchas de ellas por fallas en las conexiones viga – columna [8].

Según [9], las conexiones viga-columna de las estructuras tradicionalmente han sido diseñadas con la finalidad de que cumplan con los requisitos básicos de códigos y normas de construcción, y a su vez en base a simulaciones computacionales ejecutadas en softwares especializados de ingeniería. Sin embargo, se debe tener presente que para proyectos más complejos las estructuras simuladas de manera virtual no tendrán el mismo comportamiento al de una estructura construida en la realidad [10].

En 2019, García [11] menciona que debido al crecimiento del uso de estructuras metálicas en la industria, se ha visto en la obligación de desarrollar modelos físicos-experimentales, puesto que permiten perfeccionar, comprobar y optimizar recursos materiales y económicos. Por lo tanto, es necesario orientar esta investigación hacia el estudio del comportamiento de cada material y el tipo de conexión, cumpliendo con parámetros de seguridad y diseño establecidos [12].

La existencia de una máquina de ensayos viga-columna da la posibilidad de técnicas que permitan mejorar la seguridad en las conexiones en la industria de las edificaciones de estructuras metálicas [13]. Con el diseño y la construcción de una estructura para la máquina de ensayos experimentales se busca brindar con servicios especializados a la docencia, la investigación y la vinculación con la comunidad, basándose en códigos y normas vigentes con la finalidad de garantizar que los ingenieros mecánicos y estructurales puedan dar soluciones viables, confiables y reales que den seguridad a los clientes de las futuras construcciones [6].

1.3. Fundamentación Teórica

1.3.1. Estructuras metálicas

Las estructuras metálicas son un sistema idóneo de construcción que se utilizan generalmente por su rigidez, estabilidad y resistencia, en donde la mayoría de los elementos que la componen son normalmente fabricados con acero como se observa en la Figura 1.2. Son mayormente utilizadas en la industria de la construcción por sus extraordinarias propiedades, por su funcionalidad y por su económico costo de producción [14].



Figura 1.2. Construcción con estructura metálica [15].

1.3.2. Ventajas de las estructuras metálicas

Las estructuras metálicas para la construcción de edificios se ha posicionado con el tiempo en una opción muy utilizada gracias a la serie de ventajas que estas presentan frente a otro tipo de estructuras [16]. En 2021, Razo [17] detalla algunas de las ventajas más destacadas de este tipo de estructuras:

- Resisten grandes deformaciones de compresión al igual que de tensión antes de que se produzca la fractura de un elemento metálico.
- Sus elementos estructurales son más livianos que ayudan a reducir de manera significativa el peso de las estructuras.
- Tienen la capacidad de absorber grandes cantidades de energía antes de fallar.
- Los elementos estructurales utilizados son prefabricados permitiendo un fácil montaje y con esto existe una disminución en el tiempo de construcción.
- Existe la posibilidad de hacer el reemplazo o colocación de elementos sin perjudicar ni la resistencia ni la función de la estructura.

- Se puede reciclar y reutilizar los elementos estructurales en otras construcciones metálicas, siempre y cuando estos sigan conservando sus propiedades y características [17].

1.3.3. Desventajas de las estructuras metálicas

- La mayoría de sus componentes son metálicos y al estar expuestos a agentes atmosféricos como el aire y agua son susceptibles a la corrosión, por lo que se deben pintar periódicamente, causando un costo adicional por mantenimiento.
- Las propiedades de los elementos disminuyen considerablemente cuando estos están expuestos a altas temperaturas probablemente por incendios, produciendo en muchas ocasiones el desplome de los mismos [18].
- Su resistencia se ve afectada cuando estas están sometidas a cargas cíclicas, provocando que se produzca fatiga en el material.
- Necesitan cumplir una serie de parámetros estructurales para su construcción por lo que el diseño, fabricación y montaje sea realizado por personas especializadas.
- Conexiones emperradas y soldadas requieren de un control de calidad tanto en la fabricación como en el montaje de la estructura [17].

1.3.4. Elementos estructurales

Son parte esencial de una construcción para brindar resistencia y rigidez a una estructura. La función más importante de estos elementos es soportar el peso muerto de la construcción y fuerzas externas como sismos y vientos [19]. En la Figura 1.2 se citan los principales tipos de elementos estructurales de un pórtico a momento.

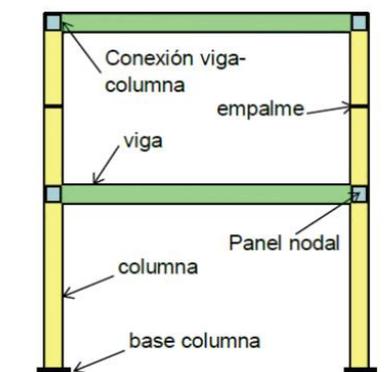


Figura 1.3. Elementos estructurales de pórtico a momento [20].

- **Columnas**

Son elementos estructurales sometidos principalmente a cargas de compresión generadas por la propia estructura y se encargan de transmitir esas cargas a los cimientos. Generalmente se encuentran ubicadas en posición vertical como se observa en la Figura 1.4 [21].



Figura 1.4. Esquema de una columna [22].

El diseño, armado y especificaciones de las columnas estarán directamente en razón a los diferentes esfuerzos a los que están sometidas. Pueden ser sencillas, construidas con perfiles estructurales o mixtas en donde se utiliza diversos materiales [22].

- **Vigas**

Estos son elementos estructurales de diferentes formas y materiales como se observa en la Figura 1.5, que son colocados de forma horizontal, aunque en ciertas ocasiones son ubicados en posición inclinadas, diseñados para soportar cargas puntuales o distribuidas perpendiculares a su eje aplicadas en varios puntos a lo largo del elemento. Sus esfuerzos correspondientes son de flexión y cizalladura [21], [23].

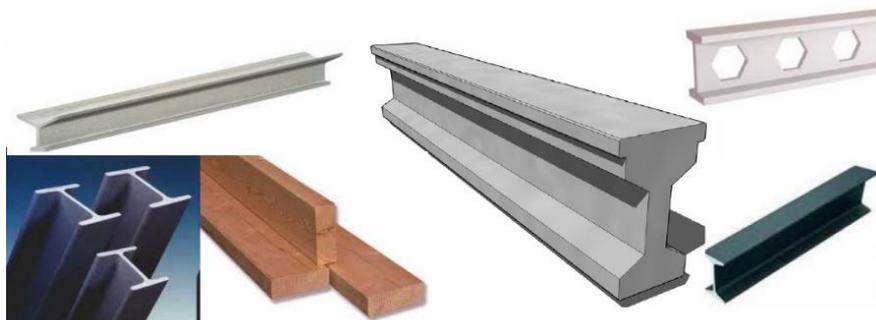


Figura 1.5. Vigas de diferentes materiales [21].

Según la investigación de Requejo [24] “Estas estructuras son utilizadas para soportar cubiertas y aberturas y también forman parte en el diseño de puentes como elementos estructurales, por esta razón al momento de su fabricación se debe verificar que soporten esfuerzos de compresión y tracción al mismo tiempo, que ocurre cuando la viga sufre pandeo”.

1.3.5. Conexiones metálicas a momento

Se llama conexión al conjunto de elementos que se unen para transmitir fuerzas entre sí en una junta, siguiendo las condiciones de un modelo constructivo ideal, las conexiones pueden unirse a través de pernos o soldadura como se indica en la Figura 1.6. Las conexiones son parte fundamental en las construcciones de acero, estas son las encargadas de unir todos los elementos que forman parte de dichas construcciones [25].

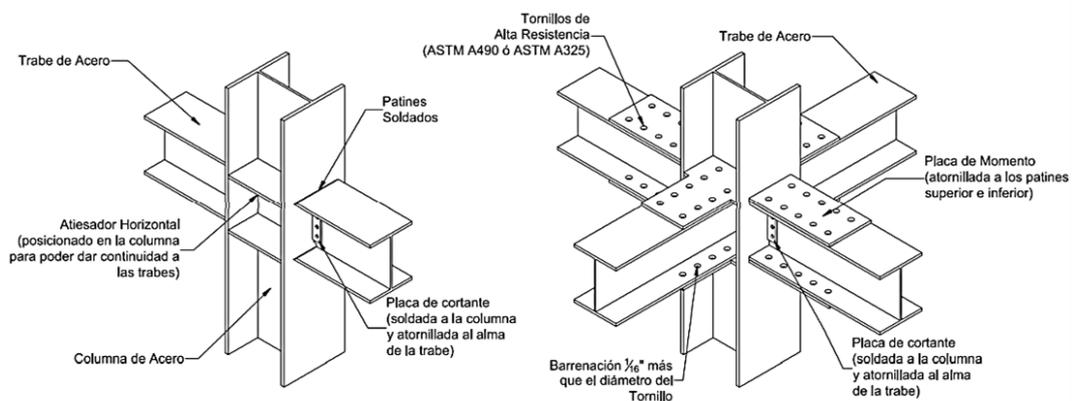


Figura 1.6. Conexiones soldadas y emperradas [25].

Cházaro [25] menciona también en su investigación que una conexión estructural segura depende de un buen diseño y de los procesos de fabricación subsecuentes como son la fabricación y montaje, dejando a un lado el pensamiento que las conexiones dependen de si se realizan con soldadura o usando tornillos.

1.3.6. Tipos de conexiones viga-columna

La clasificación de las uniones o conexiones se basa en las restricciones que tienen con respecto a la rotación en la intersección o nodo [25].

Según [25], las conexiones tienen 3 clasificaciones: conexión simple, conexión rígida y conexión semi – rígida. En la Tabla 1.1 se presentan dos tipos de metodología de

diseño existentes en las normas de construcción el de Diseño por Resistencia Permisible (ASD) y el de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD).

Tabla 1.1. Tipos de conexiones y metodología de diseño [25].

Conexiones	ASD	LRFD
Rígida	Tipo I	Totalmente Restringida
Simple	Tipo II	Parcialmente Restringida
Semi-Rígida	Tipo III	Parcialmente Restringida

A continuación en la Figura 1.7 se detallan los diagramas de momento-rotación de los tres tipos de conexiones.

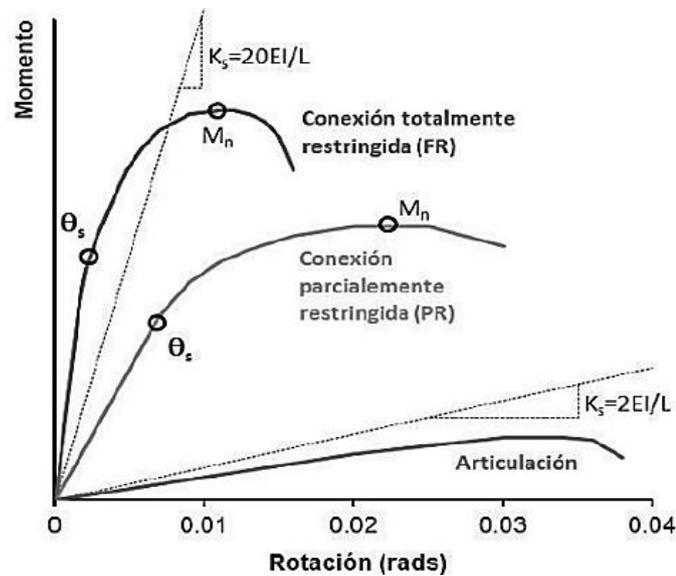


Figura 1.7. Esquema de momento-rotación en conexiones [20].

1.3.7. Medios de unión viga-columna

Las uniones o también conocidas como costuras de fuerza, son aquellas que tienen como función principal la transferencia de cargas de un perfil a otro [26]. Según Razo [17], debe existir un buen medio de unión entre todas las partes estructurales para que la estructura funcione de óptima manera, soportando los esfuerzos y transfiriendo de manera correcta las cargas. A continuación se especifican 2 tipos de métodos de unión viga-columna.

1.3.8. Uniones emperradas

Son uniones en las cuales se usan pernos los mismos que deben poseer una alta resistencia al corte y cumplir con los requerimientos de la norma ASTM A-325 o pernos del Structural Connections Research Council A-490. De igual manera los mismos deben tener el mismo grado de material relacionado con la resistencia a la tracción y el límite elástico [17].

1.3.9. Pernos de alta resistencia

Son pernos diseñados específicamente para resistir grandes esfuerzos estructurales, se aprietan para crear una reacción de alta fricción entre las superficies de contacto y utilizar esta reacción de rozamiento para transmitir los esfuerzos de los perfiles unidos [26]. A partir del año 2016 la Norma ASTM F3125 hizo el reemplazo de las especificaciones A325 y A490 de pernos estructurales de alta resistencia. Esta norma cubre los requisitos de materiales para los pernos hexagonales de servicio pesado y alta resistencia con una fuerza de tracción de 150 ksi como mínimo [27].

- **Pernos A325**

Son pernos de cabeza hexagonal de alta resistencia con una cabeza de patrón pesada con el objetivo de aumentar el área de apoyo como se indica en la Figura 1.8, generalmente se utilizan en conexiones de estructuras metálicas [28]. Los pernos A325 varían de diámetro desde 1/2" a 1 1/2" y son fabricados de aleación de medio carbono [27].

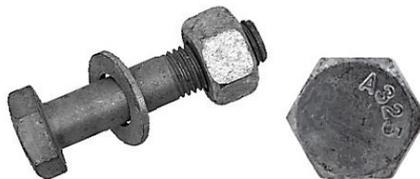


Figura 1.8. Perno A325 [27].

Se encuentra disponible en dos tipos, el Tipo 1 puede ser fabricado de carbono medio, de boro o de aleación de carbono medio y el Tipo 3 está elaborado de acero inoxidable que es resistente a la corrosión [28]. En la Tabla 1.2 se detallan las propiedades mecánicas de los pernos de alta resistencia A325 Tipo 1 que son usados en mayor cantidad en la industria.

Tabla 1.2. Propiedades mecánicas de los tornillos A325 [28].

Diámetro [mm]	Carga de prueba [MPa]	Rendimiento [MPa]	Resistencia a la tracción [MPa]	Dureza
12 a 26	586	635	828	C24 a C35
28 a 38	510	560	725	C19 a C31
Alargamiento	14% Mínimo (Todos los diámetros)			
Reducción de área	35% Mínimo (Todos los diámetros)			

- **Pernos A490**

Este tipo de pernos poseen gran similitud en cuanto a dimensión y aplicación con los pernos A325, la diferencia más notoria es que estos están fabricados con aleación de acero en lugar de carbono medio, lo que da como resultado un perno de mayor resistencia como se muestra en la Figura 1.9. Una recomendación para este tipo de pernos es que no deben ser galvanizados por inmersión en caliente debido a que esto podría provocar precipitación mecánica o galvanización debido al riesgo de fragilización por hidrogeno [29].



Figura 1.9. Perno A490 [29].

En el mercado se encuentra disponible en Tipo 1 fabricado de carbono medio y aleación y también en Tipo 3 que se encuentra fabricado en un acero inoxidable resistente a la corrosión [30]. En la Tabla 1.3 se detallan las propiedades mecánicas de los pernos de alta resistencia A490 Tipo 1 que son usados en mayor cantidad en la industria.

Tabla 1.3. Propiedades mecánicas de los tornillos A490 [30].

Diámetro [mm]	Carga de prueba [MPa]	Rendimiento [MPa]	Resistencia a la tracción [MPa]	Dureza
12 a 38	528	897	1035-1193	C33 a C39
Alargamiento	14% Mínimo (Todos los diámetros)			
Reducción de área	40% Mínimo (Todos los diámetros)			

1.3.10. Uniones soldadas

Este proceso consiste en la unión de dos o más piezas metálicas de la misma o similar composición, de tal manera que la unión sea rígida y estanca. Esto se consigue mediante la aportación de calor consiguiendo fundir el metal hasta lograr una continuidad en los elementos [31].

Según Guarderas [32], Para los procesos de soldadura se debe tomar en cuenta las especificaciones estipuladas en el código de soldadura de acero estructural de la Sociedad Americana de Soldadura (por sus siglas en inglés AWS). Las juntas de soldadura recomendadas en las conexiones viga-columna de las estructuras de acero son las juntas soldadas de penetración completa (CJP).

- **Junta soldada CJP**

Las juntas de soldadura CJP se realizan en juntas en T y ranuradas, el metal de aporte se coloca desde la raíz de la junta hasta la superficie del metal base. En la figura 1.10 se puede observar una soldadura CJP en una junta a tope en V simple y doble [32].

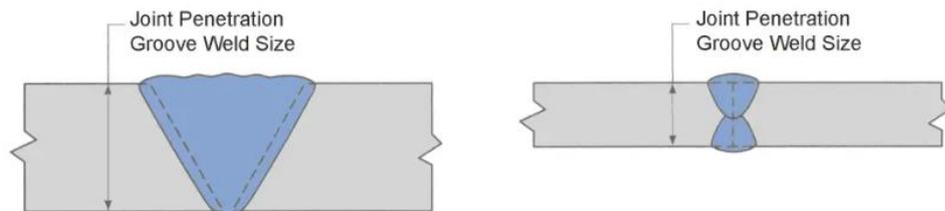


Figura 1.10. Soldadura CJP en junta en V simple y doble [32].

1.3.11. Placas de continuidad

Son placas de rigidez soldadas entre las alas de la columna, en la dirección de las alas de las vigas que se conectan a las columnas, usando soldadura de ranura o de filete como se observa en la Figura 1.11. El objetivo de estos rigidizadores es transferir cargas como tensión y compresión que se generan sobre una columna [20], [33].

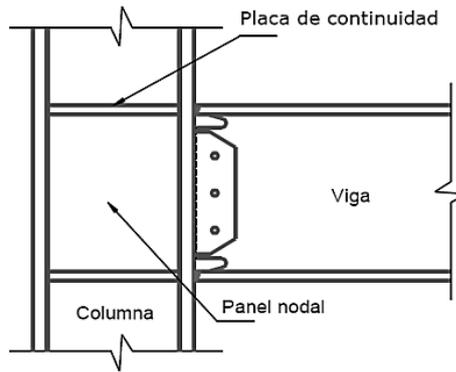


Figura 1.11. Ubicación de placas de continuidad en columna [20].

En 2017, Pillajo [20] menciona que las placas de continuidad se pueden colocar siempre y cuando la viga no se encuentre soldada al ala de la columna que puede estar construida de perfiles I de alas anchas o un perfil previamente armado.

1.3.12. Apoyos

Son elementos que proveen estabilidad a la viga y limitan el movimiento de un sistema estructural, comúnmente se encuentran ubicadas en los extremos de la viga o cerca de ellos. Las fuerzas aplicadas sobre ellas son llamadas reacciones [34].

- **Apoyo simple o móvil**

La reacción se origina entre dos superficies tangenciales que se unen en un punto, permitiendo un deslizamiento relativo entre ellas. El movimiento en la dirección del eje x es libre, al igual que la rotación en el plano XY . La reacción se produce como una fuerza perpendicular al plano x como se muestra en la Figura 1.12 [35].

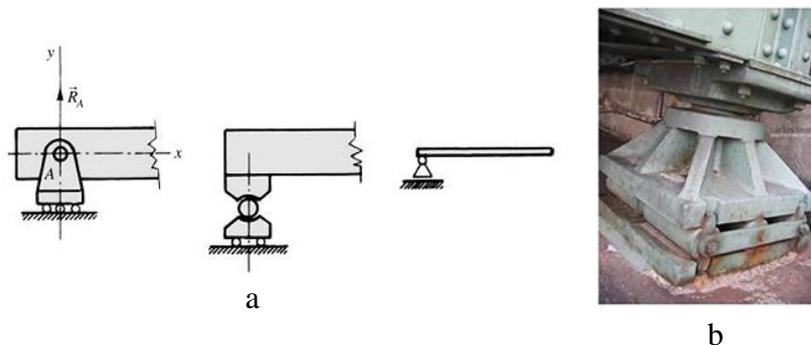


Figura 1.12. Apoyo simple o móvil: a) restricciones de apoyo, b) apoyo móvil de puente metálico. [36].

- **Apoyo articulado**

En el apoyo articulado el desplazamiento en el eje X y en el eje Y está restringido, las reacciones que actúan llevan la dirección de dichos ejes y únicamente está permitido el giro como se observa en la figura 1.13 [35].

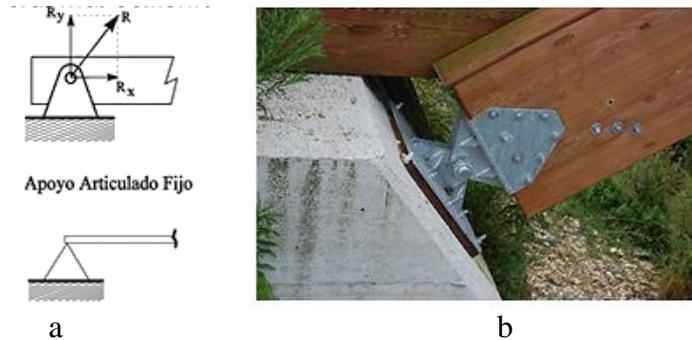


Figura 1.13. Apoyo articulado: a) representación y fuerzas de apoyo, b) Apoyo articulado montado en estructura. [36].

- **Apoyo fijo o empotrado**

Es un tipo de apoyo en donde se restringe toda posibilidad de movimiento o giro tanto en el eje X como en el eje Y. Las reacciones que se obtienen en el apoyo son tres: reacción en el eje X, reacción en el eje Y, y un momento que impide el giro así como se observa en la Figura 1.14 [35].



Figura 1.14. Apoyo fijo o empotrado: a) Reacciones y representación del apoyo, b) montaje de un apoyo fijo. [36].

1.3.13. Norma AISC 358-16

Es una norma en la cual se especifican detalladamente los criterios de diseño, fabricación y calidad de conexiones que están precalificadas de acuerdo con disposiciones de AISC utilizados en edificios de acero estructural. Cabe recalcar que las conexiones que se especifican en esta norma han sido ensayadas y estudiadas para cumplir con las disposiciones sísmicas del AISC siempre y cuando estén diseñadas y

fabricadas con los requisitos que exige esta norma; en la Figura 1.15 se indica una conexión precalificada con sus respectivas partes [37].

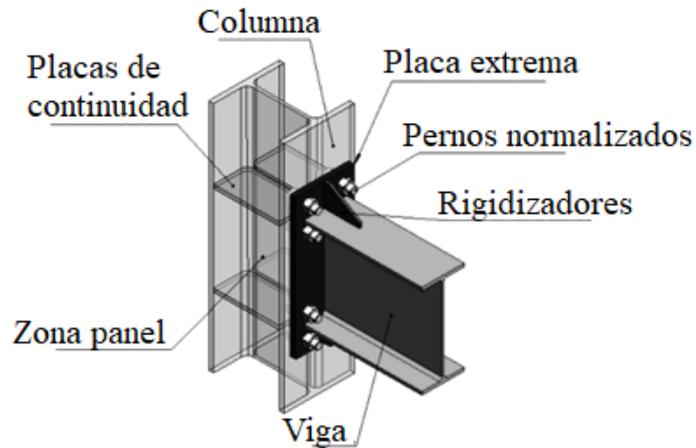


Figura 1.15. Partes de una conexión precalificada según AISC 358-16 [38].

En la Tabla 1.4 se presentan los tipos de conexiones previamente precalificadas admitidas por el American Institute of Steel Construction (AISC 358-16), para dos sistemas: SMF (Special Moment Frames) y IMF(Intermediate Moment Frames).

Tabla 1.4. Conexiones precalificadas según AISC 358-16 [39].

Tipos de conexión	Referencia AISC	Sistema
Vigas de sección reducida (Reduced beam section, RBS).	Capítulo 5	SMF, IMF
Placa de extremo no atiesada (Bolted unstiffened extended end plate BSEEP).	Capítulo 6	SMF, IMF
Placa de extremo atiesada (Bolted stiffened extended end plate BSEEP).	Capítulo 6	SMF, IMF
Cubreplacas pernado (Bolted flange plate BFP).	Capítulo 7	SMF, IMF
Aletas y alma soldada sin refuerzo (Welded unreinforced flange-welded web WUF-w).	Capítulo 8	SMF, IMF
Ménsula Kaiser pernada (Kaiser bolted bracket KBB).	Capítulo 9	SMF, IMF

1.3.14. Norma AISC 341-16

Es una norma de determina las disposiciones sísmicas necesarias para la elaboración de sistemas sismorresistentes de acero estructural, en la cual se brinda la información sumamente detallada del diseño, fabricación, montaje de miembros y precalificación y calificación de conexiones metálicas [4].

1.3.15. Precalificación de conexiones

Son conexiones Post-Northridge resistentes a momento, que gracias a sus detalles y características, son recomendadas para utilizarlas en el montaje de estructuras [40].

Su calificación surge porque son resultado de un minucioso proceso de evolución y ensayos debidamente controlados. Este tipo de conexiones fue admitido en las Normas Sísmicas Provisionales de AISC en el año 1992 [40].

La precalificación debe fundamentarse principalmente en los resultados de exhaustivas pruebas de laboratorio, sin embargo debe de encontrarse avalada por diversos estudios analíticos que dan como resultado el comportamiento de la conexión y por procedimientos y criterios detallados de diseño [4].

1.3.16. Calificación de conexión

Las conexiones estructurales que se encuentran bajo cargas cíclicas severas no puede calcularse de manera fiable solo por medios analíticos, por lo tanto se necesita la intervención de profesionales que se encarguen de hacer ensayos experimentales y mediante los datos resultantes conocer la reacción de dichas conexiones mediante un movimiento sísmico [4].

La norma no pretende que los ensayos de las conexiones se realicen de manera rutinaria en las construcciones, por tal razón se pretende que por seguridad se utilicen conexiones que mediante estudios exhaustivos hayan sido precalificados de acuerdo con la sección K1 de la norma AISC 341-16, pero si no se tiene registro de alguna conexión específica, el rendimiento real de la conexión debe de verificada mediante ensayos que se encuentran estipulados en la sección K₂, este proceso se puede observar en la Figura 1.16 [4].



Figura 1.16. Calificación de conexión viga-columna [39].

1.3.17. Requisitos de los subconjuntos de prueba

La Norma AISC 341-16 en el apartado K2 correspondiente a la calificación de conexiones, menciona que el tamaño de los elementos utilizados en la muestra de prueba debe ser en gran medida de lo posible una representación en escala real de los tamaños utilizados en un edificio [4].

Existen algunos tipos de subconjuntos para conexiones de momento, sin embargo, se dispone como subensamble mínimo aceptable un espécimen de acero compuesto por una sola columna y una viga; como está conformado la muestra de ensayo se puede observar en la Figura 1.17 [4].



Figura 1.17. Subensamble mínimo aceptable para pruebas.

1.3.18. Acero estructural

El acero estructural es un material de producción industrial que garantiza un control de calidad adecuado. Este material es caracterizado por poseer una alta resistencia, rigidez y flexibilidad, debido a esto su uso es muy común en estructuras sismorresistentes. Es primordial saber que la ductilidad o flexibilidad del material es la capacidad de sufrir diferentes deformaciones plásticas sin llegar a la fractura [41].

1.3.19. Características del acero estructural

El acero estructural posee excelentes cualidades mecánicas, por tal razón es muy utilizado en la construcción de estructuras metálicas. A continuación, se menciona de forma detallada las diferentes características del acero estructural.

Resistencia: el acero estructural posee la capacidad de soportar grandes esfuerzos y brinda seguridad a aquellas estructuras expuestas a sufrir sobrecargas o tensiones causadas por eventos climáticos como terremotos, huracanes y fuertes vientos.

Ductilidad: es la capacidad de sufrir deformaciones plásticas sin llegar a fractura.

$$\delta e = \frac{\text{Longitud final (Lf)} - \text{Longitud (Lo)}}{\text{Longitud inicial (Lo)}} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

δe = elongación del material.

Soldabilidad: depende en su mayoría de la composición química del material, en caso del acero estructural la composición es ideal para ser soldado.

Tenacidad: es la capacidad del material de absorber energía sin llegar a producir fisuras.

Uniformidad: con el paso del tiempo las propiedades del acero no se ven afectadas de manera significativa.

Elasticidad: el acero es el material que más se asemeja a las hipótesis de diseño, por tal motivo es el que obedece la ley de Hooke hasta esfuerzos sumamente altos.

Durabilidad: si el mantenimiento que se le proporciona al acero estructural es el adecuado este mantendrá un alto índice de vida por varios años [42].

1.3.20. Propiedades del acero estructural

- **Módulo de elasticidad (E)**

También conocido como módulo de Young, es la capacidad que tienen un material de recuperar su forma original al quitarle la carga al que se encuentra sometido e incluso luego de cargas cíclicas continuas, su valor se encuentra en la zona elástica del diagrama esfuerzo-deformación; en el caso de los aceros estructurales se considera un módulo de elasticidad de 2100000 kg/cm² [17].

$$E = \frac{\text{Esfuerzo } (\sigma)}{\text{Deformación unitaria } (\epsilon)} \quad \text{Ec. (2)}$$

- **Coefficiente de Poisson (μ)**

Es el estrechamiento del material cuando sufre un alargamiento en dirección contraria a la fuerza aplicada y sufre un acortamiento en el sentido contrario, en los aceros estructurales el coeficiente aproximado de 0.3 en el rango elástico y 0.5 en el rango plástico [17]. Se determina con la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{\text{Deformación unitaria transversal}}{\text{Deformación unitaria longitudinal}} \quad \text{Ec. (3)}$$

- **Módulo de rigidez (G)**

También es conocido como un módulo de cortante, es la respuesta que genera un material al ser sometido a esfuerzos cortantes, en el acero estructural se considera un valor de 840000 kg/cm² [17]. Si el material es elástico se determina con la siguiente ecuación:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad \text{Ec. (4)}$$

1.3.21. Esfuerzo-deformación de acero estructural

Ibarra [43] en su trabajo de investigación menciona que al momento de diseñar elementos estructurales es indispensable conocer la rigidez y resistencia del material, estos datos se obtienen a partir de una pruebas de tensión de dichos materiales, las cuales permiten obtener los esfuerzos y deformaciones que permiten realizar el diagrama esfuerzo – deformación como se observa en la Figura 1.18.

Al tratarse de materiales semejantes los diagramas esfuerzo - deformación son similares lo cual permite catalogar a los materiales en dos grupos con características semejantes los cuales reciben el nombre de materiales frágiles y dúctiles.

Los materiales dúctiles proporcionan diagramas en los cuales se puede apreciar la capacidad del material de resistir grandes cargas antes de llegar a la fractura. Mientras en los diagramas de materiales frágiles se puede observar un alargamiento despreciable cuando alcanza el punto de fractura [43].

Los aspectos más importantes en un diagrama esfuerzo – deformación son:

Límite de proporcionalidad: la relación entre el esfuerzo y la deformación es lineal

Límite de elasticidad: es la tensión máxima que puede soportar un material sin llegar a la deformación.

Punto de cedencia: al pasar de este punto el material sufre una deformación permanente.

Esfuerzo último: es el punto máximo del diagrama esfuerzo – deformación

Punto de ruptura: es el punto en el que el material falla por completo llegando a la fractura.

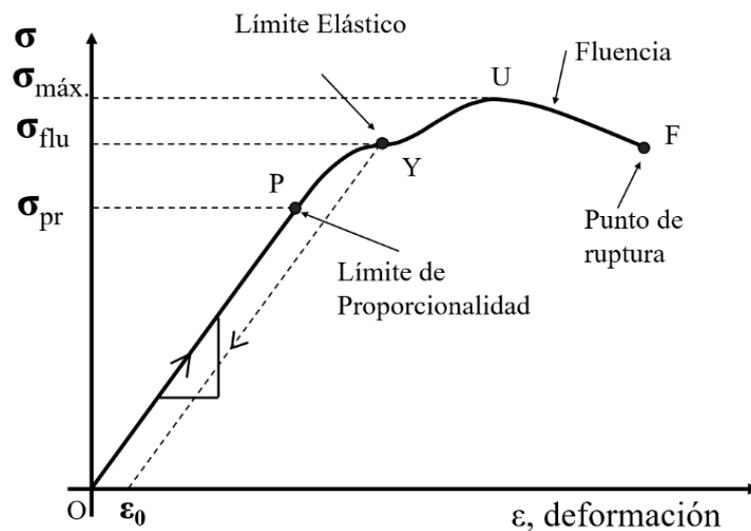


Figura 1.18. Diagrama esfuerzo-deformación [43].

1.3.22. Perfiles de acero estructural

A continuación se detallan los perfiles estructurales precalificados que son usados frecuentemente en el diseño y construcción de estructuras metálicas.

- **Perfiles tipo W**

Es un perfil estructural laminado en caliente con un óptimo desempeño ante esfuerzos de tensión, compresión y flexión. Es uno de los perfiles más utilizados, posee una forma doblemente simétrica en cuanto a los ejes X y Y. En la Figura 1.19 podemos observar los parámetros de un perfil W [44].

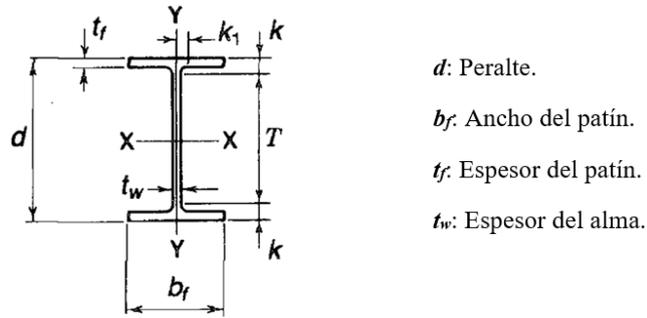


Figura 1.19. Parámetros del perfil W [44].

- **Perfiles de pilotes (HP)**

Son perfiles similares a los W, la diferencia es que sus patines y alma son del mismo espesor y el ancho del patín es igual al peralte nominal del perfil como se observa en la Figura 1.20. Generalmente son usados como pilotes en una estructura [44].

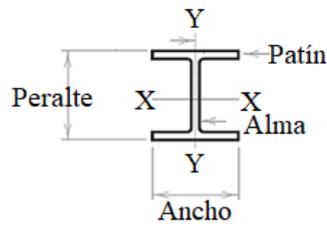


Figura 1.20. Perfil tipo HP [44].

- **Viga estándar (S)**

El un perfil laminado en caliente de alta ductilidad usado normalmente como soportes estructurales y la construcción de naves industriales. El alma de estos perfiles es de mayor espesor y los patines son más reducidos que los perfiles W, su forma y configuración se muestra en la Figura 1.21 [44].

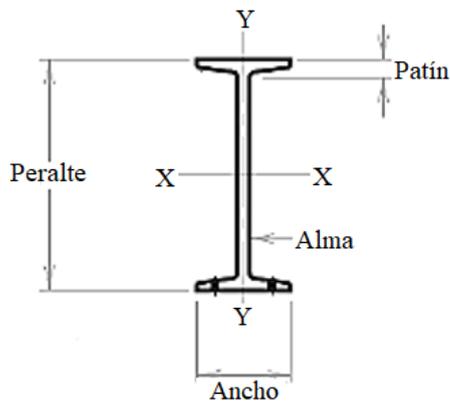


Figura 1.21. Viga estándar (S) [44].

1.3.23. Cargas de diseño

Las cargas tienen su clasificación de acuerdo con su naturaleza y la duración de la aplicación. En el diseño estructural se las conoce como cargas muertas, cargas vivas y cargas ambientales [45].

- **Cargas muertas**

Son cargas constantes que se encuentran fijas en un lugar como el peso propio de la estructura [45]. Se consideran también pesos de paredes, techos, pisos, acabados y otros elementos utilizados para la ejecución de la construcción [44].

- **Cargas vivas**

Son aquellas cargas que tienen la posibilidad de cambiar de lugar y magnitud [45]. Generalmente dentro de las cargas vivas la mayoría de las construcciones hace referencia a peso de personas, maquinaria, muebles, etc. [46].

- **Cargas ambientales**

Son cargas causadas por situaciones naturales del medio ambiente como viento, nieve, lluvia, sismos, etc. Se pueden considerar como cargas vivas debido a que también varían con el tiempo, pero no todas son causadas por la gravedad o por condiciones operacionales [45].

1.3.24. Combinaciones de cargas

Las combinaciones de carga del método LRFD se determinan según el reglamento de construcción aplicable con el fin de obtener la resistencia requerida de un miembro estructural [45]. A continuación se detalla las combinaciones aplicables por el método LRFD:

1. $U = 1.4D$
2. $U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$
3. $U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ o } S \text{ o } R) + (L^* \text{ o } 0.5W)$
4. $U = 1.2D + 1.0W + L^* + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$
5. $U = 1.2D + 1.0E + L^* + 0.2S$
6. $U = 0.9D + 1.0W$
7. $U = 0.9D + 1.0E$

Donde:

U = Carga factorizada o de diseño

D = Carga muerta

L = Carga viva de vida a la ocupación

L_r = Carga viva del techo

S = Carga de nieve

R = Carga nominal debida a la precipitación pluvial o el hielo.

W = Carga de viento

E = Carga de sismo

El factor de carga L en (3), (4) y (5) se deben considerar con un valor de 1.0 para tomar en cuenta lugares de reuniones públicas, en donde las cargas vivas sobrepasen los 100 lb/pie² y en garajes de estacionamiento, mientras que para otras cargas vivas se permite un factor de 0.5 [45].

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar y construir la estructura de una máquina de pruebas para conexiones metálicas viga- columna.

1.4.2. Objetivos específicos

- Establecer los parámetros de funcionamiento de las conexiones viga-columna, mediante normas aplicables.
- Determinar las variables para el diseño adecuado de la estructura de la máquina considerando las normas pertinentes.
- Diseñar la estructura de una máquina para el ensayo de conexiones viga- columna.
- Construir la estructura de la máquina de ensayos.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Materiales

A continuación, se presenta la Tabla 2.1 en donde se describe los materiales e insumos y la Tabla 2.2 con los equipos y herramientas utilizados en el proyecto.

Tabla 2.1. Materiales e insumos.

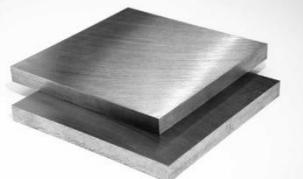
Materiales e insumos	Descripción	Imagen
Perfiles HEB200	Perfiles laminados en caliente de acero estructural ASTM A36 usados para soportar las cargas de diseño.	
Perfiles IPE100	Perfiles laminados en caliente de acero estructural ASTM A36 utilizados para soportar y anclar la estructura al suelo.	
Placas de acero	Placas de acero ASTM A36 de diferentes espesores que se utilizarán como placas de unión y anclaje.	
Pernos de alta resistencia	Pernos usados en el montaje de la estructura, específicamente en las uniones de los elementos estructurales viga y columna.	
Pernos de expansivos de anclaje HILTI	Pernos utilizados para el empotramiento de la estructura al piso.	

Tabla 2.1. Materiales e insumos, continuación.

<p>Microalambre</p>	<p>Consumible de soldadura GMAW de 0.9 mm de espesor y de acero al carbono, utilizado para realizar cordones de soldadura de gran longitud.</p>	
<p>Discos de corte y desbaste</p>	<p>Disco de corte y desbaste radial que se usará para cortar y desbastar los cordones de soldadura y eliminar aristas cortantes.</p>	
<p>Grata</p>	<p>Se usará para la limpieza de grasas, aceites y polvo de la estructura antes de la aplicación de la pintura.</p>	
<p>Pintura anticorrosiva</p>	<p>Se usará para proteger a los elementos estructurales de la corrosión.</p>	

Tabla 2.2. Equipos y herramientas.

Equipos y herramientas	Descripción	Imagen
<p>Computadora</p>	<p>Equipo que se usará para el diseño estructural, simulaciones y elaboración de planos del proyecto.</p>	
<p>Amoladora</p>	<p>Equipo radial que se utilizará para el corte, desbaste y limpieza de los elementos metálicos.</p>	

Tabla 2.2. Equipos y herramientas, continuación.

Soldadora GMAW	Equipo de soldadura que utiliza como consumibles rollos de microalambre, usado en el proyecto para ejecutar cordones de soldadura de grandes dimensiones.	
Fresadora	Se usará para mecanizar las bases de acople de los pistones para anclarlos a la estructura.	
Taladro pedestal	Se utilizará para agujerear las placas de conexión y placas de anclaje utilizados en la estructura de la máquina.	
Oxicorte	Equipo utilizado para el corte de piezas metálicas a través de la reacción química de la presión del oxígeno con el acero elevado a altas temperaturas.	
Puente grúa	Se usará para el montaje de las partes de la estructura, por tal razón que son perfiles robustos y pesados.	
Escuadras magnéticas	Herramientas que serán usadas para que queden a escuadra las placas de unión y las conexiones al momento de realizar el ensamble del proyecto.	

Tabla 2.2. Equipos y herramientas, contaminación.

Prensas tipo C	Serán usadas para sostener las placas de unión cuando se está agujereando y esmerilando.	
Caja de brocas, dados y llaves	Son herramientas de mano utilizadas para el agujereado de placas y el ajuste de las tuercas de los tornillos de alta resistencia al momento de montar la estructura.	
Equipo de protección	Es un equipo indispensable de protección que ayuda a salvaguardar la salud y evitar accidentes de las personas que interviene en la construcción.	

2.1.1. Propiedades mecánicas de materiales

Los perfiles utilizados para la construcción de la estructura son de acero ASTM A36, mayormente utilizados en la industria gracias a sus óptimas características como resistencia, ductilidad y buena capacidad de soldabilidad. A continuación en la Tabla 2.3 se presenta las propiedades mecánicas del acero estructural y en la Tabla 2.4 se detalla las propiedades del microalambre utilizado en la soldadura de los elementos estructurales según lo especificado en la norma AWS A5.18/A5.18M.

Tabla 2.3. Propiedades mecánicas del acero estructural [47].

Material	Módulo de elasticidad [GPa]	Relación de Poisson	Límite de Fluencia [MPa]	Resistencia máxima a la tracción [MPa]
Acero ASTM A36	200	0.3	250	400

Tabla 2.4. Propiedades mecánicas del microalambre AWS ER70S-6 [48].

Material	Esfuerzo a la cedencia [MPa]	Resistencia a la tensión [MPa]	Elongación [%]	Resistencia al impacto Charpy [J]
Microalambre AWS ER70S-6	400	480	22	27

2.2. Métodos

1. Exploratorio

Mediante la aplicación del método exploratorio se indagará por información y parámetros necesarios para el dimensionamiento de la estructura tomando en cuenta los requerimientos cíclicos y las cargas de diseño a las que va a estar sometida.

2. Bibliográfico

En el método bibliográfico se realizará una investigación en normas nacionales e internacionales de diseño que brinde información acerca de los parámetros de funcionamiento de las conexiones metálicas viga-columna, además, buscar información acerca de los procesos que se va a aplicar en el diseño y construcción de este proyecto.

3. Descriptivo

Se revisará información sobre los distintos tipos de ensayos que se pueden realizar en estas máquinas, así como cargas y ciclos de trabajo que ejerce la unidad hidráulica para identificar las posibles alternativas de diseño que podemos aplicar en el proyecto.

4. De campo

Mediante este método de campo se recolectará información de los tipos de conexiones y uniones son mayormente utilizadas, al igual que cuáles son los perfiles estructurales que más se ocupan en las construcciones metálicas.

2.2.1. Etapas del desarrollo del proyecto

La ejecución del presente proyecto se desarrollará en varias etapas y procedimientos secuenciales, aplicando varios procesos que al culminarse darán apertura a otro y así consecuentemente hasta lograr su finalización. A continuación en el diagrama de la Figura 2.1 se describen los pasos que se va a realizar para la ejecución del proyecto.

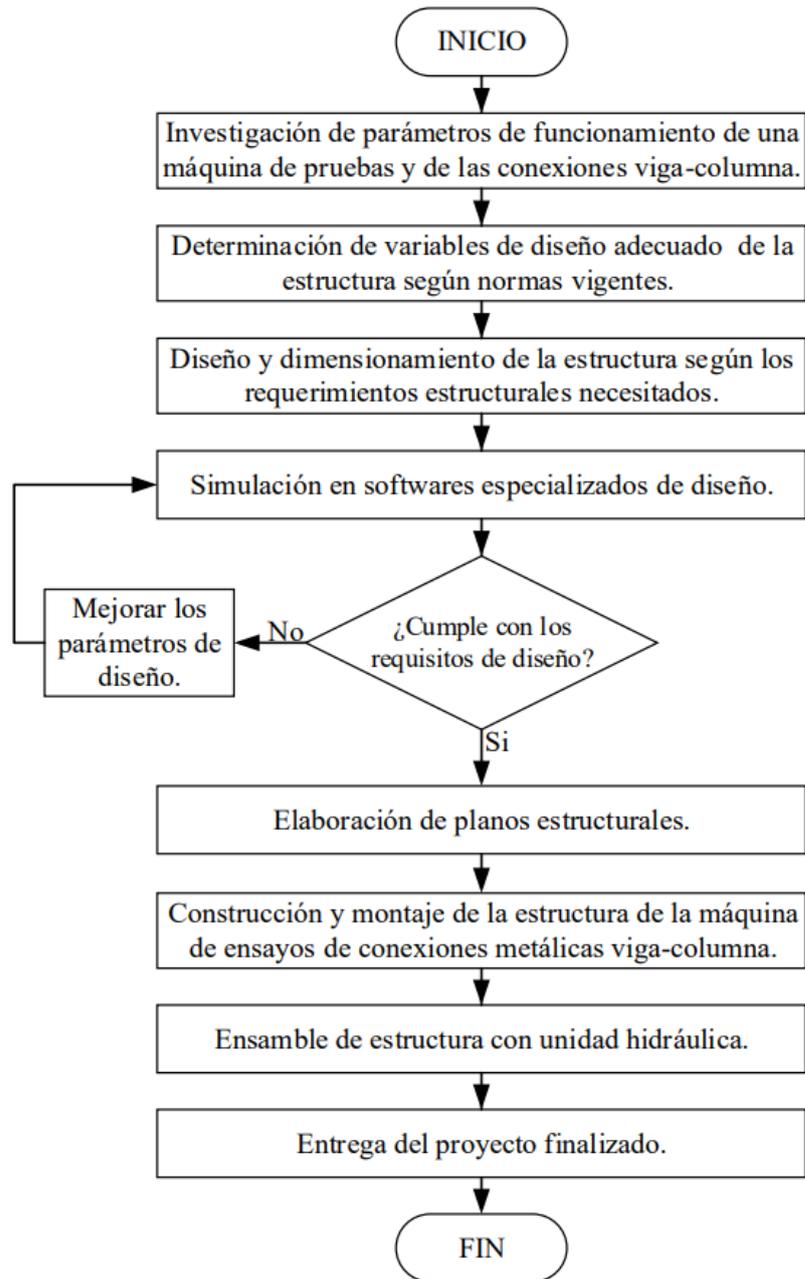


Figura 2.1. Diagrama de etapas del proyecto.

2.2.2. Descripción de etapas

- **Investigación de parámetros de funcionamiento de una máquina de pruebas y de las conexiones viga-columna.**

En esta etapa se va a hacer una investigación bibliográfica de trabajos similares realizados previamente con la finalidad de conocer el funcionamiento de una máquina de pruebas y de las conexiones viga-columna para tomar como referencia al momento de diseñar la estructura.

- **Determinación de variables de diseño adecuado de la estructura según normas vigentes.**

Las variables de diseño que se utilizarán en nuestro proyecto están dadas por normas vigentes tanto nacionales como internacionales. Las normas que se van a usar son: la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y la AISC 341-16, esta ayuda con parámetros de diseño sismorresistente y en el Capítulo K brinda información sobre la precalificación y calificación de conexiones mediante pruebas cíclicas [4].

- **Diseño y dimensionamiento de la estructura según los requerimientos estructurales necesitados.**

Una vez determinados ciertos parámetros de diseño se proceden a dimensionar la estructura según los requerimientos de los ensayos y realizar los cálculos respectivos de las cargas que va a soportar la estructura y también las reacciones que van a ejercer estas cargas en las conexiones y anclajes de la probeta; luego de tener los cálculos se va a elegir los perfiles y la unión de conexiones idóneos para la simulación y construcción de la estructura. De igual manera en esta etapa se va a dibujar la estructura con todas sus partes y dimensiones en el software CAD SolidWorks.

- **Simulación en softwares especializados de diseño.**

Considerando los aspectos de diseño de la anterior etapa se procede a realizar la simulación de la estructura en un programa especializado de diseño para conocer los esfuerzos, desplazamientos axiales y laterales, reacciones en las conexiones y así verificar si la estructura resiste o no las cargas existentes; en el programa de SolidWorks se va a realizar una simulación por elementos finitos de la base fija que conecta el pistón con la estructura y de igual manera se va a simular la reacción de las conexiones según el tipo de unión en el software IDEA StatiCa versión Demo.

- **Elaboración de planos estructurales.**

Si la estructura cumple con todos los requerimientos de diseño se procede a desarrollar los planos constructivos y de montaje con todos los detalles y dimensiones que facilite la elaboración de la estructura.

- **Construcción y montaje de la estructura de la máquina de ensayos de conexiones metálicas viga-columna.**

Luego de tener los planos se iniciará el proceso de construcción y montaje de las partes de la estructura de acuerdo con la planificación y el diseño anteriormente aceptado. Se tomará en cuenta también que proceso de soldadura y tipo de junta se va a hacer para que tenga eficacia las uniones soldadas.

- **Ensamble de estructura con unidad hidráulica.**

Una vez terminada la estructura se procede a ensamblar finalmente la estructura con la unidad hidráulica y hacer algunas pruebas de funcionamiento que garanticen la correcta función de la maquina y si existen algunas fallas corregir con anticipación.

- **Entrega del proyecto finalizado.**

En esta etapa se procede a entregar terminada la máquina de pruebas de conexiones viga-columna tomando en cuenta que el diseño debe ser optimo que garantice la efectividad de esta al momento de realizar un proyecto experimental.

2.3. Ecuaciones necesarias para el diseño de estructura.

Cabe recalcar que para los respectivos cálculos se utilizarán formulas y ecuaciones del método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD), por lo que es el método más utilizado en el diseño de estructuras metálicas.

- **Diseño de elementos a flexión**
- **Esfuerzo normal máximo de flexión [45]**

$$\sigma_{Max} = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ec. (5)}$$

M = Momento crítico.

c = Distancia del eje neutro al punto más alejado de la sección.

I = Momento de Inercia.

- **Momento de fluencia [45]**

$$M_y = S_x F_y \quad \text{Ec. (6)}$$

S_x = Módulo de sección.

F_y = Limite elástico.

- **Módulo de sección** [45]

$$S_x = \frac{I}{c} \quad \text{Ec. (7)}$$

- **Combinaciones de carga** [45]

$$P_u = 1.4 P_D \quad \text{Ec. (8)}$$

$$P_u = 1.2 P_D + 1.6 P_L \quad \text{Ec. (9)}$$

P_D = Carga muerta.

P_L = Carga viva.

- **Teoría de falla**

$$\sigma = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. (10)}$$

S_y = Resistencia a la fluencia.

n = Factor de seguridad.

- **Diseño de placas de continuidad** [49]

Las Provisiones Sísmicas de la Norma AISC 341-16 en el Capítulo F recomienda el uso de placas de continuidad en caso de que el sexto del ancho del patín de la viga sea mayor al espesor del patín de la columna que se muestra en la Ecuación 11 [49].

$$\frac{b_{pv}}{6} < t_{pc} \quad \text{Ec. (11)}$$

b_{pv} = Ancho de patín de la viga.

t_{pc} = Espesor del patín de la columna.

- **Espesor de placa de continuidad** [49]

Para la selección del espesor óptimo de las placas de continuidad necesarias, la Norma AISC 341-16 brinda las siguientes recomendaciones:

- Si en una estructura la conexión es solo por un lado de la columna como se muestra en la Figura 2.2, se aplica la ecuación 12.

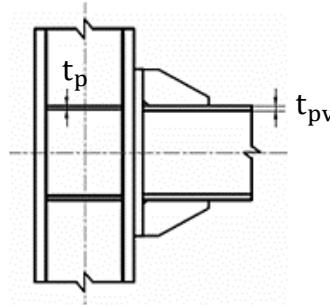


Figura 2.2. Espesor de placa de continuidad de conexión por un solo lado [49].

$$t_p \geq \frac{t_{pv}}{2} \quad \text{Ec. (12)}$$

t_p = Espesor de la placa de continuidad.

t_{pv} = Espesor del patín de la viga.

- Si en una estructura la conexión es por los dos lados de la columna como se muestra en la figura 2.3, se aconseja aplicar las Ecuaciones 13 o 14 según los requerimientos.

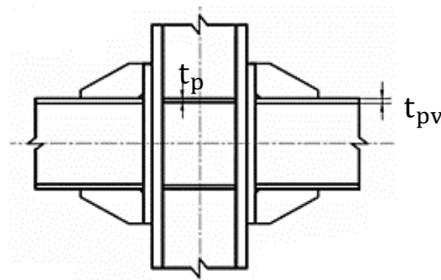


Figura 2.3. Espesor de placa de continuidad de conexión por los dos lados [49].

Según provisión AISC
$$t_p \geq \frac{3*t_{pv}}{4} \quad \text{Ec. (13)}$$

Según especificación AISC
$$t_p \geq \frac{b_{pv}}{16} \quad \text{Ec. (14)}$$

▪ **Diseño de placas rigidizadoras**

- **Largo de placa rigidizadora [49]**

$$L_{pr} = \frac{h_{pr}}{\tan 30^\circ} \quad \text{Ec. (15)}$$

h_{pr} = Altura de placa rigidizadora.

- **Espesor de placa rigidizadora** [49]

$$t_{pr} \geq t_{av} * \left(\frac{Fy_v}{Fy_{pr}} \right) \quad \text{Ec. (16)}$$

t_{av} = Espesor del alma de la viga.

Fy_v = Limite elástico del material de la viga.

Fy_{pr} = Limite elástico del material de la placa rigidizadora.

Otro criterio para el cálculo de las placas rigidizadoras es el siguiente:

$$t_{pr} \geq \frac{h_{pr}}{0.56 * \sqrt{\frac{E}{Fy_{pr}}}} \quad \text{Ec. (17)}$$

E = Módulo de elasticidad del material.

- **Resistencia a tensión de pernos** [50]

$$\phi R_n = \phi * A_p * F_{nt} \quad \text{Ec. (18)}$$

ϕ = Factor de resistencia

A_p = Área de perno.

F_{nt} = Tensión de tracción nominal.

La tensión de tracción nominal de los conectores de alta resistencia generalmente usados en la construcción de estructuras se presenta en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Tensión nominal de conectores estructurales [50].

Descripción de conector	Tensión de tracción nominal
	[MPa]
Pernos (A325, A325M, F1852)	620
Pernos (A490, A490M, F2280)	780

- **Área de pernos** [49]

$$A_p = \frac{\pi * d^2}{4} \quad \text{Ec. (19)}$$

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se busca seleccionar la mejor alternativa de la estructura de una máquina de pruebas de conexiones viga-columna, tomando como referencia proyectos similares, con la finalidad de que cumpla con las especificaciones de diseño estructural que requiere la norma AISC 341-16 para calificar las conexiones mediante la aplicación de cargas cíclicas.

3.1. Prediseño de la estructura

El sistema estructural utilizado en la estructura es el de pórticos resistentes a momentos por su gran capacidad de disipar energía que sucede por la fluencia del acero durante eventos sísmicos o la aplicación de cargas periódicas; de igual manera para el prediseño toma en cuenta las recomendaciones y limitaciones que impone el diseño sismorresistente [20].

3.1.1. Dimensiones de los subensambles de ensayos

La capacidad del sistema hidráulico es un variable importante al momento de dimensionar la probeta de ensayo; en primer caso, si el actuador hidráulico posee una gran fuerza de empuje, la norma recomienda una longitud de la viga de 1015 mm; en segundo caso, si el actuador posee una pequeña fuerza de empuje, se deberá generar mayores deformaciones para obtener la rotación inelástica del primer caso [4].

Los subensambles de las conexiones viga-columna que se vayan a ensayar en esta máquina, siempre deberán fabricarse siguiendo las disposiciones que se presentan a continuación:

- La columna permanecerá fija en los apoyos de la estructura de la máquina durante el ensayo, por lo tanto, su dimensión no influirá considerablemente. La longitud de la columna de los subensambles tendrá una longitud de 1200 mm.
- El diseñador estructural tiene la libertad de ensayar cualquier tipo de conexión y utilizar miembros estructurales de su preferencia, siempre y cuando que la probeta de ensayo cumpla con una altura total de 2200 mm, como se observa en el croquis de la Figura 3.1.

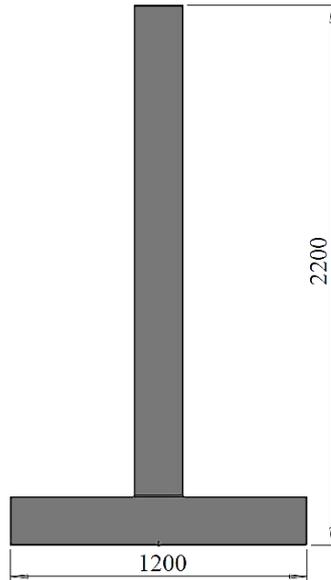


Figura 3.1. Dimensiones de los subensambres de prueba.

3.1.2. Dimensiones de la estructura de la máquina

Una vez conocido el tamaño de la muestra de ensayo se procede a dimensionar la estructura de la máquina compuesta por un pórtico hiperestático, considerando el espacio pertinente para facilidad y ergonomía del montaje de las probetas a la máquina. En el Anexo 6 se muestra de forma más detallada todas las dimensiones de la estructura de la máquina.

- **Datos del pórtico**

El pórtico que compone la estructura de la máquina posee los siguientes datos principales:

Altura: 3 m = 3000 mm

Altura de actuador hidráulico: 2.3 m = 2300 m

Ancho: 2.2 m = 2200 mm

- **Esquema de estructura**

Se puede observar en la Figura 3.2 el esquema con las dimensiones que se ha propuesto para la estructura de la máquina de pruebas.

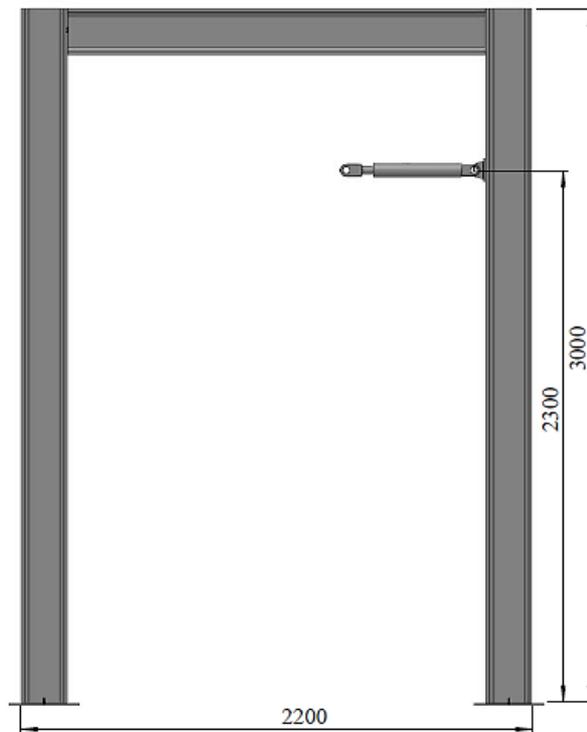


Figura 3.2. Esquema y dimensiones de la estructura.

3.1.3. Carga de sistema hidráulico

Según las disposiciones de la Norma AISC 341-16 [4], para el ensayo de conexiones solo se aceptan las cargas cíclicas aplicadas lentamente.

Villaruel y Chicaiza [51], en su proyecto técnico de investigación realizaron el diseño y construcción de sistema hidráulico para la máquina de pruebas de conexiones metálicas viga-columna, el cual tiene una capacidad de fuerza de empuje de 50 kN. En la Tabla 3.1 se muestra la variación de la carga del actuador hidráulico con respecto al tiempo cuando se realiza un ensayo.

Tabla 3.1. Carga cíclica ejercida por el actuador hidráulico [51].

Tiempo [s]	Fuerza [kN]
0	0
120	50
180	50
300	0
420	-50
480	-50
600	0

En la Figura 3.3 se observa la gráfica de la función de los movimientos cíclicos que va a efectuar el sistema hidráulico en una muestra de ensayo y de igual manera es esta misma carga periódica la que debe soportar la estructura producto de las reacciones generadas por actuación del pistón.

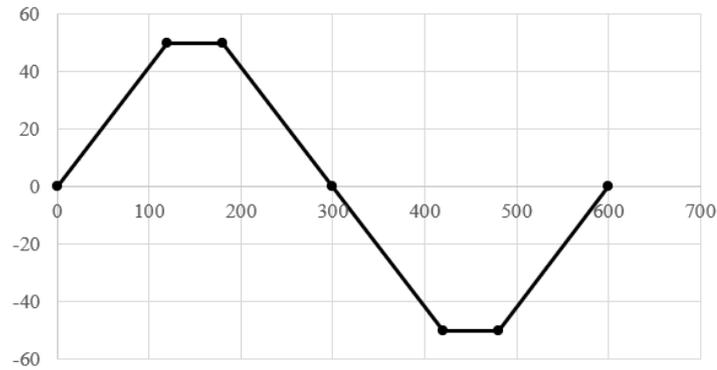


Figura 3.3. Función periódica del actuador hidráulico.

3.1.4. Perfiles utilizados en la estructura

Los perfiles de la estructura de la máquina deben ser lo suficientemente rígidos, a fin de que no sufran deformaciones considerables durante la ejecución de las pruebas, por lo tanto, se usará miembros de construcción de acero ASTM A36 laminado en caliente por sus excelentes propiedades mecánicas. Para los diferentes elementos de la estructura se ha seleccionado previamente los siguientes perfiles:

- **Perfil de las columnas y vigas:** HEB200

Se ha seleccionado este perfil puesto que posee propiedades de alto rendimiento que se muestran detalladamente en la Tabla 3.2. Las dimensiones del alma y patines son de 200 mm, y gracias a esto las conexiones viga-columna de la estructura pueden ser construidas de tal manera que tengan gran resistencia sin importar el tipo de unión.

Tabla 3.2. Propiedades del perfil HEB200 [52].

Área [cm ²]	Peso [kg / m]	Momento de inercia		Módulo de resistencia	
		I _x [cm ⁴]	I _y [cm ⁴]	W _x [cm ³]	W _y [cm ³]
78.10	61.30	5700	2000	570	200

- **Perfil de soportes laterales: IPE100**

Son elementos ligeros de excelentes propiedades que ayudarán que la estructura tenga una buena estabilidad. Su función principal es evitar los desplazamientos laterales que puedan afectar al rendimiento de la máquina. En la Tabla 3.3 se presentan las propiedades de los perfiles IPE100.

Tabla 3.3. Propiedades del perfil IPE100 [52].

Área [cm ²]	Peso [kg / m]	Momento de inercia		Módulo de resistencia	
		I _x [cm ⁴]	I _y [cm ⁴]	W _x [cm ³]	W _y [cm ³]
10.30	8.10	171	15.90	34.20	5.79

3.2. Selección de alternativas

3.2.1. Selección de alternativas del modelo de la estructura

Este apartado tiene como finalidad seleccionar un modelo de estructura que cumpla con las exigencias de diseño que dispone la norma, garantizando una alta fiabilidad.

- **Alternativas**

Conocidos los parámetros del prediseño de la estructura, se procede a simular en un software especializado de diseño diferentes alternativas y una vez conocidos los resultados se han seleccionado 3 alternativas que se detallan a continuación:

Alternativa 1: Estructura con un solo soporte en una columna.



Figura 3.4. Alternativa de estructura 1.

Alternativa 2: Estructura con soportes laterales en dos columnas.

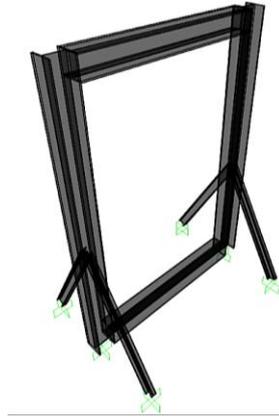


Figura 3.5. Alternativa de estructura 2.

Alternativa 3: Estructura con soportes laterales en dos columnas sin viga inferior.

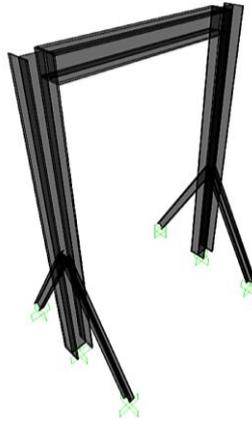


Figura 3.6. Alternativa de estructura 3.

- **Criterios de diseño**

Costo de material

En este criterio se busca optimizar el presupuesto con respecto al costo del material en la construcción de cada componente de la estructura, garantizando calidad y durabilidad de los elementos estructurales.

Costo de fabricación

El costo de fabricación va a depender de los procesos de manufactura que se apliquen en la construcción de la estructura y el tiempo que se va a demorar hasta su finalización.

Estabilidad

La estabilidad de la estructura es un requisito primordial con lo cual se busca que la estructura permanezca rígida durante la ejecución de las pruebas mediante la aplicación de miembros rigidizadores.

Desplazamientos estructurales

Con este criterio se busca encontrar la mejor alternativa de estructura en donde se produzcan desplazamientos mínimos y no se produzcan esfuerzos que comprometan el rendimiento de la estructura. Luego de simular las 3 alternativas propuestas se analizan los valores más críticos de desplazamientos y según estos resultados se hará la ponderación.

Disponibilidad

Es un criterio que permite hacer la valoración de disponibilidad de materiales y elementos en el mercado local para su construcción y mantenimiento.

Fiabilidad

Es un criterio que describe si el producto cumple con los requerimientos para los que fue diseñado y construido [53].

- **Matriz de decisión ponderada**

Previamente se dio a conocer las 3 alternativas de la estructura y los criterios de diseño que se va a considerar, que van a ser de ayuda para seleccionar la opción óptima de diseño, por lo que se ha utilizado una matriz de ponderación. Este es un método en el cual se dan ponderaciones cuantificables a los criterios de diseño que se han descrito para las alternativas. Los valores utilizados para la ponderación de los criterios se encuentran cuantificados en un rango de 0 a 4, en donde el valor de 0 indica la opción de menor cumplimiento y 4 la que cumple la mayor cantidad de criterios [53].

En la Tabla 3.4 se procede a seleccionar la mejor opción de estructura mediante los criterios que se describieron anteriormente.

Tabla 3.4. Matriz de ponderación del modelo de estructura.

Criterios de diseño	Unidad	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		Mag.	Punt.	Mag.	Punt.	Mag.	Punt.
Costo de material	\$	1046	2	1106	1	950	4
Costo de fabricación	\$	450	3	650	1	550	2
Estabilidad	Experiencia	Deficiente	1	Buena	4	Buena	4
Desplazamientos estructurales	V. Crítico [mm]	X= 7.5	4	X: 9.0	3	X: 9.1	2
Disponibilidad	Cotizar	Alta	4	Alta	4	Alta	4
Fiabilidad	Experiencia	Buena	4	Buena	4	Buena	4
Total			18		17		20

Luego de sumar las ponderaciones de cada alternativa propuesta, se puede observar que la alternativa 3 obtuvo la mayor calificación y es esta la que se va a diseñar.

3.2.2. Selección de alternativas de conexiones estructurales

- **Alternativas**

Las conexiones son esenciales para obtener como resultado una estructura fiable y tenga buen funcionamiento, es por tal motivo la importancia del tipo que se vaya a seleccionar. Entonces considerando ciertos criterios de diseño se han preseleccionado 2 alternativas posibles que se indican a continuación:

Alternativa 1: Conexiones soldadas

Alternativa 2: Conexiones empernadas

- **Criterios de diseño**

Costo de materiales

En este criterio se busca optimizar el presupuesto con respecto al costo del material en la construcción de las conexiones viga-columna de la estructura, garantizando calidad y durabilidad de los materiales.

Costo de fabricación

El costo de fabricación va a depender de los procesos de manufactura y el tiempo que se apliquen en la construcción de las conexiones.

Mantenimiento

Este criterio tiene la finalidad de elegir la mejor alternativa que brinde facilidad y ergonomía al momento de realizar mantenimiento en caso de querer hacer el cambio de algún componente o miembro estructural.

Disponibilidad

Es un criterio que permite hacer la valoración de la disponibilidad de materiales y elementos para la construcción y mantenimiento.

Fiabilidad

Es un criterio que describe si las conexiones cumplen con los requerimientos de diseño, es decir, que tengan la capacidad de resistir esfuerzos y deformaciones generados durante el funcionamiento de la máquina.

- **Matriz de decisión ponderada**

Consideradas las alternativas y los criterios de diseño, se procede a ponderar en la matriz de decisión cada criterio con el fin de seleccionar la mejor alternativa de conexión viga-columna aplicada a la estructura como se muestra en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Matriz de ponderación de conexiones estructurales.

Criterios de diseño	Unidad	Alternativa 1		Alternativa 2	
		Mag.	Punt.	Mag.	Punt.
Costo de material	\$	80	4	120	3
Costo de fabricación	\$	200	4	300	3
Mantenimiento	Facilidad	Poca	0	Buena	4
Disponibilidad	Cotizar	Alta	4	Alta	4
Fiabilidad	Experiencia	Buena	2	Buena	4
Total			14		18

Luego de calificar cada criterio de las alternativas propuestas, se puede evidenciar que las conexiones empernadas obtuvieron una mayor puntuación, por tal razón, esta se va a utilizar en la construcción de la estructura.

3.3. Diseño de componentes de la estructura metálica

En los siguientes apartados se presenta el diseño de los componentes necesarios para el ensamble de la estructura, utilizando información dispuesta anteriormente, al igual que herramientas de diseño necesarias.

3.3.1. Diseño de pórtico de estructura

- **Cargas aplicadas en estructura**

Previamente se ha dado a conocer parámetros de prediseño tales como dimensiones y carga que ejerce el sistema hidráulico. A continuación se detallan las cargas vivas y muertas que debe soportar la estructura que se muestra en la Figura 3.7.

Cargas muertas: peso de la estructura, peso de actuador hidráulico.

Cargas vivas: carga cíclica de actuador hidráulica.



Figura 3.7. Estructura de máquina.

Peso de actuador hidráulico:

El actuador hidráulico tiene un peso de 15 kg.

Carga cíclica de actuador hidráulico:

Carga viva de 50 kN aplicada lentamente el actuador hidráulico mediante ciclos lentos que se detallan en la Tabla 3.1.

- **Simulación de pórtico de estructura**

En el software de diseño se asignan las secciones de los perfiles preseleccionados en la sección 3.1.4, al igual que los tipos de carga y las combinaciones de carga pertinentes. En la Figura 3.8 se indican las cargas que actúan sobre la estructura.

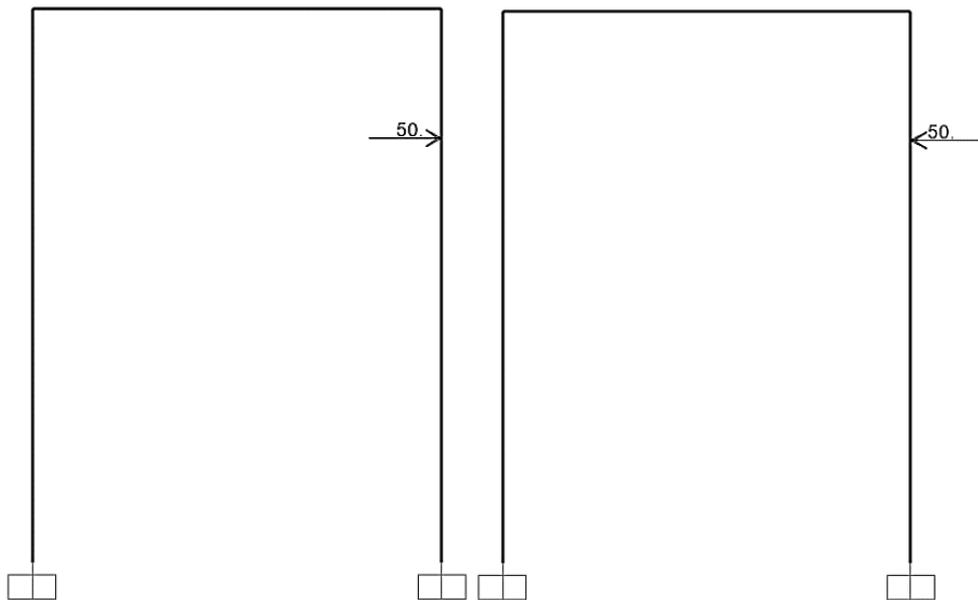


Figura 3.8. Carga cíclica generada por actuador hidráulico.

Resultados de análisis estructural:

Una vez establecidos los parámetros que requiere el software de diseño, se procede mediante la simulación a verificar si los elementos estructurales seleccionados resisten las cargas cíclicas que demanda el sistema hidráulico, cabe destacar que para el análisis se usa el método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD).

a) Análisis de capacidad de carga de elementos

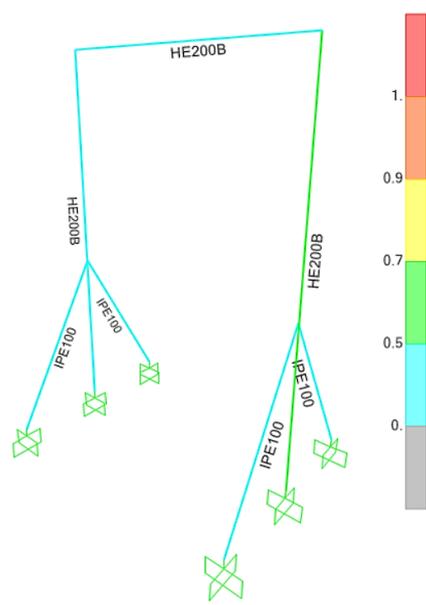


Figura 3.9. Verificación de capacidad de carga de la estructura.

En la Figura 3.9 se puede observar que la estructura propuesta resiste las cargas de diseño aplicadas. Los resultados demuestran que la columna en donde se ubica el actuador hidráulico está trabajando con una capacidad de carga del 53%, mientras que para el resto de los elementos trabaja con capacidades de carga inferiores al 30%, lo que significa que se aprueba el diseño estructural.

b) Desplazamientos estructurales

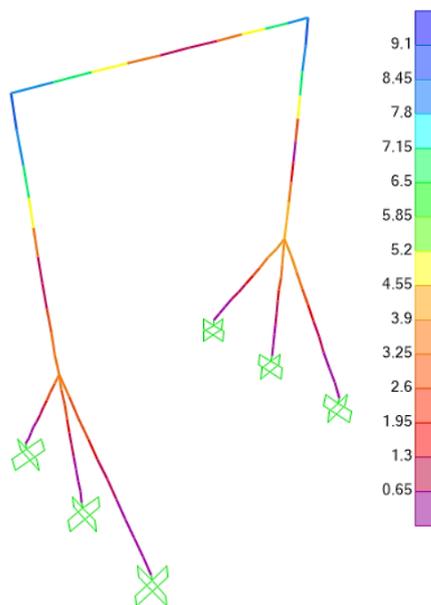


Figura 3.10. Resultado de desplazamientos de la estructura.

Tabla 3.6. Desplazamientos en la estructura.

Máximo [mm]	Mínimo [mm]
9.1	0.65

c) Esfuerzos de Von mises

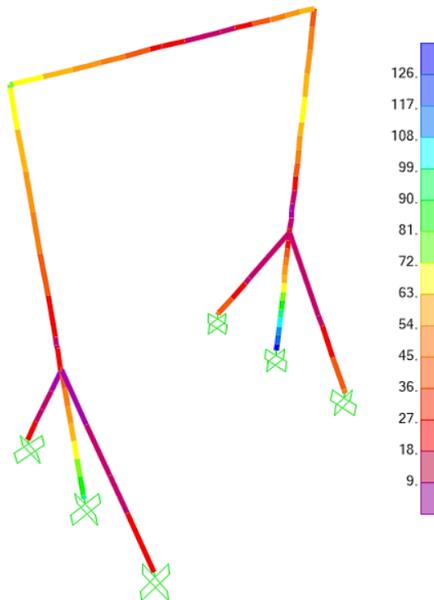


Figura 3.11. Resultado de esfuerzos de Von Mises.

Tabla 3.7. Esfuerzos de Von Mises en la estructura.

Máximo [MPa]	Mínimo [MPa]
126	9

d) Factor de seguridad

Luego de conocer las propiedades de los materiales y el esfuerzo máximo utilizamos la Ec.10 para determinar el factor de seguridad de la estructura en la zona más crítica.

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{126 \text{ MPa}}$$

$$n_{min} = 2$$

El factor de seguridad se encuentra entre el rango admitido, por tal motivo, mediante la utilización de este software resulta factible usar los perfiles HEB200 y IPE100 de acero ASTM A36 para la estructura.

e) Momentos generados en los elementos estructurales

- Momentos con carga máxima aplicada horizontalmente hacia la derecha.

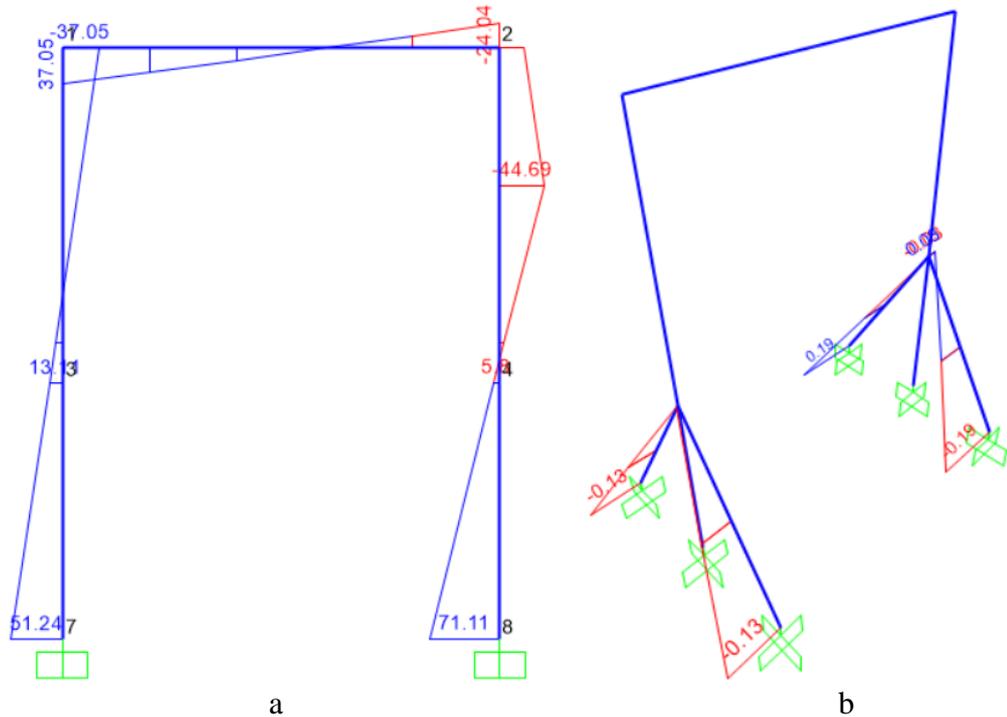


Figura 3.12. Momentos en la estructura con carga horizontal hacia la derecha: a) momentos en el plano x-z; b) momentos en el plano x-y.

Los momentos resultantes que se muestran en la Figura 3.12 respecto al plano x-z, evidencian un valor máximo de momento de 71.11 kN/m en la base de la columna en donde se aplica la carga. En las uniones viga-columna al ser conexiones que transmiten momentos se aprecia un valor de momento máximo de 37.05 kN/m. En la estructura el momento en donde se aplica la carga equivale a un valor de 44.69 kN y es en este punto donde el momento no es uniforme mientras que en el resto de los elementos la distribución de momentos es uniforme.

Los momentos resultantes respecto al eje x-y en la base de los soportes laterales de la columna en la que se aplica la carga tienen un valor de 0.19 kN/m, mientras que en los otros dos soportes es menor con un valor de -0.13 kN/m.

- Momentos con carga máxima aplicada horizontalmente hacia la izquierda.

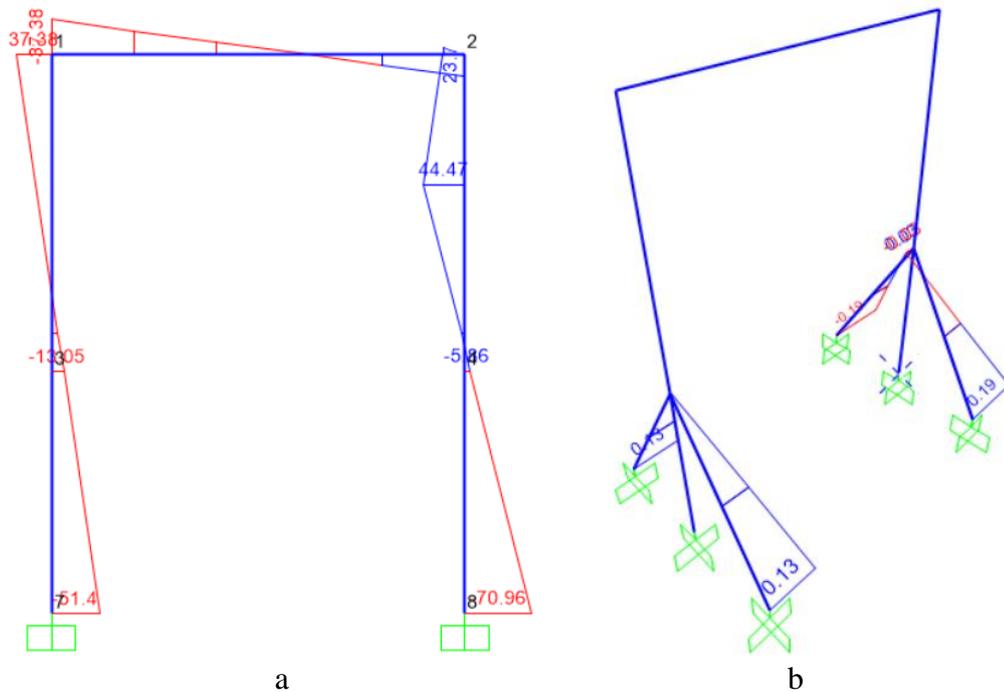


Figura 3.13. Momentos en la estructura con carga horizontal hacia la derecha: a) momentos en el plano x-z; b) momentos en el plano x-y.

Los momentos resultantes que se muestran en la Figura 3.13 respecto al plano x-z, evidencian un valor máximo de momento de 70.96 kN/m en la base de la columna en donde se aplica la carga. En las uniones viga-columna al ser conexiones que transmiten momentos se aprecia un valor de momento máximo de 37.38 kN/m. En la estructura el momento en donde se aplica la carga equivale a un valor de 44.47 kN y en este punto el momento no es uniforme mientras que en el resto de los elementos la distribución de momentos es uniforme.

Los momentos resultantes respecto al eje x-y en la base de los soportes laterales de la columna en la que se aplica la carga tienen un valor de 0.19 kN/m, mientras que en los otros dos soportes es menor con un valor de 0.13 kN/m.

f) Reacciones en los apoyos de estructura

- Reacciones en estructura aplicando la carga máxima hacia la derecha.

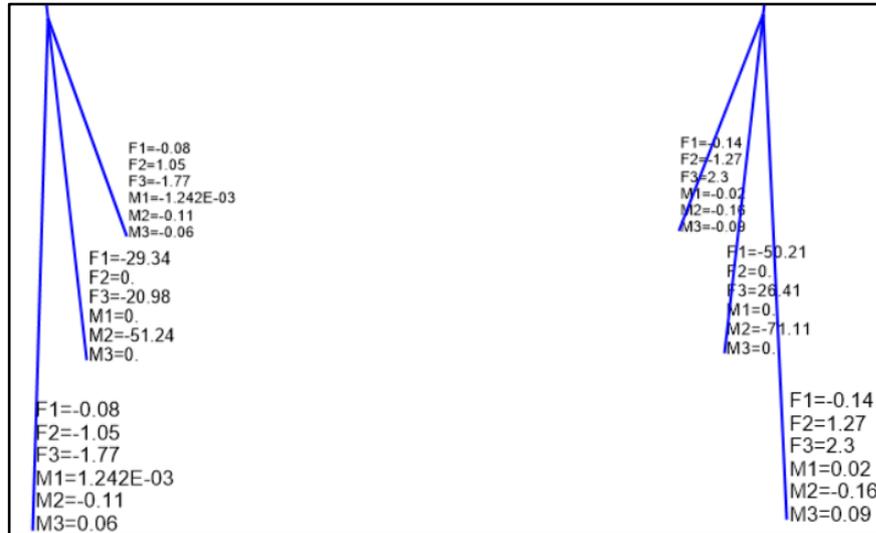


Figura 3.14. Reacciones en estructura aplicando la carga máxima hacia la derecha.

Las reacciones y momentos ejercidas en las bases de los soportes laterales son muy bajas en relacion de las reacciones ejercidas en las bases de las columnas. Con respecto a la columna en donde se aplica la carga cíclica se tiene valores de racciones igual a: $R_x = -50.21 \text{ kN}$; $R_z = 26.41 \text{ kN}$; $M_y = -71.11 \text{ kN/m}$, en la otra columna se tiene racciones igual a: $R_x = -29.34 \text{ kN}$; $R_z = -20.98 \text{ kN}$; $M_y = -51.24 \text{ kN/m}$.

- Momentos con carga máxima aplicada horizontalmente hacia la izquierda.

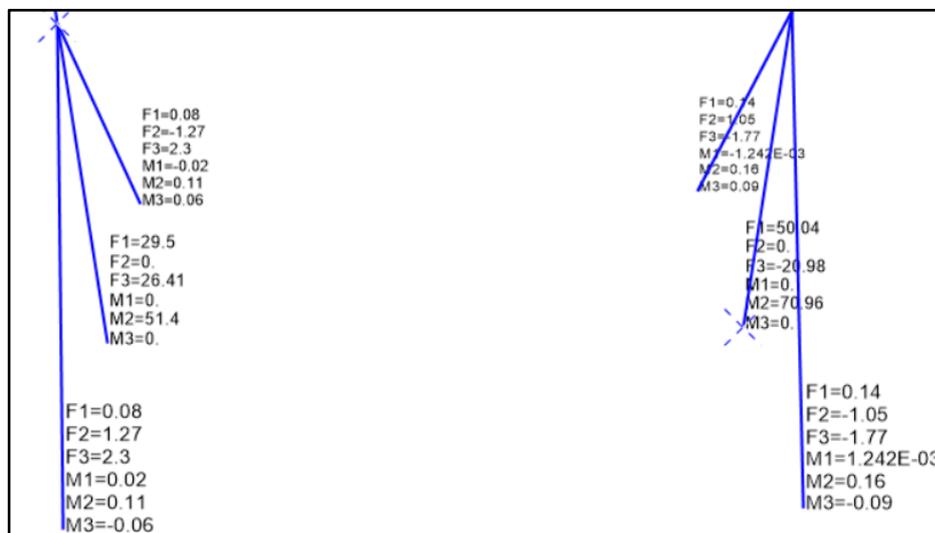


Figura 3.15. Reacciones en estructura aplicando la carga máxima hacia la izquierda.

Las reacciones y momentos ejercidas en las bases de los soportes laterales son muy bajas en relación de las reacciones ejercidas en las bases de las columnas. Con respecto a la columna en donde se aplica la carga cíclica se tiene valores de reacciones igual a:

$R_x = 50.04 \text{ kN}$; $R_z = -20.98 \text{ kN}$; $M_y = 70.96 \text{ kN/m}$, en la otra columna se tiene reacciones igual a: $R_x = 29.5 \text{ kN}$; $R_z = 26.41 \text{ kN}$; $M_y = 51.4 \text{ kN/m}$.

3.3.2. Diseño de conexiones de estructura

Para el diseño de las conexiones se ha tomado en cuenta el tipo la mejor alternativa seleccionada anteriormente y se analizara las conexiones donde los desplazamientos y esfuerzos son máximos, tomando en cuenta las cargas y momentos que nos brinda el software de diseño, para lo cual, se va a utilizar la versión libre del software IDEA StatiCa para la comprobación de resistencia de los componentes de la conexión.

- **Conexiones viga-columna**

Se ha mencionada anteriormente que las norma AISC 341-16 recomiendan usar conexiones precalificadas en la construcción de una estructura, por esta razón se ha seleccionado una conexión emperrada por sus beneficios ergonómicos en caso del montaje y desmontaje en posibles mantenimientos y transporte.

La conexión viga-columna que presenta fuerzas y momentos mayores es la que se encuentra al lado opuesto del actuador hidráulico. El software de diseño brinda las fuerzas y momentos que actúan en la conexión como se muestra en la Figura 3.16.

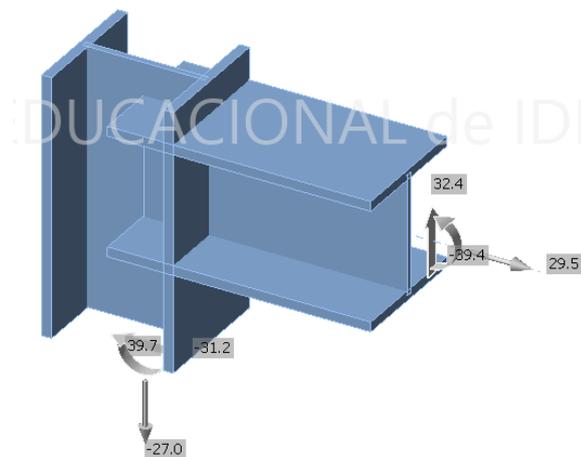


Figura 3.16. Fuerzas y momentos que actúan en la conexión viga-columna.

Sus valores se muestran de manera más detallada a continuación en la Tabla 3.7.

Tabla 3.8. Fuerzas y momentos que actúan en la conexión viga-columna.

Elemento	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
Columna	-27	0	-31.2	0	39.7	0
Viga	29.5	0	32.4	0	-39.4	0

Una vez conocido estos valores de fuerzas y momentos que actúan sobre los elementos, se ha seleccionado como más apropiada la conexión End Plate 4ES que tiene la configuración que se muestra en la Figura 3.17.

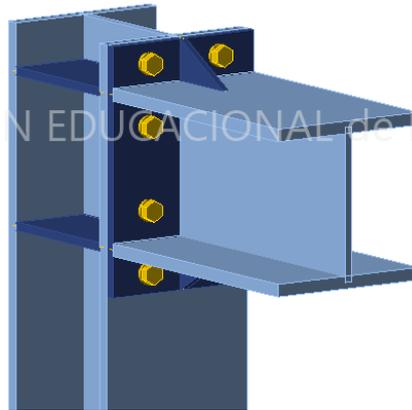


Figura 3.17. Configuración de conexión End Plate 4ES.

Los parámetros y cálculos de sus componentes se muestran a continuación:

a) Placa extrema de conexión

La norma AISC 358-16 recomienda que el ancho de esta placa debe ser igual o mayor que el ancho del patín de la viga y la altura será mayor a la altura total del perfil. Su espesor y dimensiones se presentan detalladamente en el Anexo 6.

b) Selección de pernos

Para la construcción de estructuras metálicas se recomienda utilizar los pernos de alta resistencia A325 o A490. En las conexiones viga-columna se ha utilizado 8 pernos A325, según dispone la precalificación.

Los pernos utilizados tienen un diámetro de 12.7 mm y su área es:

$$A_p = \frac{\pi * 12.7^2}{4}$$

$$A_p = 126.7 \text{ mm}^2 //$$

La resistencia a tensión de los pernos se calcula con la Ecuación 18 y haciendo uso de la Tabla 2.5:

$$\phi R_n = 0.75 * 126.7 \text{ mm}^2 * 620 \text{ MPa}$$

$$\phi R_n = 58.9 \text{ kN}$$

Los valores de las fuerzas generadas en los pernos no deben exceder este valor para que trabajen con un factor de seguridad aceptable.

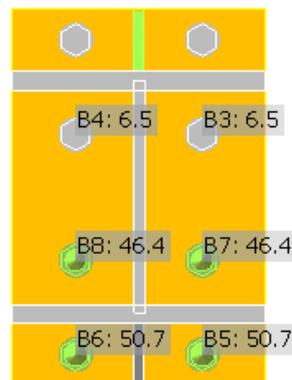


Tabla 3.18. Fuerzas de tensión de pernos en conexión viga-columna.

Como se puede observar en la Figura 3.18 se generan fuerzas en 6 de los 8 pernos, donde sus fuerzas no superan el valor máximo de capacidad de carga de 58.9 kN.

c) Placas rigidizadoras

- Largo de placa rigidizadora

La altura de la placa es igual a la altura de la placa extrema tomada en cuenta desde la parte superior de la viga, el ancho se calcula mediante la Ecuación 15:

Altura de placa rigidizadora: 50 mm

$$L_{pr} = \frac{50 \text{ mm}}{\tan 30^\circ} = 86 \text{ mm} //$$

- Espesor de placa rigidizadora

Mediante Ecuación 16 se calcula el espesor de las placas que ayudarán a rigidizar la conexión entre viga y columna:

$$t_{pr} \geq 9 \text{ mm} * \left(\frac{250 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}} \right)$$

$$t_{pr} \geq 9 \text{ mm} //$$

El espesor de la placa rigidizadora deberá ser igual o mayor a 9 mm según las disposiciones de la norma.

d) Placas de continuidad

Se usa placas de continuidad cuando se cumple la condición de la Ecuación 11.

$$\frac{200 \text{ mm}}{6} < 15 \text{ mm}$$

$$33.3 \text{ mm} < 15 \text{ mm} // \text{ No Cumple}$$

Entonces es necesario utilizar placas de continuidad de cada lado de la columna con un espesor que se calcula con la Ecuación 12:

$$t_p \geq \frac{15 \text{ mm}}{2}$$

$$t_p \geq 7.5 \text{ mm}$$

Se pueden utilizar placas de continuidad con espesores iguales o mayores a 7.5 mm.

a) Soldadura en la conexión

La norma recomienda que para esta conexión precalificada End Plate 4ES todas las juntas deben ser soldadas con de penetración completa sin usar placa de respaldo. Los detalles de la soldadura utilizada se muestran en el Anexo 4 y 5.

- **Simulación de conexión viga-columna**

A continuación se detallan conexión seleccionada y se ingresan en el software los parámetros calculados y seleccionados previamente, los mismos que son:

- Conexión precalificada: Conexión End Plate 4ES
- Placa de conexión extrema : Altura = 300 mm; Ancho = 200 mm; e = 12.7 mm
- Pernos A325: d = 12.7 mm

- Placa rigidizadora: Altura = 50 mm; Ancho = 86 mm; e = 10 mm
- Espesor de la placa de continuidad: 10 mm

Resultados obtenidos del software:

El software calcula la resistencia de las conexiones frente a las cargas y momentos, además brinda como resultados los esfuerzos máximos y mínimos que se generan en los elementos estructurales.

a) Análisis de resistencia de carga

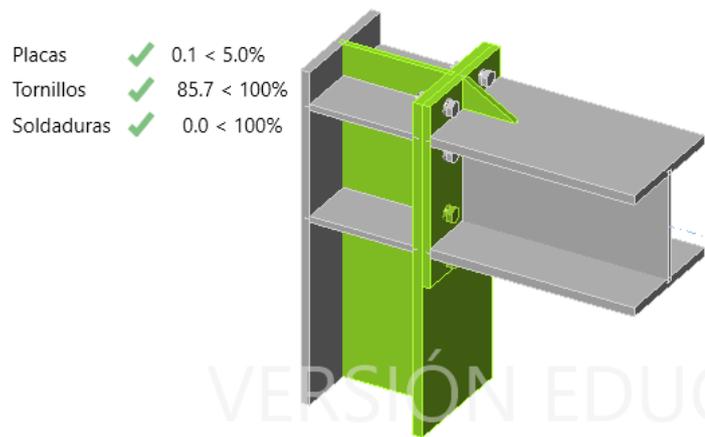


Figura 3.19. Verificación de la resistencia de carga de conexión viga-columna.

En la Figura 3.19 se observa que con las variables asignadas todos los elementos de conexión no superan la capacidad de carga máxima, lo que significa que el diseño de la conexión viga-columna es satisfactoria.

b) Esfuerzos equivalentes de conexión

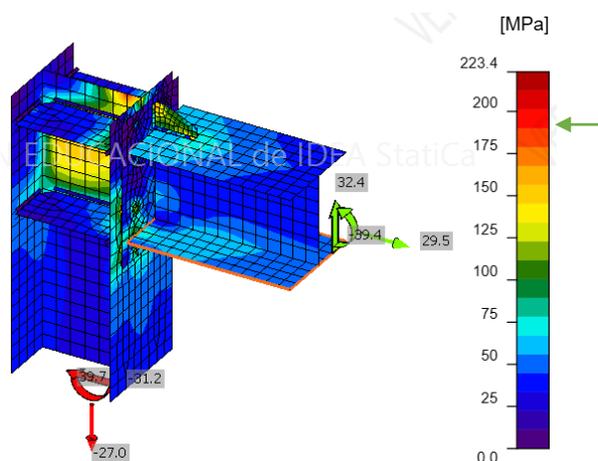


Figura 3.20. Esfuerzos en elementos de cnexión viga-columna.

Tabla 3.9. Esfuerzos máximos y mínimos en conexión viga-columna.

Máximo [MPa]	Mínimo [MPa]
190.43	6.10

c) Factor de seguridad

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{190.43 \text{ MPa}}$$
$$n_{min} = 1.31$$

Los miembros de la conexión en la zona más crítica tienen un factor de seguridad de 1.31, por lo tanto, si es factible utilizar la conexión precalifica End Plate 4ES en las conexiones viga-columna de la estructura.

- **Conexiones soporte-columna**

Los miembros utilizados como soportes de la estructura no están expuestos a grandes cargas, sino que funcionan como estabilizadores. Las magnitudes de las fuerzas y momentos resultado de la acción del actuador hidráulico, al igual que sus direcciones se muestran en la Figura 3.21.



Figura 3.21. Fuerzas y momentos en conexión columna-soporte.

Las magnitudes y direcciones de las fuerzas y momentos se muestran de manera más detallada en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Fuerzas y momentos que actúan en la conexión columna-soporte.

Elemento	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
Columna S.	25.7	0.0	31.2	0.0	-13.6	0.0
Columna I.	-21.9	0.0	-28.8	0.0	13.6	0.0
Soporte	2.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

Una vez conocido estos valores de fuerzas y momentos que actúan sobre los elementos, mediante la simulación se ha visto factible utilizar la conexión que se muestra en la figura 3.22.

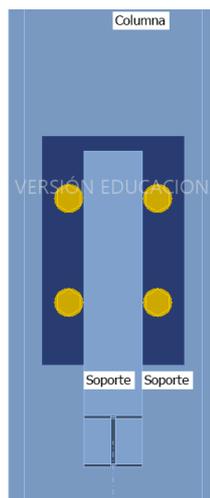


Figura 3.22. Configuración de conexión columna-soporte.

Los parámetros los componentes de la conexión se muestran a continuación:

a) Placas extremas de conexión

El ancho de esta placa debe ser igual o mayor que el ancho del patín de perfil del soporte y la altura mayor a la altura de la sección del perfil.

En la estructura se ocupan una placa en cada lado del alma de la columna y estarán ajustados con los mismos pernos. Su espesor y dimensiones se presentan detalladamente en el Anexo 6.

b) Selección de pernos

Los pernos utilizados tienen un diámetro de 12.7 mm y tienen una resistencia a tensión de 58.9 kN. Las fuerzas generadas en los pernos no deben exceder este valor para que trabajen con un factor de seguridad aceptable.

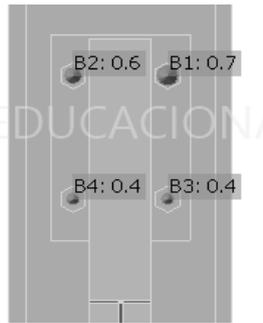


Tabla 3.23. Fuerzas de tensión de pernos en conexión columna-soporte.

Como se puede observar en la Figura 3.23 las fuerzas de los pernos no superan el valor máximo de capacidad de carga de 58.9 kN.

c) Soldadura en la conexión

La norma recomienda que todas las juntas deben ser soldadas con de penetración completa sin usar placa de respaldo. Los detalles se muestran en el Anexo 4.

• **Simulación de conexión columna-soporte**

A continuación se detallan conexión seleccionada y se ingresan en el software los parámetros calculados y seleccionados previamente, los mismos que son:

- Placa de conexión extrema : Altura = 200 mm; Ancho = 125 mm; e = 6 mm
- Pernos A325: d = 12.7 mm

a) Análisis de resistencia a las cargas



Figura 3.24. Verificación de la resistencia de carga de conexión columna-soporte.

En la Figura 3.24 se observa que con las variables asignadas todos los elementos de unión no superan la capacidad de resistencia de carga máxima.

b) Esfuerzos equivalentes de conexión

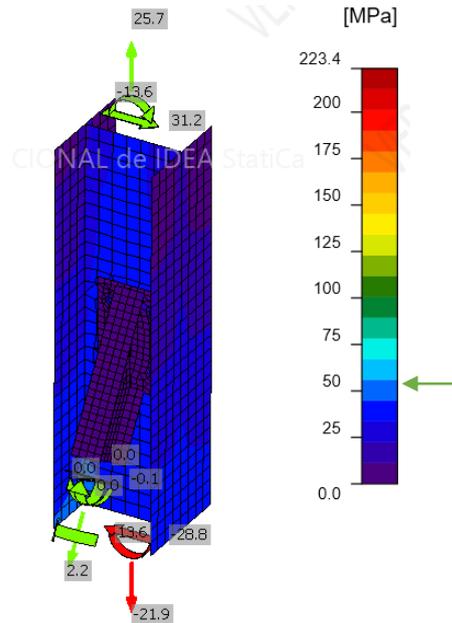


Figura 3.25. Esfuerzos en elementos de conexión columna-soporte.

Tabla 3.11. Esfuerzos máximos y mínimos en conexión columna-soporte.

Máximo [MPa]	Mínimo [MPa]
52.9	5.1

c) Factor de seguridad

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{52.9 \text{ MPa}}$$

$$n_{min} = 4.73$$

La conexión tiene un factor de seguridad mínimo de 4.73, por lo tanto, si es factible utilizar esta configuración en las cuatro conexiones columna-soporte de la estructura.

- **Conexiones placas base de columnas**

La fijación de la estructura al piso es uno de los procesos más importantes para evitar que los miembros estructurales sufran desplazamientos en las zonas de las bases.

Las reacciones y momentos que se generan en la base de la estructura se muestran a continuación en la Figura 3.26.

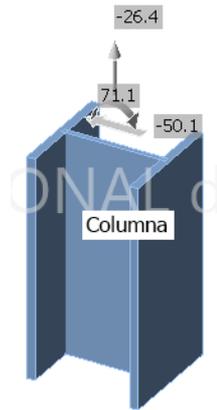


Figura 3.26. Reacciones en base de columna.

Las magnitudes y direcciones de reacciones que se ejercen en las bases de las columnas se muestran de manera más detallada en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12. Reacciones en base de columna.

Elemento	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
Base columna	26.4	0.0	50.2	0.0	71.1	0.0

En base a las reacciones generadas en la base de la columna se procede a diseñar la conexión y se simula en el software especializado. Los parámetros necesarios para la simulación se detallan a continuación:

a) Placa base

La placa base tiene un espesor de 1/2" y material ASTM A36. Las dimensiones y ubicación de pernos expansivos se presentan en el Anexo 6.

b) Placas rigidizadoras

- Largo de placa rigidizadora

El largo de la placa rigidizadora de la columna depende directamente del ancho total de la placa base.

Ancho de placa rigidizadora: 80 mm

- Altura de placa rigidizadora

$$L_{pr} = \frac{80 \text{ mm}}{\tan 30^\circ} = 140 \text{ mm} //$$

- Espesor de placa rigidizadora

$$t_{pr} \geq 9 \text{ mm} * \left(\frac{250 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}} \right)$$

$$t_{pr} \geq 9 \text{ mm} //$$

Se utiliza un espesor de 10 mm para las placas rigidizadoras en la conexión.

c) Cimentación

En la cimentación se recomienda utilizar un hormigón de alta resistencia de características industriales que posea una resistencia a la compresión de 240 kg/cm².

• Simulación de conexiones de anclajes de columnas

A continuación se detallan los parámetros calculados y seleccionados previamente para la conexión que tiene la configuración que se muestra en la Figura 3.27, los mismos que son:

- Placa base : Ancho = 320 mm; Largo = 320 mm; e = 12.7 mm
- Placa rigidizadora: Ancho = 80 mm; Altura = 140 mm; e = 10 mm

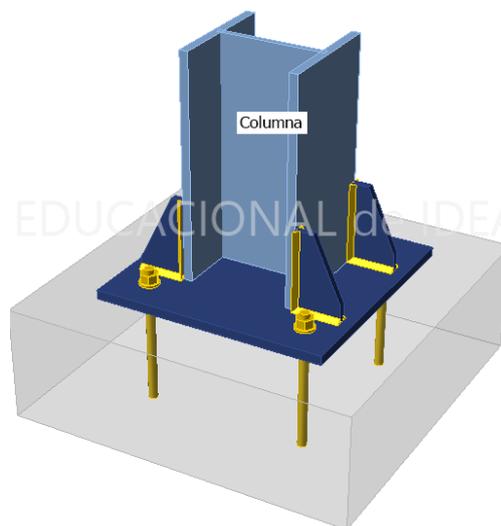


Figura 3.27. Conexión de anclajes de columnas.

Resultados obtenidos del software:

Mediante la utilización del software verificaremos la resistencia de las placas asignadas y esfuerzos máximos y mínimos que se generan en la conexión, para luego seleccionar los pernos expansivos en el catálogo.

a) Análisis de resistencia a las cargas

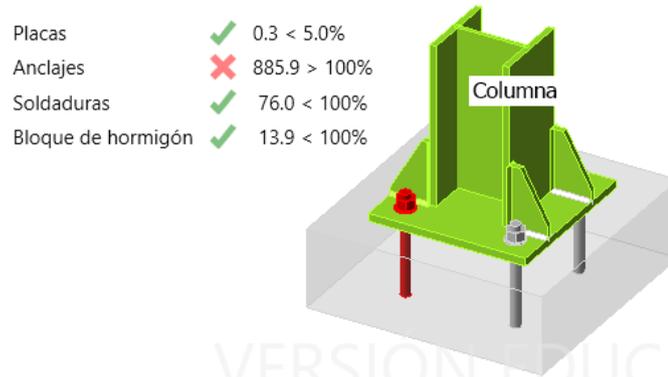


Figura 3.28. Verificación de la resistencia de carga de placas base de columnas.

Como se observa en la Figura 3.28 las placas de anclaje y los rigidizadores resisten las reacciones resultantes de la acción del actuador hidráulico sobre la estructura.

b) Esfuerzos equivalentes de conexión

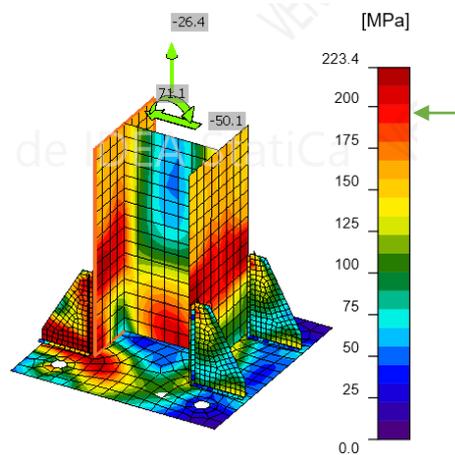


Figura 3.29. Esfuerzos en elementos de anclaje de columnas.

Tabla 3.13. Esfuerzos máximos y mínimos en conexión de anclaje de columnas.

Máximo [MPa]	Mínimo [MPa]
192.4	25

c) Factor de seguridad

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{192.4 \text{ MPa}}$$
$$n_{min} = 1.30$$

La conexión tiene un factor de seguridad mínimo de 1.3, por lo tanto, si es factible utilizar las placas y rigidizadores asignados a las dos columnas de la estructura.

d) Selección de pernos expansivos de anclaje

Mediante las fuerzas de tracción en los tornillos que se obtuvieron del software, se procede a seleccionar en el catálogo técnico de Hilti los tornillos expansivos que resistan una capacidad de carga mayor a la fuerza máxima de tracción máxima que se muestra en la en la Figura 3.30.

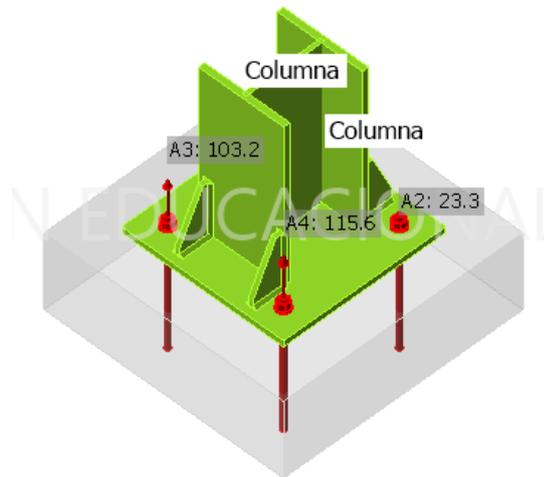


Figura 3.30. Fuerzas de tracción en tornillos de anclaje de columnas.

Los parámetros que se van a tomar en cuenta para la selección de la mejor alternativa de tornillo expansivo de anclaje se muestran a continuación:

Nº Tornillos por placa base: 4 Tornillos

Tipo de tornillos Hilti: Anclaje de expansión HSL-3

Carga máxima de tracción en tornillos: 115.6 kN

Entonces teniendo en cuenta estos parámetros se selecciona en la Tabla 3.14 el tornillo que cumpla con las especificaciones mencionadas.

Tabla 3.14. Resistencia de diseño del acero para anclajes HSL-3 de columnas [54].

Nominal Diámetro del anclaje	HSL-3, HSL-3-B, HSL-3-SK, HSL-3-SH		
	Tensión ³ ϕN_{sa} lb (kN)	Corte ⁴ ϕV_{sa} lb (kN)	Corte Sísmico ⁵ ϕV_{sa} lb (kN)
M8	4,960 (22.1)	4,705 (20.9)	2,995 (13.3)
M10	7,830 (34.8)	6,650 (29.6)	5,495 (24.4)
M12	11,395 (50.7)	9,570 (42.6)	7,730 (34.4)
M16	21,140 (94.0)	17,360 (77.2)	16,115 (71.7)
M20	33,060 (147.1)	25,690 (114.3)	18,940 (84.2)
M24	47,590 (211.7)	29,870 (132.9)	24,810 (110.4)

Se ha seleccionado el tornillo M20 x 213 de acero al carbono que resiste una carga de tensión de 147.1 kN. En el Anexo 2 y 3 se especifican los parámetros de instalación de los tornillos de expansión seleccionados.

- **Conexiones placas base de soportes**

Las reacciones y momentos que se generan en la base de los soportes de la estructura se muestran a continuación en la Figura 3.31.

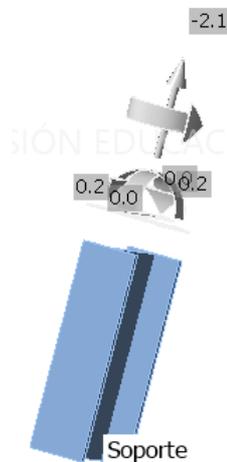


Figura 3.31. Reacciones en base de soporte.

Las magnitudes y direcciones de reacciones que se ejercen en las bases de los soportes se muestran de manera más detallada en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15. Reacciones en base de soporte.

Elemento	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
Base columna	2.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2

En base a las reacciones generadas en la base de la columna se procede a diseñar la conexión y se simula en el software especializado. Los parámetros necesarios para la simulación se detallan a continuación:

a) Placa base

La placa base tiene un espesor de 6 mm y material ASTM A36. Las dimensiones y ubicación de pernos expansivos se presentan en el Anexo 6.

b) Cimentación

En la cimentación se recomienda utilizar un hormigón de alta resistencia de características industriales que posea una resistencia a la compresión de 240 kg/cm^2 .

• **Simulación de conexiones de anclaje de soportes**

La configuración de la conexión se muestra en la Figura 3.32, los mismos que son:

- Placa base : Ancho = 150 mm; Largo = 150 mm; e = 6 mm
- Cimentación: Profundidad: 150 mm; Ancho: 250 mm

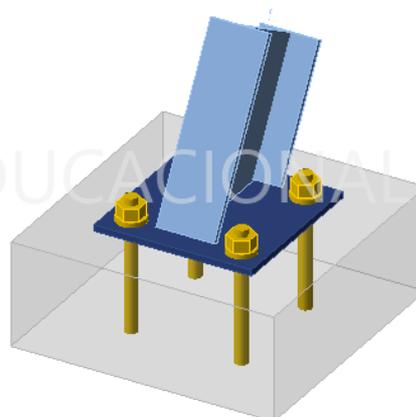


Figura 3.32. Conexión de anclaje de soportes.

Resultados obtenidos del software:

a) Análisis de resistencia a las cargas

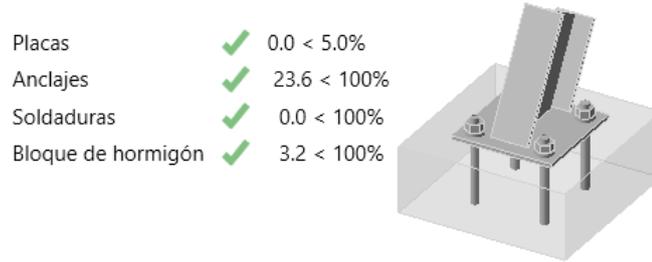


Figura 3.33. Verificación de la resistencia de carga en anclaje de soportes.

Como se observa en la Figura 3.33 la conexión de anclaje de los soportes de la estructura resiste las fuerzas de reacción.

b) Esfuerzos equivalentes de conexión

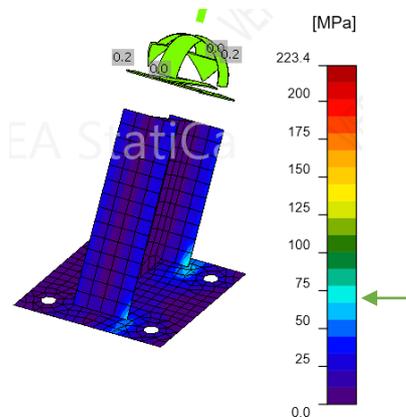


Figura 3.34. Esfuerzos en elementos en anclaje de soportes.

Tabla 3.16. Esfuerzos máximos y mínimos en anclaje de soportes.

Máximo [MPa]	Mínimo [MPa]
66.2	12.8

c) Factor de seguridad

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{66.2 \text{ MPa}}$$

$$n_{min} = 3.78$$

La conexión tiene un factor de seguridad mínimo de 3.78, por lo tanto, si es factible utilizar las placas asignados a los cuatro soportes de la estructura.

d) Selección de tornillos expansivos de anclaje

La resistencia de carga de los tornillos de anclaje debe mayor a la fuerza máxima de tracción que se muestra en la en la Figura 3.35, para seleccionar el tornillo ideal se usa el catálogo técnico de Hilti.

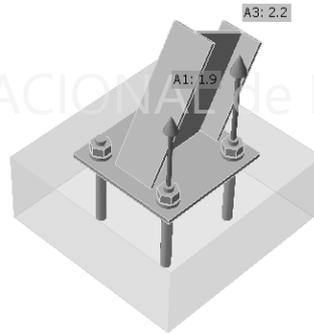


Figura 3.35. Fuerzas de tracción en tornillos de anclaje de soportes.

Los parámetros que se van a tomar en cuenta para la selección de la mejor alternativa de tornillo expansivo de anclaje se muestran a continuación:

Nº Tornillos por placa base: 4 Tornillos

Tipo de tornillos Hilti: Anclaje de expansión HSL-3

Carga máxima de tracción en tornillos: 2.2 kN

Entonces teniendo en cuenta estos parámetros se selecciona en la Tabla 3.17 el tornillo que cumpla con las especificaciones mencionadas.

Tabla 3.17. Resistencia de diseño del acero para anclajes HSL-3 de soportes [54].

Nominal Diámetro del anclaje	HSL-3, HSL-3-B, HSL-3-SK, HSL-3-SH		
	Tensión ³ ϕN_{sa} lb (kN)	Corte ⁴ ϕV_{sa} lb (kN)	Corte Sísmico ⁵ ϕV_{sa} lb (kN)
M8	4,960 (22.1)	4,705 (20.9)	2,995 (13.3)
M10	7,830 (34.8)	6,650 (29.6)	5,495 (24.4)
M12	11,395 (50.7)	9,570 (42.6)	7,730 (34.4)

Se ha seleccionado el tornillo M8 x 98 mm de acero al carbono que resiste una carga de tensión de 22.1 kN. En el anexo 2 y 3 se especifican los parámetros de instalación de los tornillos de expansión seleccionados.

3.3.3. Diseño de soportes de actuador hidráulico

El actuador hidráulico se encuentra anclado a la columna y a la muestra de ensayo mediante soportes que permite moverse libremente al momento de realizar una prueba. Para su estudio se ha tomado una sección de la columna en donde se encuentra el soporte como se observa en la Figura 3.36.

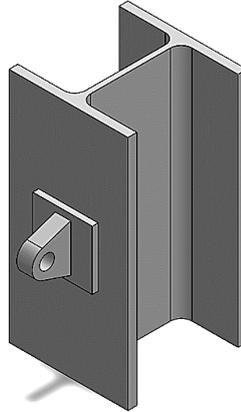


Figura 3.36. Soporte de cilindro hidráulico.

Las cargas que soporta el soporte son: el peso del cilindro hidráulico y la carga cíclica aplicada lentamente por el sistema hidráulico.

Peso del actuador hidráulico:

$$W_{Actuador} = 196 \text{ N}$$

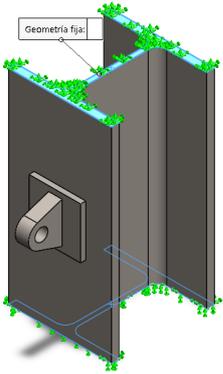
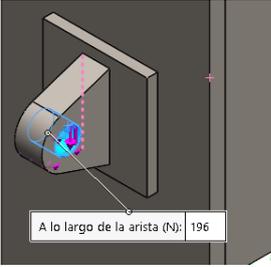
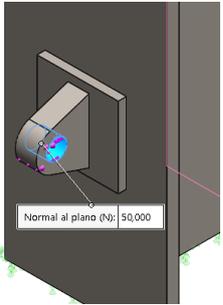
Fuerza que ejerce el actuador hidráulico:

$$F_{A.H} = 50000 \text{ N}$$

Para el análisis tomado en cuenta la carga máxima que se ejerce el actuador sobre la muestra de ensayo en un tiempo determinado, puesto que no se reflejarían cambios significativos si se aplicara lentamente las cargas cíclicas en el sujetador.

Teniendo en cuentas los parámetros establecidos se procede a analizar en el software el comportamiento del soporte a las cargas establecidas. El soporte será fabricado de acero ASTM A36 y sus dimensiones se detallan en el Anexo 6. En la Tabla 3.18 se detallan las condiciones de carga del soporte.

Tabla 3.18. Condiciones de carga del soporte del actuador hidráulico.

<p>Sujeciones</p>	
<p>Peso de actuador hidráulico</p>	
<p>Fuerza máxima de empuje de actuador</p>	

Resultados del análisis en el software:

a) Tensiones de Von Mises

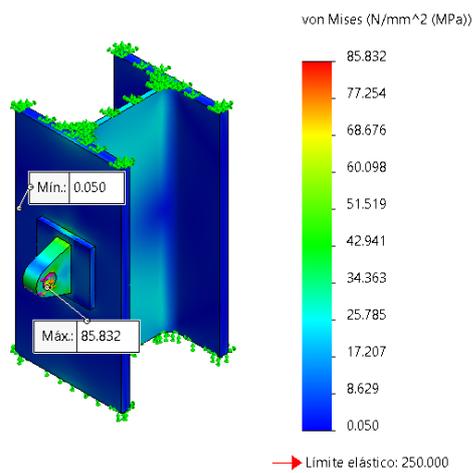


Figura 3.37. Tensiones de Von Mises en soporte del actuador hidráulico.

Tabla 3.19. Tensiones en el soporte del actuador hidráulico.

Máximo [MPa]	Mínimo [MPa]
85.83	0.024

b) Desplazamientos

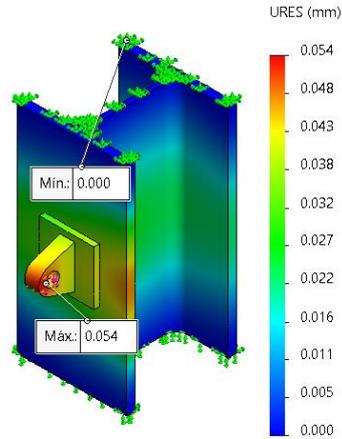


Figura 3.38. Desplazamientos en el soporte del actuador hidráulico.

Tabla 3.20. Desplazamientos en el soporte del actuador hidráulico.

Máximo [mm]	Mínimo [mm]
0.054	0.005

c) Factor de seguridad

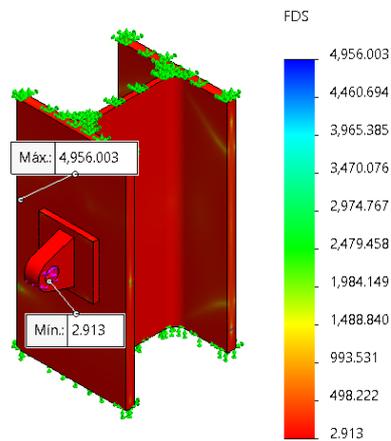


Figura 3.39. Factores de seguridad en el soporte del actuador hidráulico.

Tabla 3.21. Factores de seguridad en el soporte del actuador.

Máximo	Mínimo
4956	2.91

Los soportes resisten las cargas que ejerce el actuador hidráulico con un factor de seguridad aceptable, es decir que, el diseño de los soportes si son recomendables para construir estos soportes para realizar las pruebas. El soporte que va en la columna va soldado, mientras que para el soporte que se ancla en la muestra de ensayo va empernado con tornillos de 1/2" para que resistan el diseño.

3.3.4. Comprobación del diseño de la estructura

El diseño de este tipo de estructuras no debe conformarse en la utilización de un solo software, sino más bien lo primordial es verificar si el diseño cumple los requerimientos mediante la utilización de otros softwares especializados más precisos con la finalidad de comprobar la similitud de sus resultados y con esto evidenciar si es necesario realizar alguna clase de reforzamiento.

El primer paso para realizar el diseño y simulación en este software CAD debemos dibujar y ensamblar la estructura en su totalidad, haciendo uso de las conexiones y elementos anteriormente diseñados como se muestra en la Figura 3.40.

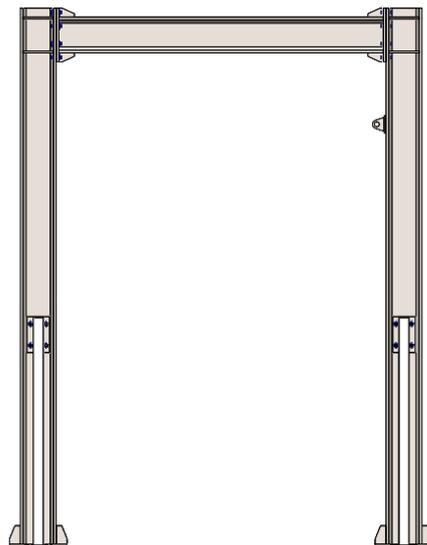


Figura 3.40. Ensamble de componentes de estructura.

Posteriormente se deben indicar los elementos de unión, contactos y las condiciones de carga que actúan en la estructura; cabe mencionar que como el actuador hidráulico ejerce una presión cíclica de izquierda a derecha sobre la estructura, es de suma importancia realizar un estudio estático para los dos casos, tomando en cuenta la fuerza máxima de empuje y el peso de este.

Peso del actuador hidráulico:

$$W_{Actuador} = 196 \text{ N}$$

Fuerza de empuje que ejerce el actuador hidráulico:

$$F_{A.H} = 50000 \text{ N}$$

Se procede a analizar en el software el comportamiento de los elementos de la estructura bajo las condiciones de carga se muestran en la Tabla 3.22.

Tabla 3.22. Condiciones de carga en la estructura.

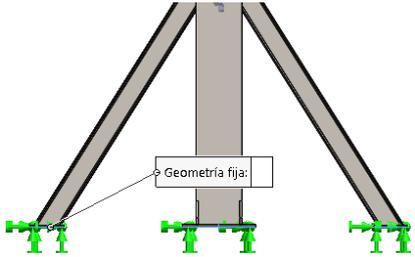
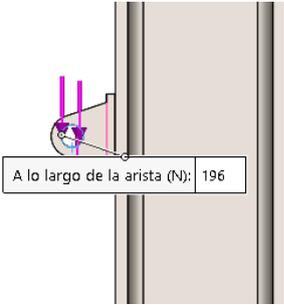
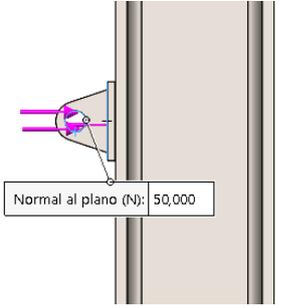
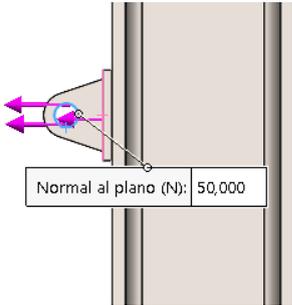
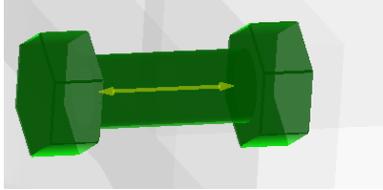
<p>Sujeciones</p>	
<p>Peso de actuador hidráulico</p>	
<p>Fuerza máxima de empuje de actuador hacia la derecha.</p>	
<p>Fuerza máxima de empuje de actuador hacia la izquierda.</p>	

Tabla 3.22. Condiciones de carga en la estructura, continuación.

<p>Elementos de unión pernos A325 de 1/2"</p> <ul style="list-style-type: none"> - Resistencia 828 MPa - Pretensión 4000 lbf 	
--	--

1) Resultados de la simulación del pórtico de la estructura con carga horizontal hacia la derecha:

Para ejecutar el análisis de la estructura en el software, se asignan las condiciones de carga que se muestran en la Tabla 3.22, tomando en cuenta la dirección que actúa la carga.

a) Tensiones de Von Mises

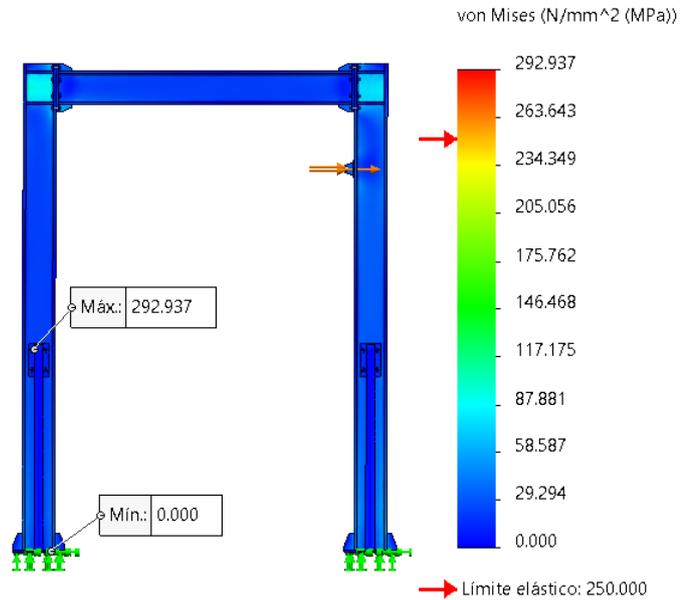


Figura 3.41. Tensiones en la estructura con carga a la derecha.

Tabla 3.23. Tensiones en la estructura con carga a la derecha.

Máximo [MPa]	Mínimo [MPa]
292.94	29.29

En la Figura 3.41 se detalla la zona en donde existe una gran concentración de esfuerzos con un valor de 292.94 MPa, por lo que esta zona será prioridad a tomar en cuenta al momento de hacer una modificación de la estructura.

b) Desplazamientos

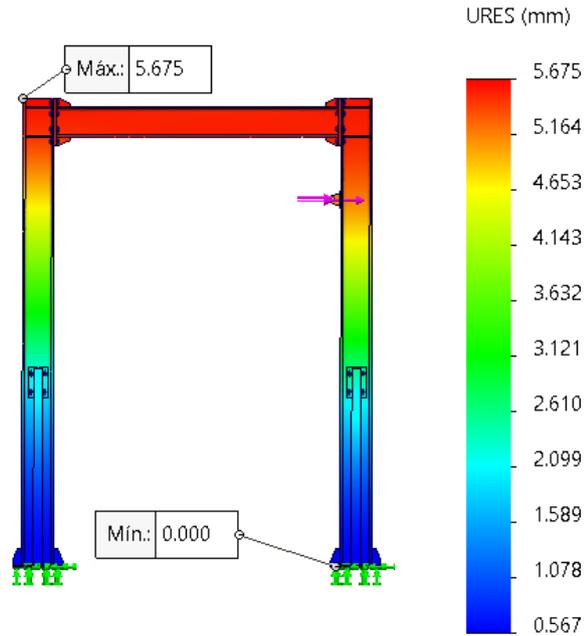


Figura 3.42. Desplazamientos en estructura con carga a la derecha.

Tabla 3.24. Desplazamientos en estructura con carga a la derecha.

Máximo [mm]	Mínimo [mm]
5.68	0.567

c) Factor de seguridad

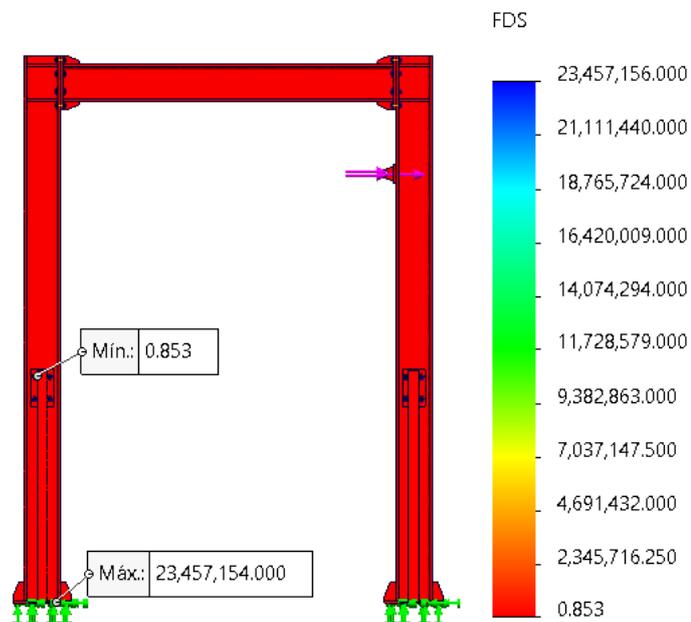


Figura 3.43. Factores de seguridad en la estructura con carga a la derecha.

Tabla 3.25. Factores de seguridad en la estructura con carga a la derecha.

Máximo	Mínimo
23,457,156	0.853

Luego de la ejecución del análisis, en la Figura 3.43 se puede observar que para la condición de carga máxima que ejerce el actuador hidráulico hacia la derecha no se cumple el factor de seguridad mínimo necesario para aprobar el diseño.

d) Comprobación de pernos

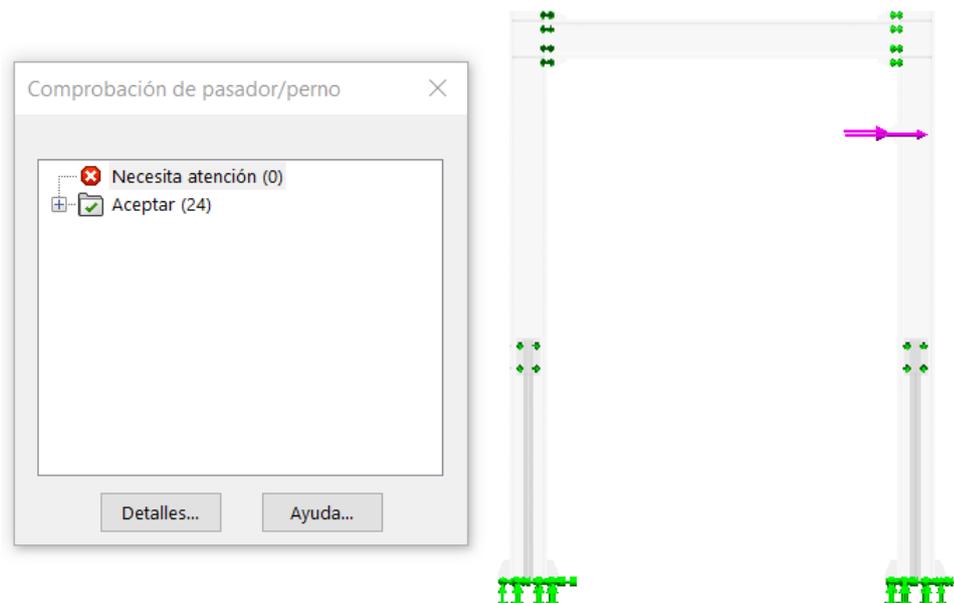


Figura 3.44. Comprobación de pernos en estructura con carga a la derecha.

Según el estudio de elementos finitos enfocada a los pernos de unión A325 de 1/2” de diámetro, se deduce que para las condiciones de trabajo establecidas todos los pernos resisten con un factor de seguridad promedio de 5.

2) Resultados de la simulación del pórtico de la estructura con carga horizontal hacia la izquierda:

Se procede a analizar en el software el comportamiento de los elementos de la estructura bajo las condiciones de carga se muestran en la Tabla 3.22, tomando en cuenta la dirección que actúa la carga.

a) Tensiones de Von Mises

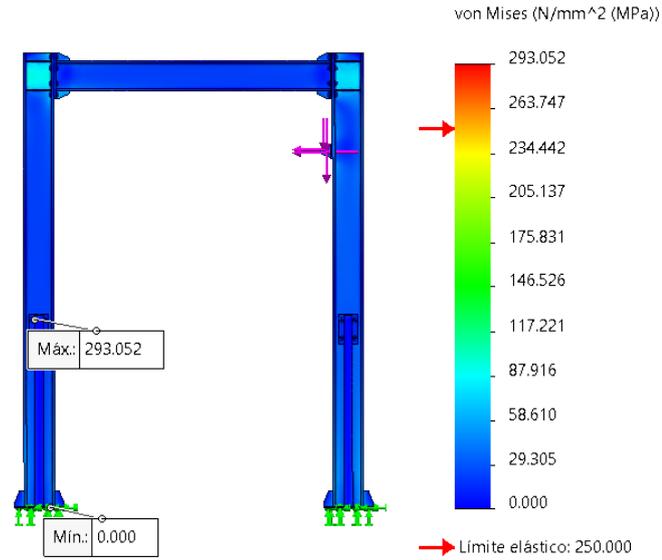


Figura 3.45. Tensiones en la estructura con carga a la izquierda.

Tabla 3.26. Tensiones en la estructura con carga a la izquierda.

Máximo [MPa]	Mínimo [MPa]
293.05	29.31

En la Figura 3.45 se detalla la zona en donde existe una gran concentración de esfuerzos que tiene un valor de 293.05 MPa, por lo que esta zona será prioridad a tomar en cuenta al momento de hacer una modificación de la estructura.

b) Desplazamientos

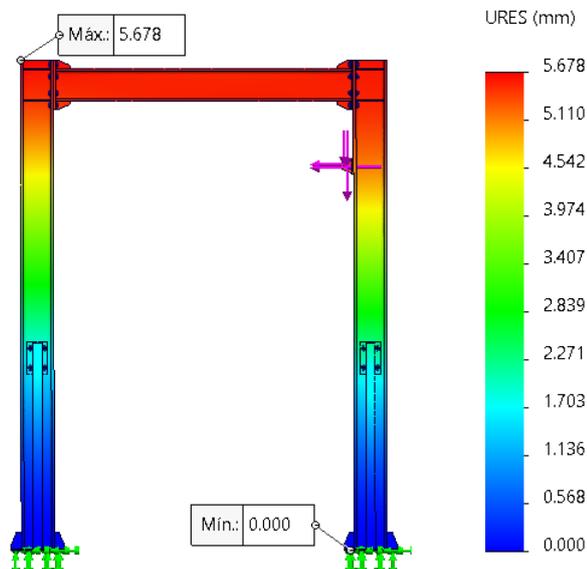


Figura 3.46. Desplazamientos en estructura con carga a la izquierda.

Tabla 3.27. Desplazamientos en estructura con carga a la izquierda.

Máximo [mm]	Mínimo [mm]
5.68	0.568

c) Factor de seguridad

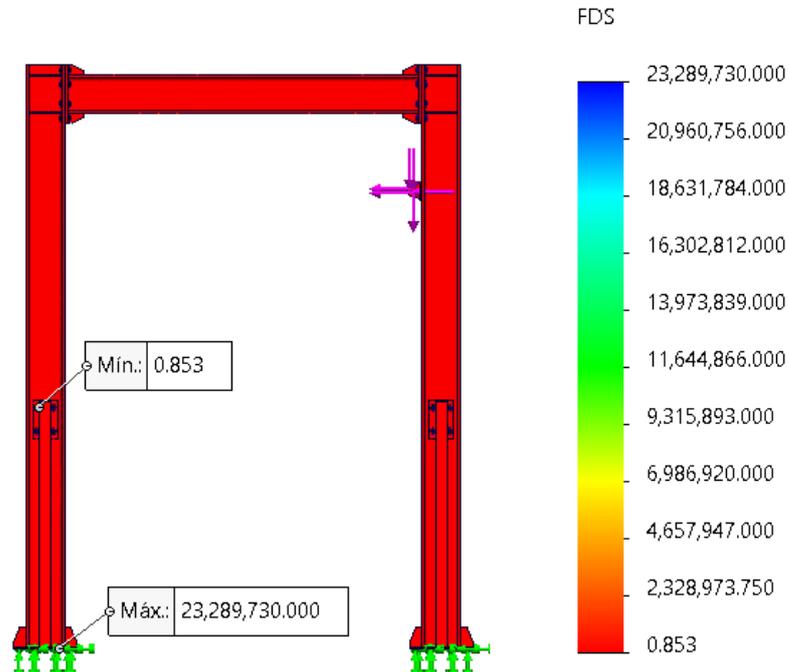


Figura 3.47. Factores de seguridad en la estructura con carga a la izquierda.

Tabla 3.28. Factores de seguridad en la estructura con carga a la izquierda.

Máximo	Mínimo
23,289,730	0.853

Luego de realizar un análisis más detallado de la estructura mediante el software CAE, en la Figura 3.47 se puede observar que para la condición de carga máxima que ejerce el actuador hidráulico hacia la izquierda y hacia la derecha no se cumple el factor de seguridad mínimo necesario para aprobar el diseño, por tal motivo es necesario reforzar la estructura con un soporte paralelo al eje en donde se aplica la carga. En la sección 3.3.5 se procesa a analizar la estructura aplicando la nueva configuración.

d) Comprobación de pernos

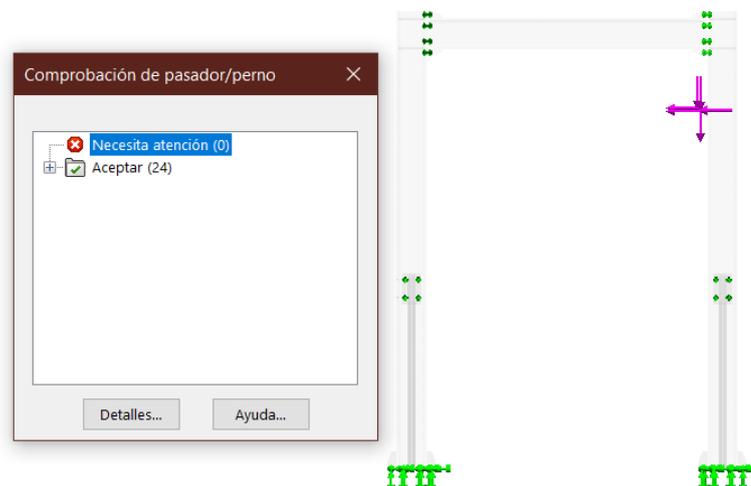


Figura 3.48. Comprobación de pernos en estructura con carga a la izquierda.

Según el estudio de elementos finitos enfocada a los pernos de unión A325 de 1/2" de diámetro, se deduce que para las condiciones de trabajo establecidas todos los pernos resisten con un factor de seguridad promedio de 5.

3.3.5. Estudio y verificación de estructura reforzada

El primer paso para realizar el diseño y simulación en este software CAD debemos dibujar y ensamblar la estructura en su totalidad, haciendo uso de las conexiones y elementos anteriormente diseñados como se muestra en la Figura 3.49.

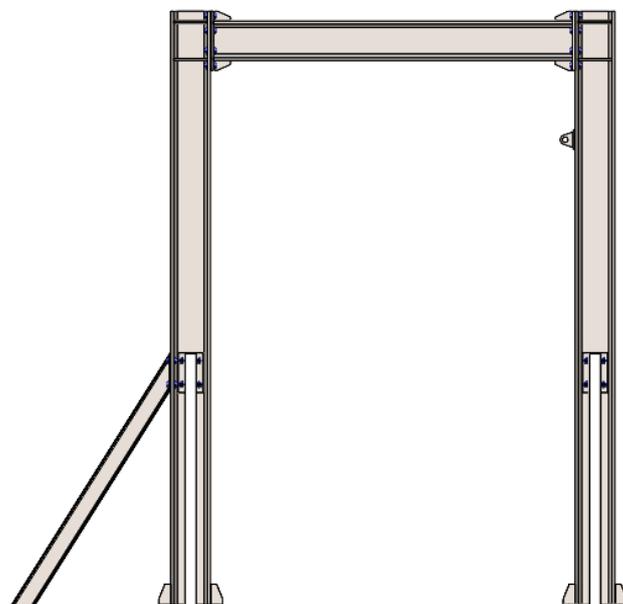


Figura 3.49. Ensamble de refuerzo en estructura.

1) Resultados de la simulación del pórtico de la estructura reforzada con carga horizontal hacia la derecha:

Para ejecutar el análisis de la estructura reforzada en el software, se asignan las condiciones de carga que se muestran en la Tabla 3.22, tomando en cuenta la dirección en que actúa la carga.

a) Tensiones de Von Mises

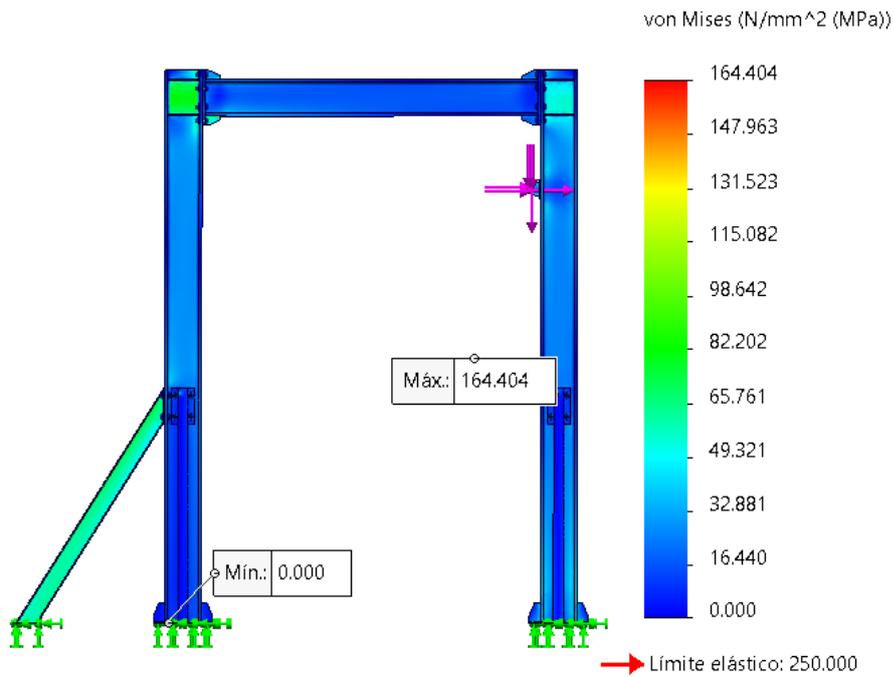


Figura 3.50. Tensiones en la estructura reforzada con carga a la derecha.

Tabla 3.29. Tensiones en la estructura reforzada con carga a la derecha.

Máximo [MPa]	Mínimo [MPa]
164.40	16.44

Como se puede evidenciar en la Figura 3.50 en la estructura reforzada la tensión disminuyó de 292.94 MPa a 164.40 MPa, lo que significa que el valor se encuentra por debajo del límite elástico del acero ASTM A36 que tiene un valor de 250MPa.

b) Desplazamientos

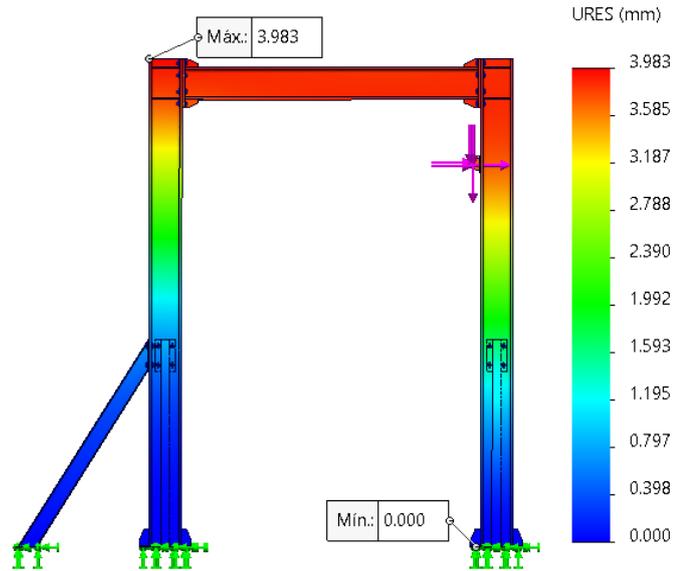


Figura 3.51. Desplazamientos en estructura reforzada con carga a la derecha.

Tabla 3.30. Desplazamientos en estructura reforzada con carga a la derecha.

Máximo [mm]	Mínimo [mm]
3.98	0.389

En la estructura con refuerzo el desplazamiento disminuyo de 5.68 mm a 3.98 mm como se observa en la Figura 3.51.

c) Factor de seguridad

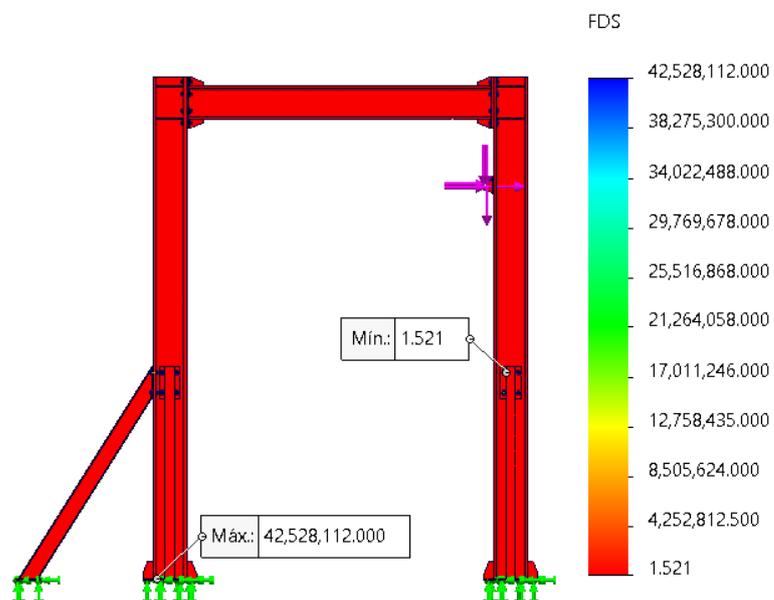


Figura 3.52. Factores de seguridad en la estructura reforzada con carga a la derecha.

Tabla 3.31. Factores de seguridad en la estructura reforzada con carga a la derecha.

Máximo	Mínimo
42,528,112	1.52

Luego de la ejecución del análisis de la estructura aplicando el refuerzo se ha constatado que el factor de seguridad incremento de 0.853 a 1.52, lo que significa que el nuevo diseño en el cual se ha aplicado el reforzamiento cumple los requerimientos para las condiciones de trabajo establecidas.

d) Comprobación de pernos

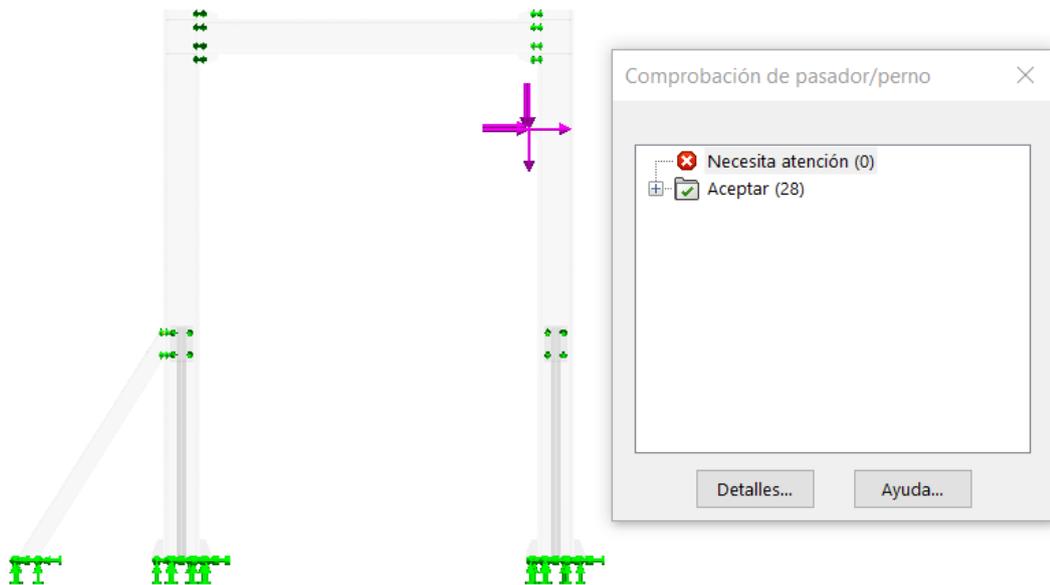


Figura 3.53. Comprobación de pernos en estructura reforzada con carga a la derecha.

En la Figura 3.53 se indica el estudio de elementos finitos enfocada a los pernos de unión A325 de 1/2" de diámetro, con lo cual se deduce que para las condiciones establecidas todos los pernos resisten con un factor de seguridad promedio de 5.

e) Resultados de la simulación del pórtico de la estructura con carga horizontal hacia la izquierda:

Para ejecutar el análisis de la estructura reforzada en el software, se asignan las condiciones de carga que se muestran en la Tabla 3.22, tomando en cuenta la dirección en que actúa la carga.

a) Tensiones de Von Mises

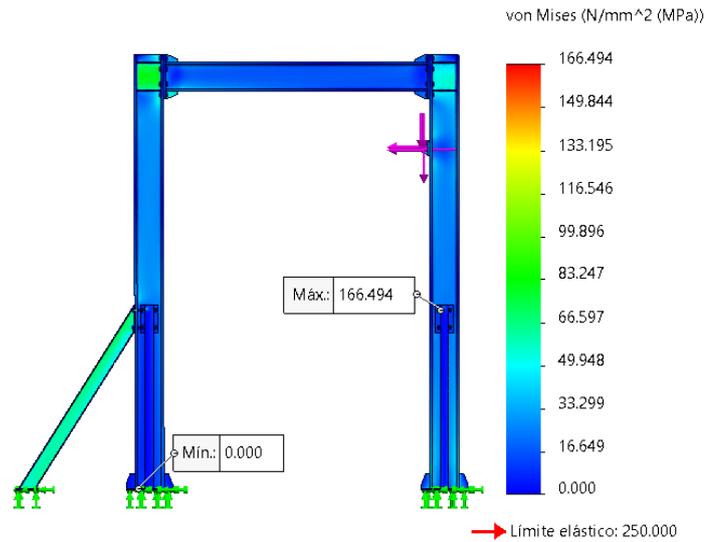


Figura 3.54. Tensiones en la estructura reforzada con carga a la izquierda.

Tabla 3.32. Tensiones en la estructura reforzada con carga a la izquierda.

Máximo [MPa]	Mínimo [MPa]
166.49	16.65

Como se puede evidenciar en la Figura 3.54 en la estructura reforzada la tensión disminuyó de 293.05 MPa a 166.49 MPa, lo que significa que el valor se encuentra por debajo del límite elástico del acero ASTM A36 que tiene un valor de 250MPa.

b) Desplazamientos

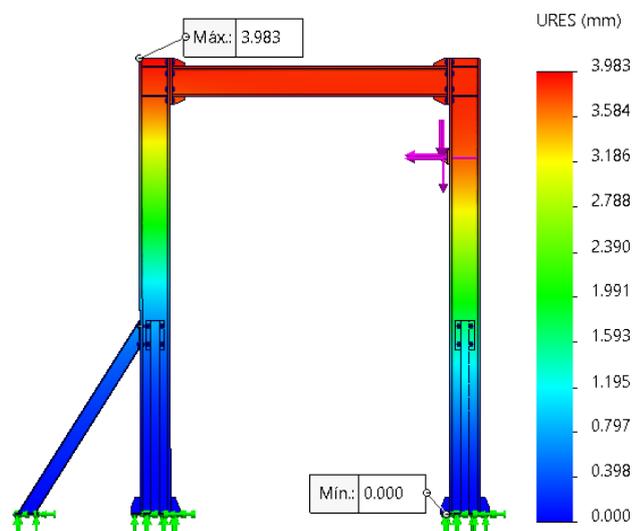


Figura 3.55. Desplazamientos en estructura reforzada con carga a la izquierda.

Tabla 3.33. Desplazamientos en estructura reforzada con carga a la derecha.

Máximo [mm]	Mínimo [mm]
3.98	0.398

En la estructura con refuerzo el desplazamiento disminuyo de 5.68 mm a 3.98 mm como se observa en la Figura 3.55.

c) Factor de seguridad

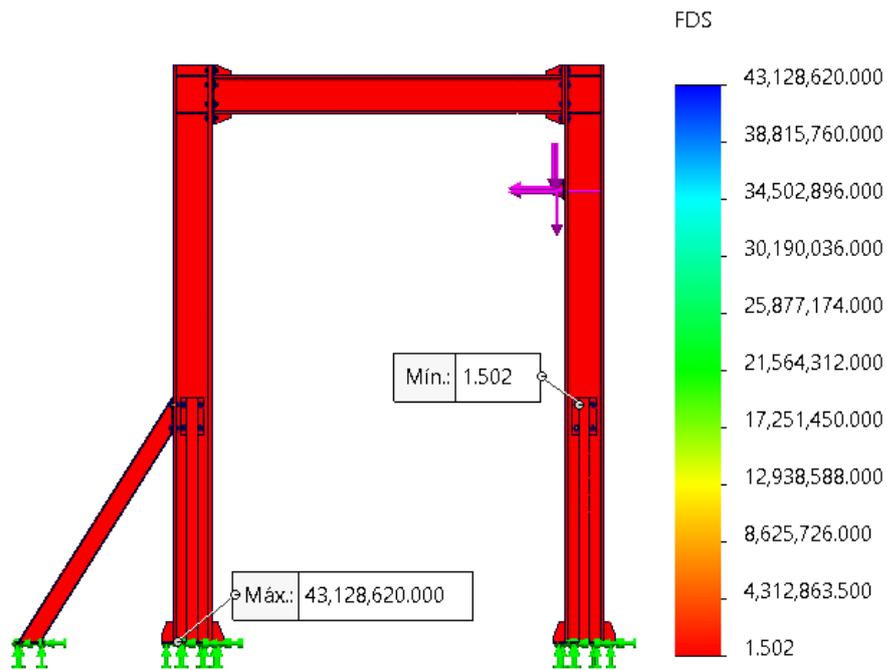


Figura 3.56. Factores de seguridad en la estructura reforzada con carga a la izquierda.

Tabla 3.34. Factores de seguridad en la estructura reforzada con carga a la izquierda.

Máximo	Mínimo
43,128,620	1.50

Luego de la ejecución del análisis de la estructura aplicando el refuerzo se ha constatado que el factor de seguridad incremento de 0.853 a 1.50, lo que significa que el nuevo diseño en el cual se ha aplicado el reforzamiento cumple los requerimientos para las condiciones de trabajo establecidas.

d) Comprobación de pernos

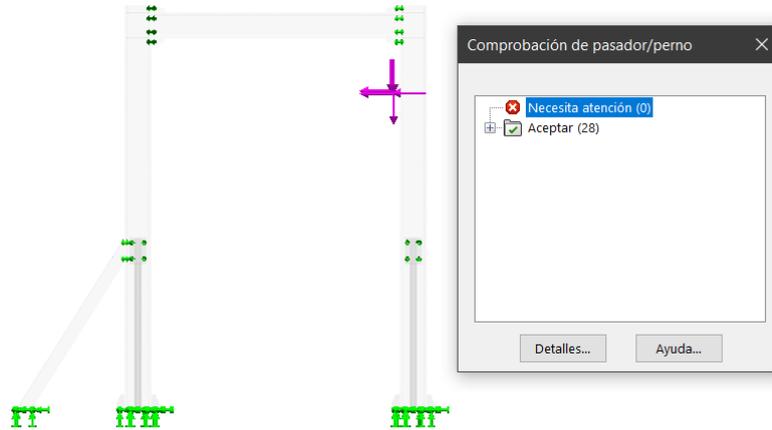


Figura 3.57. Comprobación de pernos en estructura con carga a la izquierda.

En la Figura 3.57 se indica el estudio de elementos finitos enfocada a los pernos de unión A325 de 1/2" de diámetro, con lo cual se deduce que para las condiciones establecidas todos los pernos resisten con un factor de seguridad promedio de 5.00.

Mediante un análisis más detallado de la estructura se ha constatado que muchas veces simular en un solo software no garantiza que los resultados sean totalmente válidos, como es en este caso que mediante el análisis por elementos finitos se encontró que en algunas de las zonas existe concentración de esfuerzos y que se necesita reforzar con un soporte en dirección de la aplicación de la carga.

3.3.6. Diseño de anclajes de muestra de ensayo

El subensamble de ensayo está anclado en vigas HEB200 mediante pernos de alta resistencia como se indica en la Figura 3.58.

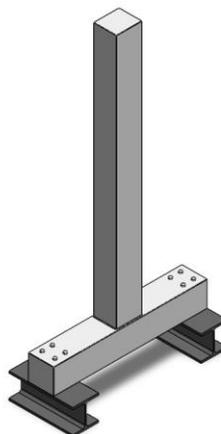


Figura 3.58. Soportes de muestra de ensayo.

Para el análisis del comportamiento de los soportes de la muestra de ensayo se han tomado en cuenta el peso y la carga máxima que genera el actuador hidráulico.

Peso del actuador hidráulico:

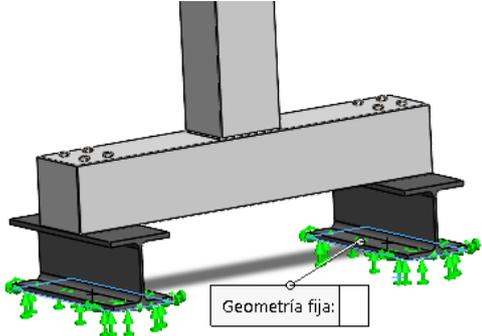
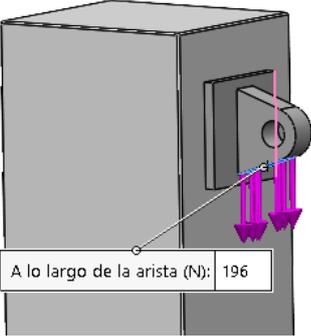
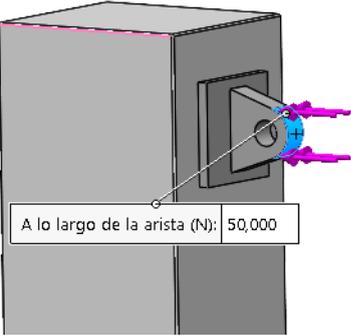
$$W_{Actuador} = 196 \text{ N}$$

Fuerza que ejerce el actuador hidráulico:

$$F_{A.H} = 50000 \text{ N}$$

Se procede a analizar en el software la reacción de los soportes bajo las condiciones de carga que se muestran en la Tabla 3.35.

Tabla 3.35. Condiciones de carga de los soportes de las muestras de ensayo.

<p>Sujeciones</p>	 <p>Geometría fija:</p>
<p>Peso de actuador hidráulico</p>	 <p>A lo largo de la arista (N): 196</p>
<p>Fuerza máxima de empuje de actuador</p>	 <p>A lo largo de la arista (N): 50,000</p>

Resultados de simulación de los soportes de las muestras de ensayo viga-columna:

- Tensiones de Von Mises

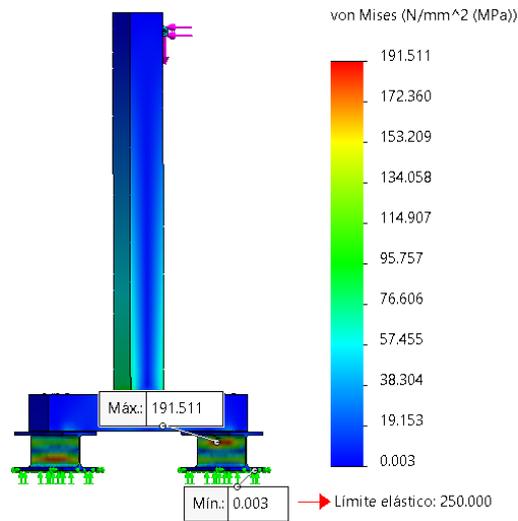


Figura 3.59. Tensiones de Von Mises en los soportes de las muestras de ensayo.

Tabla 3.36. Tensiones Max. y Min. en los soportes de las muestras de ensayo.

Máximo [MPa]	Mínimo [MPa]
191.511	0.003

- Factor de seguridad

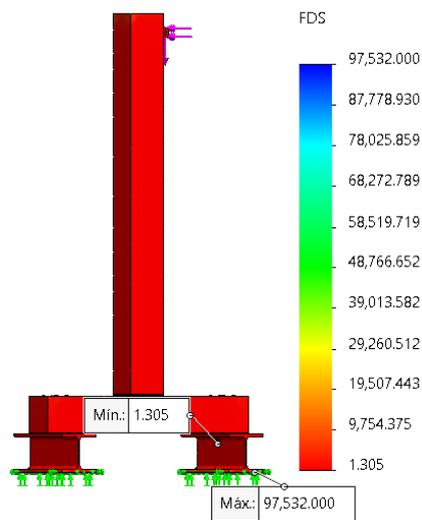


Figura 3.60. Factores de seguridad en los soportes de las muestras de ensayo.

Tabla 3.37. Factores Max. y Min. en los soportes de las muestras de ensayo.

Máximo	Mínimo
97,532	1.31

Con los parámetros asumidos los soportes resisten las condiciones de carga máximas que ejerce el actuador hidráulico con un factor de seguridad mínimo aceptable y sin que se generen desplazamientos considerables en los elementos. Para mayor seguridad se va a reforzar las vigas de soporte con 3 placas de continuidad de 10 mm de espesor de cada lado.

- **Tornillos de anclaje de soportes y sujeción de muestras de ensayo**

Para la selección de los tornillos de anclaje de soportes y sujeción de muestras de ensayo se ha obtenido las reacciones que se generan en las bases de los soportes.

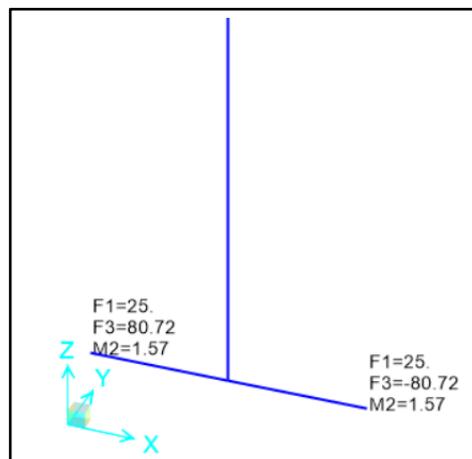


Figura 3.61. Reacciones en bases de soportes de las muestras de ensayo.

Como se observa en la Figura 3.61 la fuerza máxima de tracción que deben soportar los tornillos de anclaje es de 80.72 kN y una fuerza cortante de 25 kN, por tal razón se utilizará tornillos expansivos HILTI de diámetro M16, que tienen resistencia a la tensión de 94 kN y resistencia al corte de 77.2 kN.

En el caso de la sujeción de la muestra de ensayo se utilizará tornillos doble rosca que tengan una resistencia a la tensión mayor a 80.72 kN. Los tornillos usados son los pernos de alta resistencia de 5/8 in que tienen una resistencia a tensión de 92 kN y resistencia al corte de 55.2 kN.

3.4. Construcción de estructura

En las Tabla 3.38 y 3.39 se indican los procesos de construcción y montaje de la estructura de la máquina utilizando materiales disponibles en el medio local.

Tabla 3.38. Proceso de construcción de la estructura.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA 			
“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UNA MÁQUINA DE PRUEBAS PARA CONEXIONES METÁLICAS VIGA-COLUMNA”			FECHA
ELABORADO	SHIGUI DENNIS	NUMERO DE OPERARIOS	3
REVISADO	ING. FRANCISCO PEÑA, MSC.	NUMERO DE HORAS TOTAL	136
Descripción	Materiales	Tiempo [h]	Fotografía
Diseño y dimensionamiento de los componentes de la estructura.	Computador LEGION Y7000	80	
Elaboración de pernos	Computador LEGION Y7000	20	

Estructura de máquina de pruebas de conexiones metálicas viga-columna.			
Medición y corte de perfiles de columnas y vigas.	- HEB 200	2.5	
Fabricación de componentes de conexiones viga-columna.	- PLE12 - PLE10	4	
Soldadura de componentes de conexiones viga-columna.	- Microalambre AWS ER70S-6	2	

<p>Fabricación de componentes de placas de anclaje de columnas.</p>	<p>- PLE10</p>	<p>3</p>	
<p>Soldadura de componentes de placas de anclaje de columnas.</p>	<p>- Microalambre AWS ER70S-6</p>	<p>2</p>	
<p>Medición y corte de perfiles de soportes.</p>	<p>- IPE100</p>	<p>2</p>	

<p>Fabricación de placas de conexiones columna-soporte.</p>	<p>- PLE6</p>	<p>3</p>	
<p>Soldadura de placas de conexiones columna-soporte.</p>	<p>- Microalambre AWS ER70S-6</p>	<p>2</p>	
<p>Fabricación de placas de anclaje de soportes laterales de estructura.</p>	<p>- PLE6</p>	<p>2.5</p>	

<p>Soldadura de placas de anclaje de soportes laterales de la estructura .</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Microalambre AWS ER70S-6 	<p>2.5</p>	
<p>Medición y corte de perfiles de soportes de muestra de ensayo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - HEB200 	<p>1.5</p>	
<p>Taladrado de agujeros de anclaje soportes de muestra de ensayo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Juego de brocas para metal. 	<p>2</p>	

Fabricación de soportes de pistón.	<ul style="list-style-type: none"> - PLE26 - PLE10 	3	
Soldadura de soporte de pistón a la estructura.	<ul style="list-style-type: none"> - Microalambre AWS ER70S-6 	2	
Total horas de construcción		136	

Tabla 3.39. Procesos de montaje de la estructura.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE UNA MÁQUINA DE PRUEBAS PARA CONEXIONES METÁLICAS VIGA-COLUMNA”			FECHA 05-06-23
ELABORADO	SHIGUI DENNIS	NUMERO DE OPERARIOS	3
REVISADO	ING. FRANCISCO PEÑA, MSC.	NUMERO DE HORAS TOTAL	10
Descripción		Tiempo [h]	Fotografía
Montaje de las columnas con la viga.		2	

<p>Anclaje de estructura al suelo.</p>	<p>2</p>	
<p>Montaje de los soportes con las columnas.</p>	<p>2</p>	

<p>Anclaje de soportes de muestras de ensayo.</p>	<p>2</p>	
<p>Ensamblaje de sistema hidráulico en estructura.</p>	<p>2</p>	

<p>Máquina de ensayos de conexiones finalizada.</p>	<p>-</p>	
<p>Total horas de construcción</p>	<p>10</p>	

3.4.1. Materiales e insumos necesarios para la construcción

En las Tablas 3.40 y 3.41 se detallan la cantidad de materiales e insumos y en las Tablas 3.42 y 3.43 se indican los equipos y herramientas utilizados en la construcción de la estructura de la máquina de pruebas de conexiones metálicas viga-columna

Tabla 3.40. Materiales e insumos utilizados en la construcción de la estructura.

Elemento	Cantidad
Perfil HEB200 de 6 m	2
Perfil IPE100 de 6m	1
Rollo de microalambre 0.9mm	1
Plancha de Acero 12 mm	1/8
Plancha de Acero 10 mm	1/16
Plancha de Acero 6 mm	1/8
Discos de corte para metal	3
Discos de desbaste	2
Grata	1
Pintura anticorrosiva 1galon	1
Thinner 1 galón	1

Tabla 3.41. Elementos normalizados usados en el montaje de la estructura.

Elemento	Cantidad
Tornillos A325 de ½ x 2 pulgadas	24
Tornillos de expansión M16 x 178 mm	16
Tornillos de expansión M16 x 153 mm	8
Tornillos de expansión M8 x 98 mm	16
Tuercas de acero al carbono de ½ pulgada	24
Arandelas planas de ½ pulgada	24
Arandelas de presión de ½ pulgada	24

Tabla 3.42. Equipos necesarios para la construcción y montaje de la estructura.

Equipo	Cantidad
Computadora	1
Taladro pedestal	1
Taladro de mano	2
Puente grúa	1
Amoladora	3
Compresor	1
Soldadora GMAW	2
Oxicorte	1
Fresadora	1
Equipo de protección personal	2

Tabla 3.43. Herramientas para la construcción y montaje de la estructura.

Herramienta	Cantidad
Escuadras magnéticas	3
Compás de rayado	1
Flexómetro	2
Regla	2
Calibrador pie de rey	1
Martillo	2
Punto	1
Limas	3
Prensas tipo C	4
Tornillo de banco	2
Juego de llaves mecánicas	1
Juego de dados mecánicos	1
Juego de rocas de metal	1
Juego de brocas de hormigón	1

3.4.2. Costo del proyecto

En la construcción y montaje del proyecto se han generado tanto costos directos como indirectos, en las siguientes tablas se detallan estos costos.

Tabla 3.44. Costo de materiales e insumos.

Materiales e insumos			
Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Perfil HEB200 de 6 m	2	\$ 726.50	\$ 1453.00
Perfil IPE100 de 6m	1	\$ 96.00	\$ 96.00
Rollo de microalambre 0.9mm	1	\$ 46.00	\$ 46.00
Plancha de Acero 12 mm	1/8	\$ 300.00	\$ 37.50
Plancha de Acero 10 mm	1/16	\$ 286.00	\$ 18.00
Plancha de Acero 6 mm	1/8	\$ 196.00	\$ 24.50
Discos de corte para metal	3	\$ 2.50.00	\$ 7.50
Discos de desbaste	3	\$ 3.00	\$ 9.00
Grata	1	\$ 6.00	\$ 6.00
Pintura anticorrosiva 1galon	1	\$ 12.00	\$ 12.00
Thinner 1 galón	1	\$ 6.00	\$ 6.00
Total			\$ 1715.50

Tabla 3.45. Costo de elementos normalizados.

Elementos normalizados			
Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tornillos A325 de ½ x 2 pulgadas	24	\$ 1.30	\$ 31.20
Tuercas F194 de ½ pulgada	24	\$ 0.35	\$ 8.40
Arandelas planas F436 de ½ pulgada	24	\$ 0.15	\$ 3.60
Total			\$ 44.20

Tabla 3.46. Costos directos en la construcción de la estructura.

Costos directos		
Descripción	Costo unitario	Costo total
Mano de obra	\$ 550	\$ 500
Mecanizado de soportes	\$ 15	\$ 30
Materiales e insumos	\$ 1715.50	\$ 1715.50
Materiales normalizados	\$ 44.70	\$ 43.20
Total		\$ 2288.70

Tabla 3.47. Costos indirectos en la construcción de la estructura.

Costos indirectos		
Descripción	Costo unitario	Costo total
Transporte	\$ 40.00	\$ 40.00
Suministros	\$ 20.00	\$ 20.00
Total		\$ 60.00

El costo total del proyecto es de **2348.70**.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Mediante la investigación bibliográfica de máquinas de ensayos similares y de las disposiciones que proporciona la norma de diseño AISC 341-16 se determinó los parámetros de funcionamiento de conexiones viga-columna, la cual dispone que una estructura debe cumplir la condición de columna fuerte – viga débil para asegurar la estabilidad durante el ensayo, además, de la utilización de juntas precalificadas.
- Las variables que se tuvieron en cuenta para el diseño de la estructura son principalmente: la fuerza de empuje del actuador hidráulico, la función cíclica con la cual se van a realizar los ensayos y la configuración de la muestra de ensayo estipulado en la norma AISC 341-16. Adicionalmente se debe tomar en cuenta algunos criterios de diseño como: costos, facilidad de mantenimiento, facilidad de montaje y desmontaje de estructura, la seguridad y la eficiencia.
- Se diseñó cada uno de los componentes que conforman la estructura de la máquina de ensayos haciendo uso de softwares de diseño especializados, aplicando las respectivas cargas que actúan en cada componente, así como la carga cíclica de 50 kN que ejerce el actuador hidráulico en la columna en el que esta empotrado. Como resultado de las simulaciones computacionales se obtuvieron los esfuerzos, deformaciones y desplazamientos presentes en la estructura, los cuales si se encuentran en los rangos permisibles. Finalmente se verificó que los factores de seguridad presentes en las zonas más críticas superen la unidad y se concluyó que el diseño si cumplía con los requerimientos para ser aceptado.
- Se construyó la estructura siguiendo las especificaciones de los planos estructurales de montaje y construcción aprobados, se realizó el montaje del sistema hidráulico y finalmente se fabricó una muestra de ensayo para demostrar la funcionabilidad de la máquina de ensayos.

- El costo total de la estructura es de \$2348.70, el mismo que bajaría significativamente si se fabricara este tipo de proyectos en masa. Los costos se muestran de manera más detallada en la sección 3.4.2.
- La finalidad de este proyecto es contribuir con la industria de la construcción con una herramienta eficiente de calificación de conexiones viga-columna y con ello garantizar un mayor factor de seguridad en las construcciones metálicas frente a futuros eventos sísmicos.

4.2. Recomendaciones

- En la construcción de la estructura se recomienda utilizar conexiones empernadas por la facilidad de desmontaje en caso de que sea necesario para ejecutar el mantenimiento y transporte de la máquina.
- Para unir los componentes de la estructura se deben seguir los detalles de soldadura que se especifican en los planos, dado que son disposiciones que brindan las normas cuando se utilizan conexiones precalificadas.
- En la construcción y montaje de la estructura siempre utilizar equipo de seguridad, puesto que los elementos estructurales que manipulan son de grandes magnitudes.
- La estructura está diseñada para soportar una fuerza máxima de empuje de 55 kN, por lo cual se recomienda no utilizar actuadores hidráulicos que no superen esta fuerza, dado que la capacidad de la junta debe ser estimada previamente y que no supere el valor de la fuerza de 55 kN, sin embargo, se puede utilizar ampliamente en ensayos de conexiones de construcción liviana conocida como Steel Framing.
- Para la ejecución de los ensayos de conexiones metálicas viga-columna se recomienda que las muestras de ensayo se construyan siguiendo los requerimientos dimensionales que se muestran en los planos de construcción del anexo 6.
- En el diseño de la estructura siempre van a existir varias alternativas, es recomendable que el diseñador analice cada una de ellas y elija la que garantice mayor seguridad y rentabilidad económica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. P. Zambrano Songora, “Análisis comparativo económico de una vivienda de estructura de acero y una de estructura convencional.”, Universidad Técnica de Machala, 2017.
- [2] A. Ramírez Gómez, “Evaluación del comportamiento de conexiones viga-columna en concreto reforzado ante cargas laterales cíclicas y reforzadas con tejido CFRP.”, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, 2017.
- [3] E. Tapia Hernández, “Comportamiento de conexiones de marcos de acero ante demandas sísmicas.”, *Revista de Ingeniería Sísmica*, n.º 103, pp. 37-55, sep. 2020, doi: 10.18867/ris.103.562.
- [4] American Institute of Steel Construction, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings Supersedes the Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. 2016, p. 402. [En línea]. Disponible en: www.aisc.org
- [5] R. A. Jurfest Lichtemberg, “Desempeño sísmico de conexiones tipo EP-HSS considerando carga axial y flexión biaxial.”, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2019.
- [6] A. R. Morillo Valencia y C. F. Toapanta León, “Análisis de estado de la estructura existente del centro de investigación de la vivienda - CIV y diseño estructural de la ampliación del muro de reacción e infraestructura del CIV.”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2020.
- [7] P. Quinde Martínez y E. Reinoso Angulo, “Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca.”, *RIS*, n.º 94, pp. 1-26, jun. 2016, doi: 10.18867/ris.94.274.
- [8] Á. E. Castañeda y Y. M. Bravo, “Una mirada al comportamiento estructural de columnas, vigas, entresijos y edificaciones durante el sismo de Ecuador 2016.”, *Rev. ing. constr.*, vol. 32, n.º 3, pp. 157-172, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732017000300157>.
- [9] O. Jaramillo de León, W. Cando, J. Bucheli, y P. Enderica, “Análisis de una conexión metálica soldada entre una viga “I” y una columna tubular a escala reducida.”, *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento.*, vol.

Vol. 2, n.º núm. 1, pp. 302-324, 2018, doi:
<https://doi.org/10.26820/recimundo/2.1.2018.302-324>.

- [10] C. Gallegos, “Estudio de las conexiones soldadas de columnas compuestas RCFT con vigas metálicas tipo I comúnmente usadas en Ecuador.”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017.
- [11] S. García, “Diseño y ensayo de un modelo físico para verificar el comportamiento estructural de una viga en voladizo de hormigón armado reforzada con placas y viga de acero.”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2019.
- [12] M. Lituma Vicuña y F. Cañizares Ortega, “Análisis del desempeño de un pórtico de hormigón armado con arriostramiento concéntrico de acero estructural.”, *Pol. Con.*, vol. 6, n.º 12, pp. 1168-1190, dic. 2021, doi: 10.23857/pc.v6i12.3430.
- [13] M. León y R. Lema, “Análisis y Diseño de Pórtico de Ensayo para Laboratorio de Ingeniería Civil.”, Universidad de Cuenca, Cuenca, 2019.
- [14] L. D. Edwar Omar, “Análisis de patologías en estructuras metálicas livianas.”, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, 2018.
- [15] J. C. Ruiz Iza, “Diseño y simulación de una estructura metálica para un edificio de 3 plantas y un subsuelo, con un área total de 460 metros cuadrados.”, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2019.
- [16] E. X. Salinas Villegas, “Estudio de pórticos arriostrados concéntricamente en V, V invertida y arriostramiento en K y su incidencia en el diseño de un edificio en acero de 7 pisos.”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2022. [En línea]. Disponible en: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34821/1/Maestria%20E.M.%2004%20-%20Salinas%20Villegas%20Edisson%20Xavier.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34821/1/Maestria%20E.M.%2004%20-%20Salinas%20Villegas%20Edisson%20Xavier.pdf)
- [17] J. A. Razo Taco, “Diseño estructural del edificio de posgrado de la universidad técnica de Cotopaxi para garantizar su correcto desempeño sísmico.”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2021.
- [18] Y. A. Gómez Machado y J. S. Pérez Crespata, “Manual técnico de especificaciones constructivas de un edificio de cuatro pisos de estructura metálica.”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.

- [19] Y. Salazar, “¿Cuáles son los elementos estructurales en una construcción?”, *MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN - COVERTOP*, febrero de 2022. <https://covertop.com.mx/elementos-estructurales-en-una-construccion/> (accedido 30 de enero de 2023).
- [20] H. H. Pillajo Quijia, “Evaluación de la conexión precalificada: viga de seducción reducida-columna cajón relleno, para pórticos de momento a base de planchas de acero A36 soldadas.”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017.
- [21] H. Rodas Andrade y Universidad de Cuenca, *Estructuras I*. Cuenca, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=693803>
- [22] J. L. Gómez Amador, “Columnas”, México, 2018. [En línea]. Disponible en: http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/22_columns.pdf
- [23] Beer Johnston y Mazurek Eisenbrg, *Mecánica vectorial para ingenieros.*, Décima. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2010.
- [24] J. Requejo, “Las Vigas – Arquitectura + Estructura”, *Arquitectura, Construcción & Diseño*, julio de 2018. <https://joelrequejo.wordpress.com/2014/07/14/vigas/>
- [25] C. Cházaro Rosario, “Tipos de conexiones para estructuras de Acero”, *Gerdau Corsa*, marzo de 2021.
- [26] Á. Iranzo Picazo, “Medios de unión de estructuras metálicas.”, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, may 2017.
- [27] Imporpernos, “Norma ASTM F3125 (pernos estructurales)”, 2019. <https://www.imporpernos.com/blog/norma-astm-f3125> (accedido 7 de febrero de 2023).
- [28] EUROPER, “ASTM F3125 Grado A325 Pernos Estructurales Pesados”. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://euoper.cl/wp-content/uploads/2021/10/FICHA-TECNICA-PS-ESTRUCTURALES-A-325.pdf>
- [29] Imporpernos, “Norma ASTM A490 (pernos estructurales)”, 2019. <https://www.imporpernos.com/blog/norma-astm-a490>.
- [30] EUROPER, “ASTM F3125 Grado A490 Pernos Estructurales Pesados”. 2021.

- [31] D. Yujra Callizaya, “Reacondicionamiento de un equipo dosificador de hormigón en la empresa IMA.», Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2017.
- [32] V. H. Guarderas Morocho, “Verificación del cumplimiento de la norma AWS D1.1 en la construcción y montaje de estructuras metálicas de altura del distrito metropolitano de Quito.”, Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, 2018.
- [33] Norma Ecuatoriana de la Construcción, *Estructuras de Acero*. 2015, p. 122.
- [34] A. Villamarino Otero, “Tipos de apoyos y reacciones en las estructuras.”, Universidad de Salamanca, Salamanca, 2019.
- [35] F. Díaz de Castillo, “Análisis básico de vigas y estructuras utilizando Statik Tugo.”, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlán, 2021.
- [36] Ingegeek, “Tipos de apoyos en el análisis estructural”, *Ingegeek*, 2022. <https://www.ingegeek.site/2022/07/08/tipos-de-apoyos-en-el-analisis-estructural>.
- [37] American Institute of Steel Construction, *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, including Supplement No.1*. 2016, p. 314. [En línea]. Disponible en: www.aisc.org
- [38] L. Cardoso y E. Quishpe, “Diseño de conexiones precalificadas bajo AISC para pórticos resistentes a momentos.”, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2014.
- [39] I. D. G. Garavito Caballero y N. F. L. León Tarazona, “Simulación de conexión viga columna con secciones tubulares de acero en lámina delgada con nudo relleno de mortero.”, Universidad de La Salle, Bogotá, 2020.
- [40] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, “Conexiones Precalificadas”, 2020.
- [41] F. J. Crisafulli, “Diseño sismorresistente de construcciones de acero. ”, Quinta. Mendoza, Argentina, 2018.
- [42] C. del R. Elías Mora y M. Mariscal Blanco, “Determinación de propiedades mecánicas de perfiles estructurales de acero negro con uniones soldadas utilizando máquina universal de ensayos. ”, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú, 2018.
- [43] D. S. Ibarra Patiño, “Estudio de un método experimental en la determinación de esfuerzos en celosías simples para su comparación en métodos analíticos en los

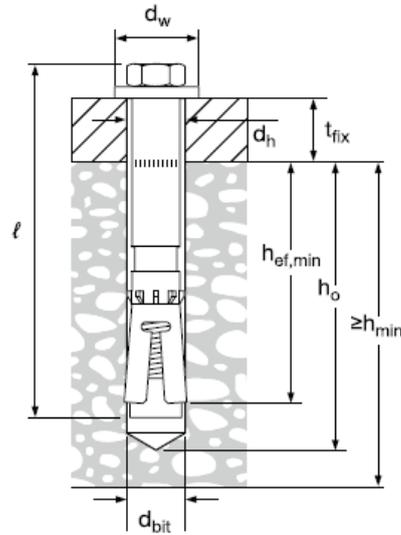
- laboratorios de la facultad de ingeniería civil y mecánica de la universidad técnica de Ambato.”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2015.
- [44] J. V. Pillajo Narváez y E. F. Sarmiento Borja, “Diseño de la estructura de acero para un edificio de apartamentos para ser utilizado en la región litoral del Ecuador.”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017.
- [45] J. C. McCormac y S. F. Csernak, *Diseño de estructura de acero.*, Quinta. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A., 2013.
- [46] J. J. Martínez Echeverry, *Análisis básico de estructuras.*, Primera. Santiago de Cali: Pontificia Universidad Javeriana, 2018.
- [47] F. A. Peña Jordán y J. L. Yunapanta Velasteguí, “Propuesta de reforzamiento de vigas de alma llena de puentes metálicos con fibra de carbono y resina epóxica.”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2022.
- [48] Lincoln Electric, “Microalambre AWS ER70S-6.” 2018.
- [49] Peralta Ingeniería, “Diseño de conexión precalificada tipo placa extremo AISC 358-16.”, *DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN ACERO*, 2021.
- [50] American Institute of Steel Construction, *Specification for Structural Steel Building*. 2016, p. 680. [En línea]. Disponible en: www.aisc.org
- [51] H. Villarroel y J. Chicaiza, “Diseño y construcción de un sistema hidráulico para una máquina de pruebas para conexiones metálicas viga-columna.”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2023.
- [52] DIPAC, «Catálogo general de productos Dipac.» 2022.
- [53] C. Cisneros y A. Salinas, “Diseño y construcción de un sistema de transporte en la producción de alimento concentrado para aves en la avícola Victoria Israel de Huambaló provincia de Tungurahua.”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2023.
- [54] HILTI, “Manual técnico de anclaje.” 2019.

ANEXOS

Anexo 1. Inspección de funcionamiento de máquina.



Anexo 2. Especificaciones de tornillos de expansión.



Detalles			Diámetro de la rosca de anclaje HSL-3																			
			M8		M10		M12		M16		M20											
Diámetro nominal de la broca ¹	d_{bit}	mm	12		15		18		24		28											
Espesor mínimo del concreto	h_{min}	mm (pulg.)	Ver Tabla 5																			
Profundidad de la perforación	h_o	mm (pulg.)	80 (3-1/8)		90 (3-1/2)		105 (4-1/8)		125 (4-7/8)		155 (6-1/8)											
Empotramiento mínimo efectivo	$h_{ef,min}$	mm (pulg.)	60 (2-3/8)		70 (2-3/4)		80 (3-1/8)		100 (3-7/8)		125 (4-7/8)											
Diámetro de la perforación del elemento	d_h	mm (pulg.)	14 (9/16)		17 (11/16)		20 (13/16)		26 (1)		31 (1-1/4)											
Máx. espacio acumulado entre la(s) parte(s) que se sujeta(n) y la superficie del concreto	-	mm (pulg.)	4 (1/8)		5 (3/16)		8 (5/16)		9 (3/8)		12 (1/2)											
Máximo espesor de la parte sujeta HSL-3, HSL-3-B	t_{tx}	mm (pulg.)	20 (3/4)		40 (1-1/2)		20 (3/4)		40 (1-1/2)		25 (1)		50 (2)		25 (1)		50 (2)		30 (1-1/8)		60 (2-1/4)	
Longitud general del anclaje HSL-3, HSL-3-B	l	mm (pulg.)	98 (3-7/8)		118 (4-5/8)		110 (4-3/8)		130 (5 1/8)		131 (5-1/8)		156 (6 1/8)		153 (6)		178 (7)		183 (7-1/4)		213 (8-3/8)	
Máximo espesor de la parte sujeta HSL-3-G	t_{tx}	mm (pulg.)	20 (3/4)		20 (3/4)		25 (1)		50 (2)		25 (1)		50 (2)		30 (1-1/8)		60 (2-1/4)					
Longitud general del anclaje HSL-3-G	l	mm (pulg.)	102 (4)		115 (4-1/2)		139 (5-1/2)		164 (6-3/8)		163 (6-3/8)		188 (7-3/8)		190 (7-1/2)		220 (8-3/4)					
Diámetro de la arandela	d_w	mm (pulg.)	20 (3/4)		25 (1)		30 (1-1/8)		40 (1-9/16)		45 (1-3/4)											
Torque de instalación HSL-3	T_{inst}	Nm (ft-lb)	25 (18)		50 (37)		80 (59)		120 (89)		200 (148)											
Torque de instalación HSL-3-G	T_{inst}	Nm (ft-lb)	20 (15)		35 (26)		60 (44)		80 (59)		160 (118)											
Tamaño de la llave HSL-3, HSL-3-G	-	mm	13		17		19		24		30											
Tamaño de la llave HSL-3-B	-	mm					24		30		36											

1) Utilice solamente brocas métricas.

Anexo 3. Requerimientos de concreto para instalación de pernos expansivos.

Parámetro dimensional	Símbolo	Unidades	Diámetro nominal del anclaje				
			M8	M10	M12	M16	M20
Espesor mínimo del concreto	h_{min}	pulg. (mm)	4-3/4 (120)	5-1/2 (140)	6-1/4 (160)	7-7/8 (200)	9-7/8 (250)
Distancia al borde crítica	c_{2c}	pulg. (mm)	4-3/8 (110)	4-3/8 (110)	4-3/4 (120)	5-7/8 (150)	8-7/8 (225)
Distancia al borde mínima	$c_{min,1}$	pulg. (mm)	2-3/8 (60)	2-3/4 (70)	3-1/2 (90)	4-3/4 (120)	5 (125)
Espaciado mínimo	$s_{min,1}$	pulg. (mm)	5-1/2 (140)	9-1/2 (240)	11 (280)	12-5/8 (320)	13-3/4 (350)
Distancia al borde mínima	$c_{min,2}$	pulg. (mm)	3-3/8 (85)	5 (125)	6-1/8 (155)	7-7/8 (200)	8-1/4 (210)
Espaciado mínimo	$s_{min,2}$	pulg. (mm)	2-3/8 (60)	2-3/4 (70)	3-1/8 (80)	4 (100)	5 (125)

Anexo 4. WPS de soldadura precalificada CJP.



Versión: 00 26/08/2017	ANEXO 3	WPS-1	Autor: Dennis Shigüi
Revisión: 00 01/09/2021	JUNTA PRECALIFICADA CJP		Páginas: 111 de 2

1. DETALLES DE LA JUNTA

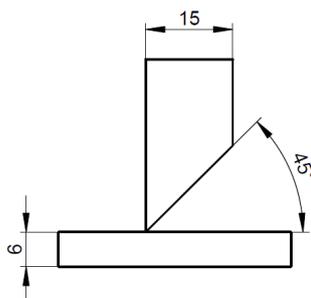
Tipo: En T, ranura con bisel simple

Apertura de raíz: 0 mm

Cara de raíz: No aplica

Respaldo: No

Detalles de la junta:



2. MATERIAL BASE

Clasificación: ASTM A36

Espesor 1 (T1): 15 mm

Espesor 2 (T2): 10 mm

Composición química:

C [wt%]	Mn [wt%]	P [wt%]	S [wt%]	Si [wt%]
0.29	1.20	0.05	0.05	0.40

Propiedades mecánicas:

Fy [ksi]	Fu [ksi]	Elongación en 2" [%]	Elongación en 8" [%]
36	70	23	-

3. MATERIAL DE APORTE

Clasificación: AWS ER70S-6

Diámetro: 0.9 mm

Posición de soldadura: Plana, horizontal, vertical ascendente, sobre cabeza

Protección externa: No Gas de protección: Si Caudal: No aplica

Velocidad de alimentación del alambre: 250 – 640 cm/min

Velocidad de avance: 15 cm/min

Múltiples pases: Si

Composición química:

C [wt%]	Mn [wt%]	P [wt%]	S [wt%]	Si [wt%]	V [tú%]	Ni [wt%]	Mo [wt%]	Cu [wt%]	Cr [wt%]
0.15	1.85	0.03	0.035	1.15	0.03	0.15	0.15	0.05	0.15



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
AMBATO-ECUADOR



Versión: 00 26/08/2017	ANEXO 3	WPS-1	Autor: Dennis Shigüi
Revisión: 00 01/09/2021	JUNTA PRECALIFICADA CJP		Páginas: 112 de 2

Propiedades mecánicas:

Fy	Fu	Elongación en 2"
[ksi]	[ksi]	[%]
58	70	22

Características de funcionalidad

Polaridad: DCEN

Tensión: 18 - 22 V

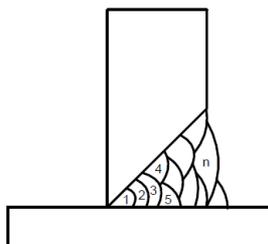
Corriente: 80 - 175 A

4. ADECUACIÓN DE TEMPERATURA

Pre calentamiento: No	Temperatura: N/A	Post-calentamiento: No	Temperatura: N/A
-----------------------	------------------	------------------------	------------------

5. TÉCNICA

Manual: x	Automática:
Cordón de respaldo: Si:	No: x
Limpieza entre pases: Si: x	No:
Pase de raíz: Si: x	No:
Múltiples pases: Si: x	No:
Arrastre:	Empuje: x



Nro. Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Rango Tensión [V]	Rango Velocidad Avance [cm/min]	Velocidad de alimentación [cm/min]
		Clase	Diámetro [mm]	Tipo/ Polaridad	Rango Corriente [A]			
1	GCAW	AWS ER70S-6	0.9	DCEN	80-175	18-22	5.0 – 15.0	250-640
2	GCAW	AWS ER70S-6	0.9	DCEN	80-175	18-22	5.0 – 15.0	250-640
3	GCAW	AWS ER70S-6	0.9	DCEN	80-175	18-22	5.0 – 15.0	250-640
n	GCAW	AWS ER70S-6	0.9	DCEN	80-175	18-22	5.0 – 15.0	250-640

Responsable de control:	Responsable de producción:	Fiscalizador:
Dennis Shigüi	Dennis Shigüi	Ing. Francisco P., MSc.
Fecha: 19/06/2023	Fecha: 19/06/2023	Fecha: 21/06/2023

Firmas:

Anexo 5. Planos de montaje y construcción de estructura.



Versión: 00 26/08/2017 Revisión: 00 01/09/2021	ANEXO 4 JUNTA PRECALIFICADA PJP	WPS-2	Autor: Dennis Shigüi Páginas: 113 de 2
---	--	-------	---

1. DETALLES DE LA JUNTA

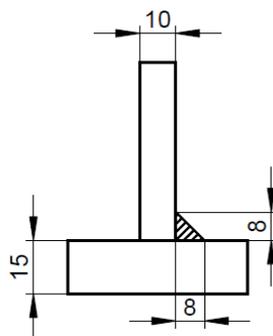
Tipo: Soldadura en filete, junta en T

Apertura de raíz: 0 mm

Cara de raíz: No aplica

Respaldo: No

Detalles de la junta:



2. MATERIAL BASE

Clasificación: ASTM A36

Espesor 1 (T1): 15 mm

Espesor 2 (T2): 10 mm

Composición química:

C [wt%]	Mn [wt%]	P [wt%]	S [wt%]	Si [wt%]
0.29	1.20	0.05	0.05	0.40

Propiedades mecánicas:

F _y [ksi]	F _u [ksi]	Elongación en 2" [%]	Elongación en 8" [%]
36	70	23	-

3. MATERIAL DE APORTE

Clasificación: AWS ER70S-6

Diámetro: 0.9 mm

Posición de soldadura: Plana, horizontal, vertical ascendente, sobre cabeza

Protección externa: No Gas de protección: Si Caudal: No aplica

Velocidad de alimentación del alambre: 250 – 640 cm/min

Velocidad de avance: 15 cm/min

Múltiples pases: No

Composición química:

C [wt%]	Mn [wt%]	P [wt%]	S [wt%]	Si [wt%]	V [tú%]	Ni [wt%]	Mo [wt%]	Cu [wt%]	Cr [wt%]
0.15	1.85	0.03	0.035	1.15	0.03	0.15	0.15	0.05	0.15



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA
AMBATO-ECUADOR



Versión: 00 26/08/2017 Revisión: 00 01/09/2021	ANEXO 4 JUNTA PRECALIFICADA PJP	WPS-2	Autor: Dennis Shigüi Páginas: 114 de 2
---	--	-------	---

Propiedades mecánicas:

Fy	Fu	Elongación en 2"
[ksi]	[ksi]	[%]
58	70	22

Características de funcionalidad

Polaridad: DCEN

Tensión: 18 - 22 V

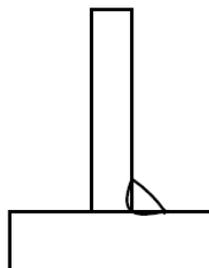
Corriente: 80 - 175 A

4. ADECUACIÓN DE TEMPERATURA

Pre calentamiento: No	Temperatura: N/A	Post-calentamiento: No	Temperatura: N/A
-----------------------	------------------	------------------------	------------------

5. TÉCNICA

Manual: x	Automática:
Cordón de respaldo: Si:	No: x
Limpieza entre pases: Si:	No: x
Pase de raíz: Si:	No: x
Múltiples pases: Si:	No: x
Arrastre:	Empuje: x

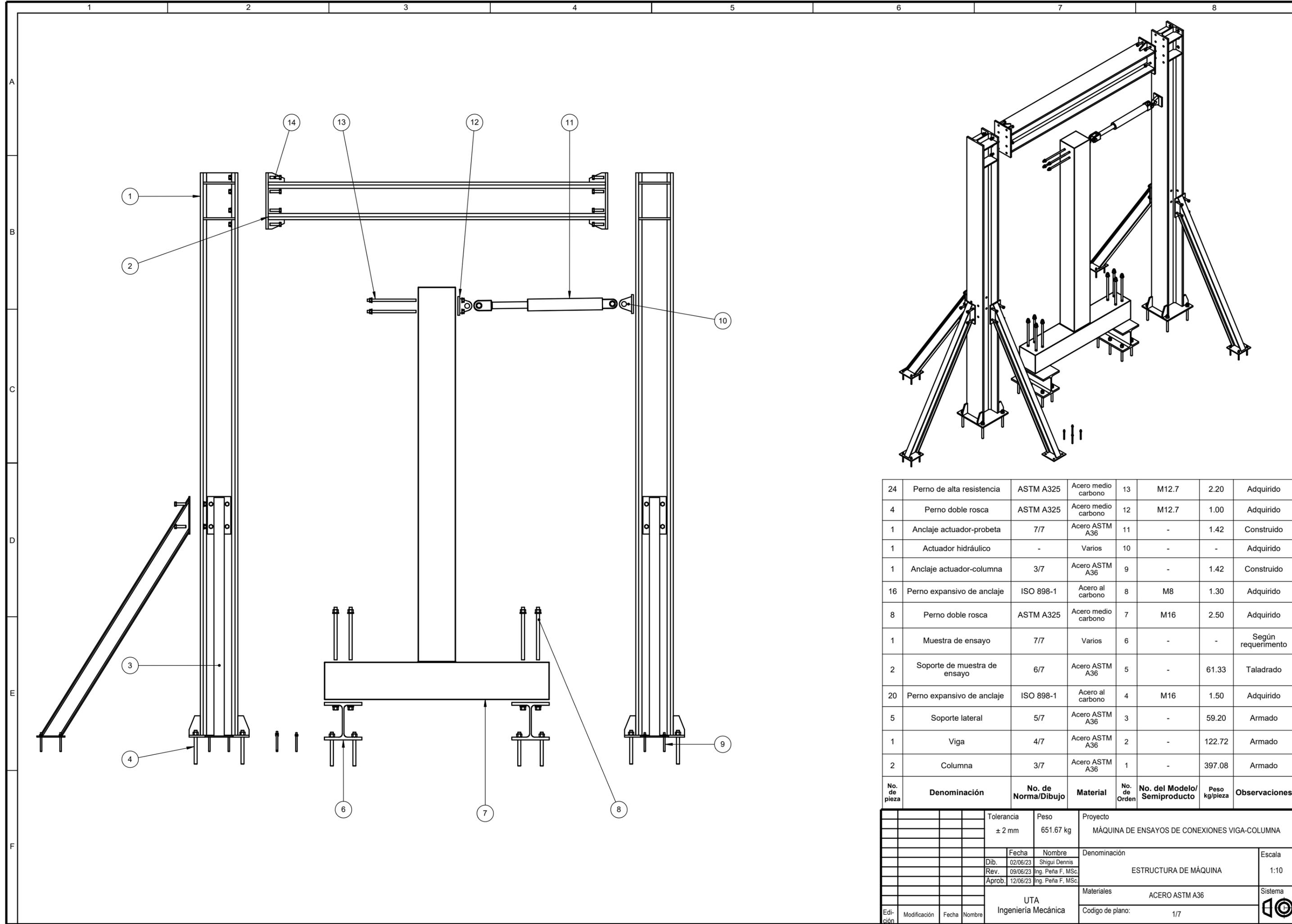


Nro. Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Rango Tensión [V]	Rango Velocidad Avance [cm/min]	Velocidad de alimentación [cm/min]
		Clase	Diámetro [mm]	Tipo/ Polaridad	Rango Corriente [A]			
1	GCAW	AWS ER70S-6	0.9	DCEN	80-175	18-22	5.0 – 15.0	250-640

Responsable de control:	Responsable de producción:	Fiscalizador:
Dennis Shigüi	Dennis Shigüi	Ing. Francisco P., MSc.
Fecha: 19/06/2023	Fecha: 19/06/2023	Fecha: 21/06/2023

Firmas:

Anexo 6. Planos de montaje y construcción de estructura.



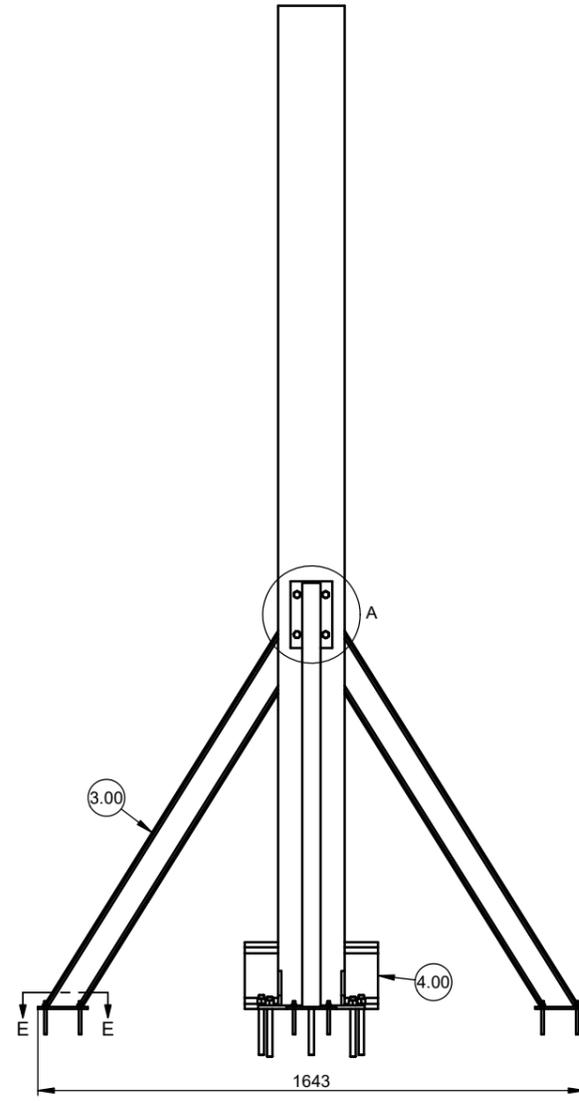
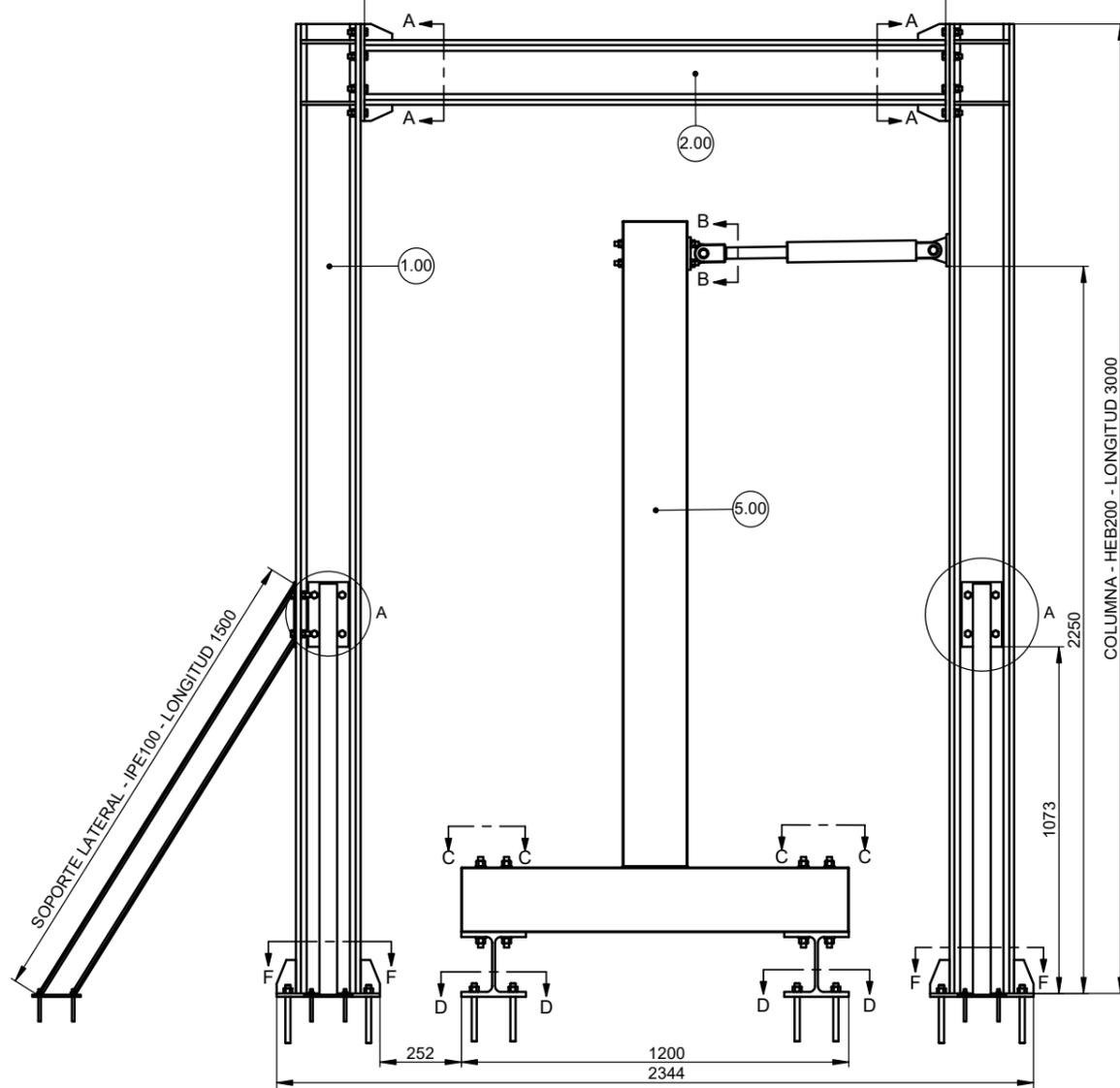
24	Perno de alta resistencia	ASTM A325	Acero medio carbono	13	M12.7	2.20	Adquirido
4	Perno doble rosca	ASTM A325	Acero medio carbono	12	M12.7	1.00	Adquirido
1	Anclaje actuador-probeta	7/7	Acero ASTM A36	11	-	1.42	Construido
1	Actuador hidráulico	-	Varios	10	-	-	Adquirido
1	Anclaje actuador-columna	3/7	Acero ASTM A36	9	-	1.42	Construido
16	Perno expansivo de anclaje	ISO 898-1	Acero al carbono	8	M8	1.30	Adquirido
8	Perno doble rosca	ASTM A325	Acero medio carbono	7	M16	2.50	Adquirido
1	Muestra de ensayo	7/7	Varios	6	-	-	Según requerimiento
2	Soporte de muestra de ensayo	6/7	Acero ASTM A36	5	-	61.33	Taladrado
20	Perno expansivo de anclaje	ISO 898-1	Acero al carbono	4	M16	1.50	Adquirido
5	Soporte lateral	5/7	Acero ASTM A36	3	-	59.20	Armado
1	Viga	4/7	Acero ASTM A36	2	-	122.72	Armado
2	Columna	3/7	Acero ASTM A36	1	-	397.08	Armado
No. de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de Orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones

		Tolerancia	Peso	Proyecto			
		± 2 mm	651.67 kg	MÁQUINA DE ENSAYOS DE CONEXIONES VIGA-COLUMNNA			
		Fecha	Nombre	Denominación			Escala
		Dib. 02/06/23	Shigui Dennis	ESTRUCTURA DE MÁQUINA			1:10
		Rev. 09/06/23	Ing. Peña F. MSc.				
		Aprob. 12/06/23	Ing. Peña F. MSc.				
		UTA		Materiales		Sistema	
		Ingeniería Mecánica		ACERO ASTM A36		1/7	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Codigo de plano:			

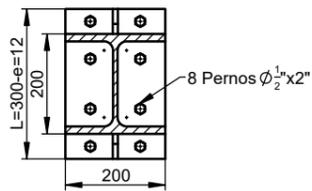


ESTRUCTURA DE MÁQUINA DE ENSAYOS
VISTA GENERAL

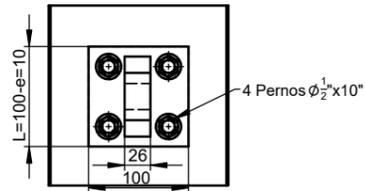
VIGA - HEB200 - LONGITUD 1800



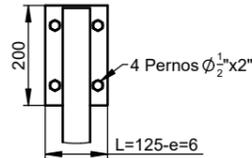
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 10



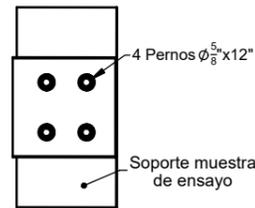
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 5



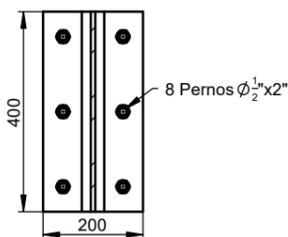
DETALLE A
ESCALA 1 : 10



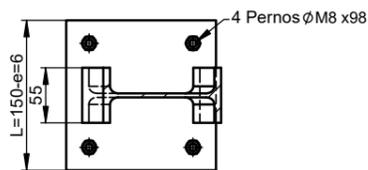
SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 10



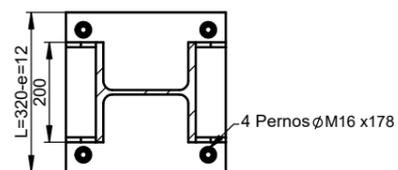
SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 10



SECCIÓN E-E
ESCALA 1 : 5



SECCIÓN F-F
ESCALA 1 : 10



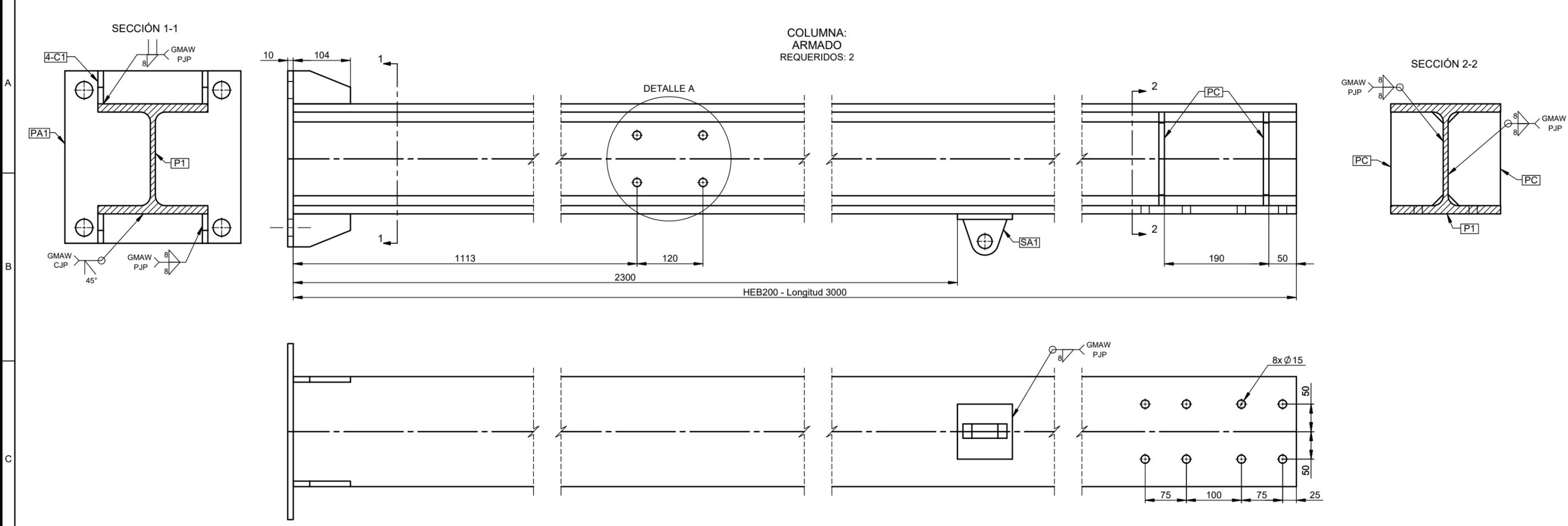
LISTA DE MATERIALES

Item	Posición	Marca	Sección [mm]	Cantidad Total	Longitud Total [mm]	Ancho Total [mm]	Peso Total [kg]
1.00	Columna			2.00			398.5
1.10	Perfil	P1	HEB200	2.00	3000.00		368.00
1.20	Soporte actuador H.	SA1	PLE10 - PLE26	1.00	100.00		1.42
1.30	Cartela	C1	PLE12	8.00	104.00	60.00	3.20
1.40	Placa de continuidad	PC	PLE10	8.00	170.00	95.00	9.92
1.50	Placa de anclaje	PA1	PLE12.7	2.00	320.00	320.00	15.96
2.00	Viga			1.00			122.72
2.10	Perfil	P2	HEB200	1.00	1800.00		110.40
2.20	Cartela	C2	PLE10	4.00	86.00	50.00	1.20
2.30	Placa de conexión	PE1	PLE12	2.00	300.00	200.00	11.12
3.00	Soporte lateral			5.00			59.20
3.10	Perfil	P3	IPE100	5.00	1500.00		48.60
3.20	Placa de conexión	PE2	PLE6	5.00	200.00	125.00	4.60
3.30	Placa de anclaje	PA2	PLE6	5.00	150.00	150.00	6.00
4.00	Soporte muestra de ensayo			2.00			61.33
4.10	Perfil	P3	HEB200	2.00	500.00		61.33
5.00	Muestra de ensayo			1.00			-
5.10	Soporte actuador H.	SA2	PLE10 - PLE26	1.00	100.00		1.42

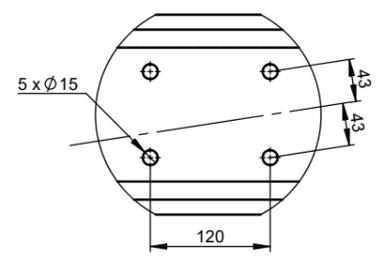
LISTA DE PERNOS

Dimensión	Cantidad
Columna	
Perno de expansión ϕ M16 x178	8
Viga	
Perno A325 $\phi_{1/2}$ "x2"	16
Soporte lateral	
Perno A325 $\phi_{1/2}$ "x2"	12
Perno de expansión ϕ M8 x98	20
Soporte muestra de ensayo	
Perno de expansión ϕ M16 x178	12
Muestra de ensayo	
Perno $\phi_{1/2}$ "x10"	4
Perno $\phi_{5/8}$ "x12"	8

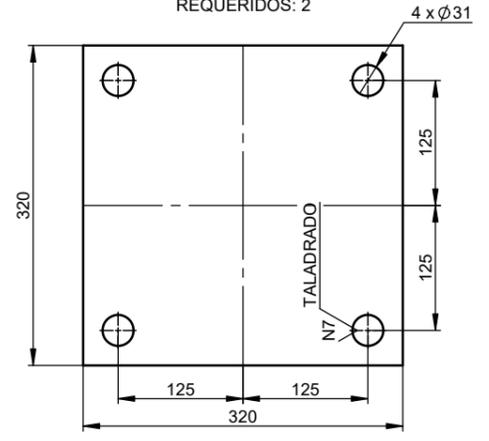
				Tolerancia	Peso	Proyecto	
				± 2 mm	En lista	MÁQUINA DE ENSAYOS DE CONEXIONES VIGA-COLUMNNA	
				Fecha	Nombre	Denominación	
				Dib. 02/06/23	Shigui Dennis	MONTAJE DE ESTRUCTURA	
				Rev. 09/06/23	Ing. Peña F. MSc.	Escala	
				Aprob. 12/06/23	Ing. Peña F. MSc.	N/A	
				Materiales		ACERO ASTM A36	
				Codigo de plano:		2/9	
				Sistema			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica			



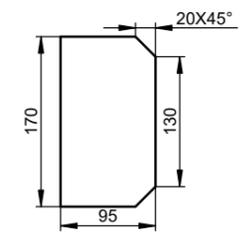
DETALLE A
UBICACIÓN DE AGUJEROS DE
SOPORTES LATERALES EN COLUMNA



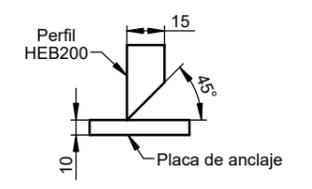
PA1
PLE10
REQUERIDOS: 2



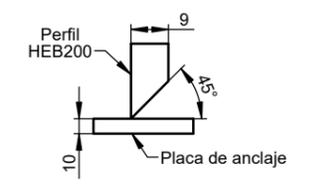
PC
PLE10
REQUERIDOS: 8



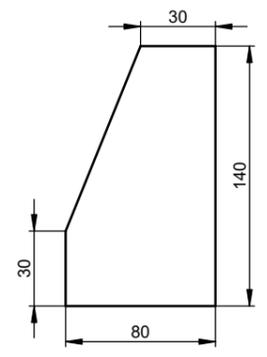
DETALLE DE SOLDADURA CJP ENTRE
PATINES DE HEB200-PLACA DE ANCAJE



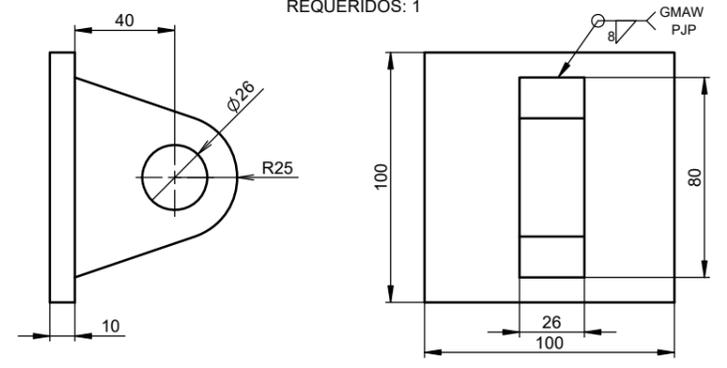
DETALLE DE SOLDADURA CJP ENTRE
ALMA DE HEB200 Y PLACA DE ANCAJE



C1
PLE12
REQUERIDOS: 8



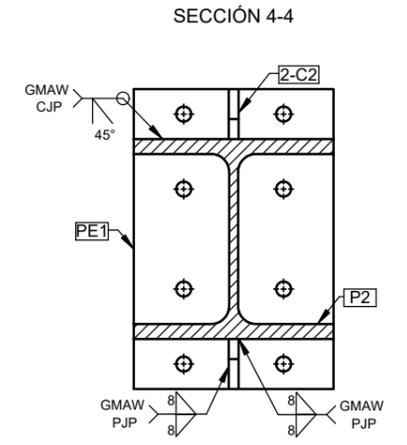
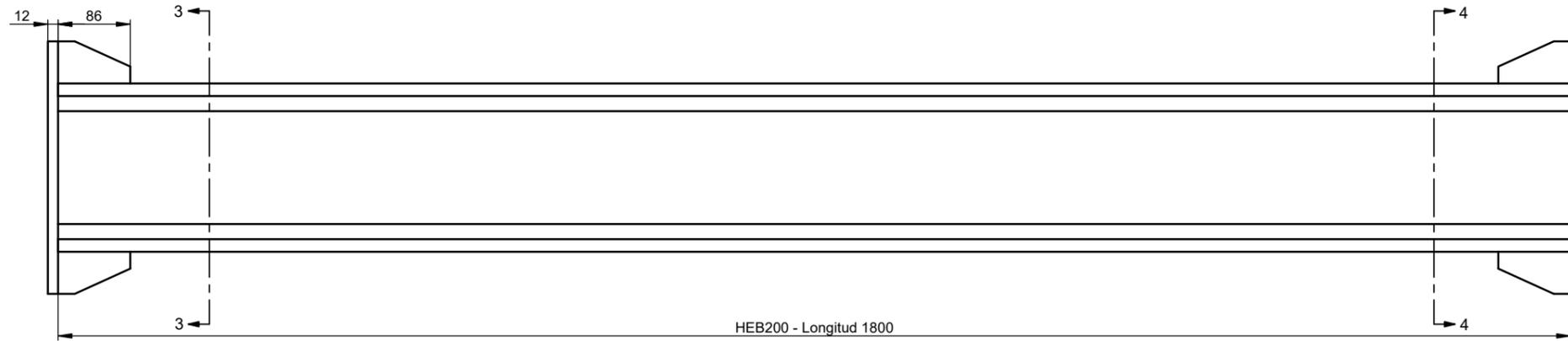
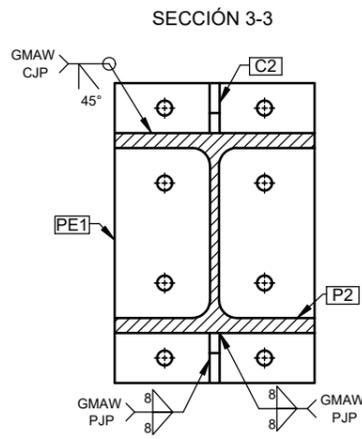
SA1
PLE10-PLE26
REQUERIDOS: 1



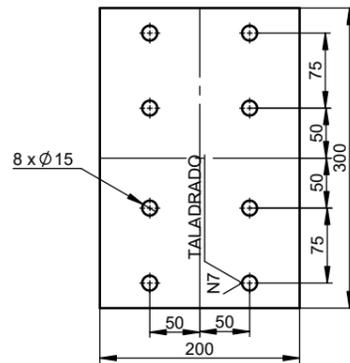
				Tolerancia ± 2 mm	Peso 398.50 kg	Proyecto MÁQUINA DE ENSAYOS DE CONEXIONES VIGA-COLUMNA	
				Fecha	Nombre	Denominación	
				Dib. 02/06/23	Shigui Dennis	CONSTRUCCIÓN COLUMNA	
				Rev. 09/06/23	Ing. Peña F. MSc.	Escala 1:10	
				Aprob. 12/06/23	Ing. Peña F. MSc.	Sistema	
				UTA Ingeniería Mecánica		Materiales ACERO ASTM A36	
Edición				Modificación	Fecha	Nombre	Codigo de plano: 3/7



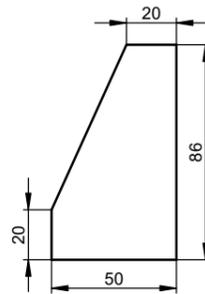
VIGA:
ARMADO
REQUERIDOS: 1



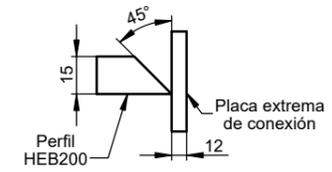
PE1
PLE12
REQUERIDOS: 2



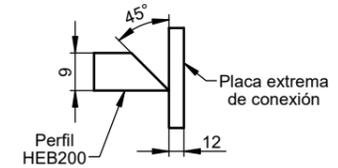
C2
PLE10
REQUERIDOS: 4



DETALLE DE SOLDADURA CJP ENTRE
PATINES DE HEB200 Y PLACA EXTREMA DE
CONEXIÓN



DETALLE DE SOLDADURA CJP ENTRE ALMA
DE HEB200 Y PLACA EXTREMA DE CONEXIÓN



				Tolerancia ± 2 mm	Peso 122.72 kg	Proyecto MÁQUINA DE ENSAYOS DE CONEXIONES VIGA-COLUMNA	
				Fecha 02/06/23	Nombre Shigui Dennis	Denominación CONSTRUCCIÓN VIGA	Escala 1:5
				Rev. 09/06/23	Ing. Peña F. MSc.		
				Aprob. 12/06/23	Ing. Peña F. MSc.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Materiales ACERO ASTM A36	Sistema
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	Codigo de plano: 4/7			

1

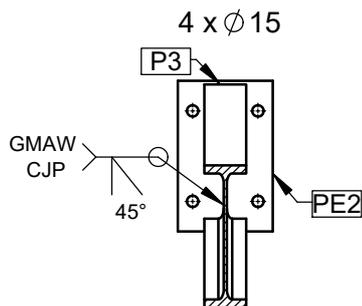
2

3

4

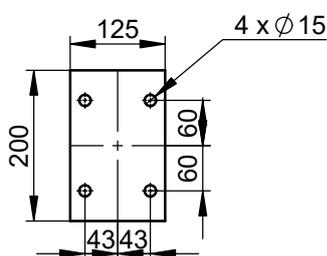
A

VIGA:
ARMADO
REQUERIDOS: 5



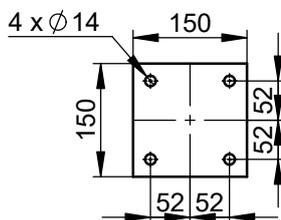
B

PE2
PLE6
REQUERIDOS: 5



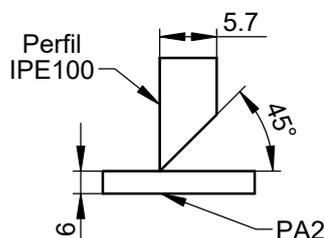
C

PA2
PLE6
REQUERIDOS: 5

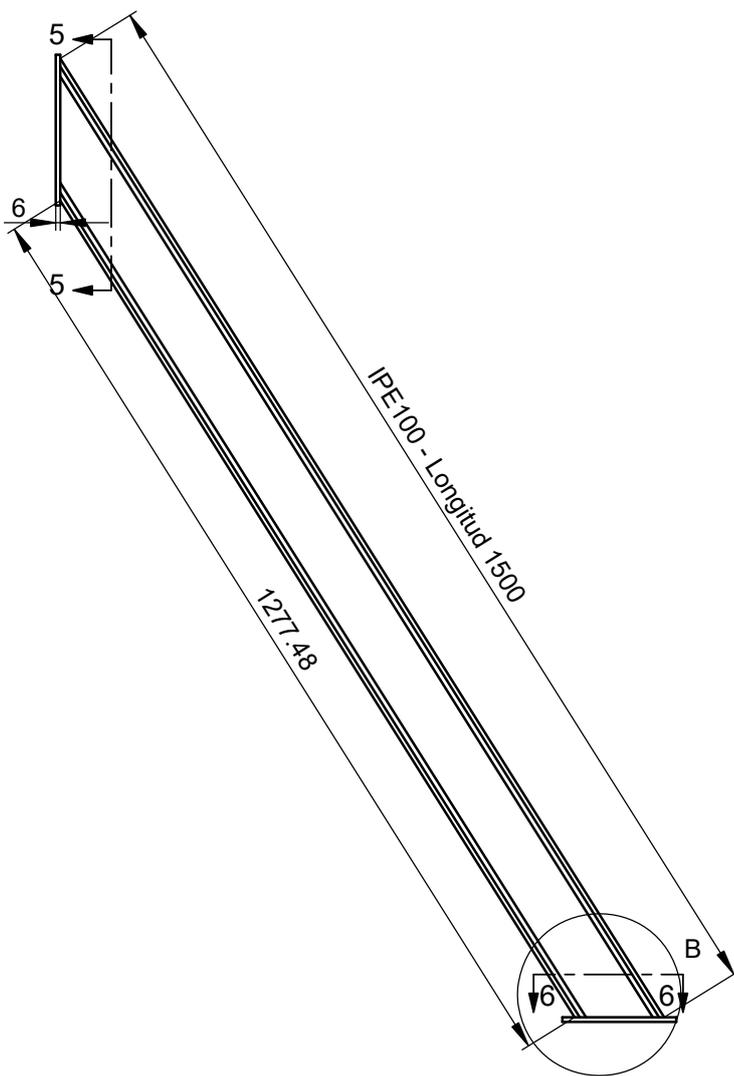


D

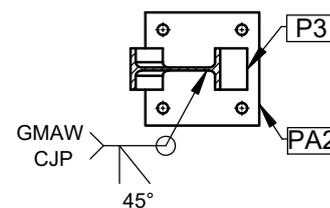
DETALLE DE SOLDADURA CJP ENTRE
IPE100 Y PLACA DE ANCAJE



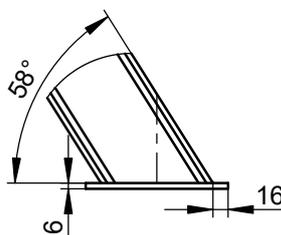
E



SECCIÓN 6-6



DETALLE B



				Tolerancias ± 2 mm	Peso 59.20 kg	Proyecto MÁQUINA DE ENSAYOS DE CONEXIONES VIGA-COLUMNA	
						Denominación CONSTRUCCIÓN DE SOPORTE LATERAL	Escala 1:2
				Fecha	Nombre		
				Dib.	02/06/23		Shigui Dennis
				Rev.	09/06/23		Ing. Peña F, MSc.
				Apro	12/06/23	Ing. Peña F, MSc.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Materiales ACERO ASTM A-36	Sistema
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			Número del Dibujo 5/7	

1

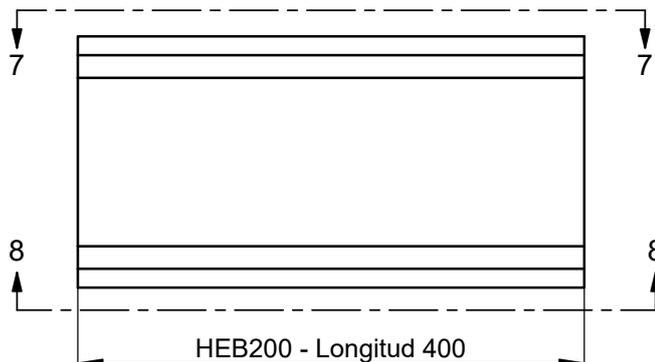
2

3

4

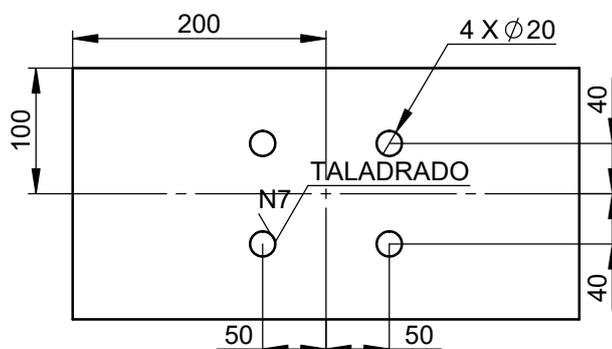
A

SOPORTE MUESTRA DE ENSAYO:
TALADRADO
REQUERIDOS: 2

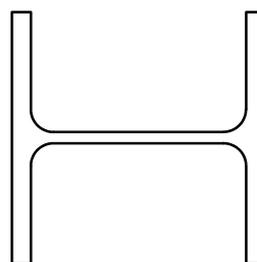


B

SECCIÓN 7-7



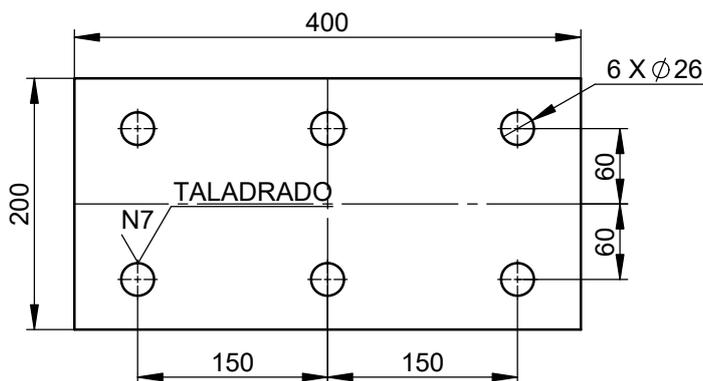
SECCIÓN HEB200



C

D

SECCIÓN 8-8



E

				Tolerancias ± 2 mm	Peso 61.33 kg	Proyecto MÁQUINA DE ENSAYOS DE CONEXIONES VIGA-COLUMNA		
						Denominación CONSTRUCCIÓN DE SOPORTE DE MUESTRA DE ENSAYO	Escala 1:5	
				Dib.	Fecha		Nombre	
				Rev.	09/06/23		Ing. Peña F, MSc.	
				Apro	12/06/23		Ing. Peña F, MSc.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Materiales ACERO ASTM A-36	Sistema	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			Número del Dibujo 6/7		

1

2

3

4

MUESTRA DE ENSAYO:

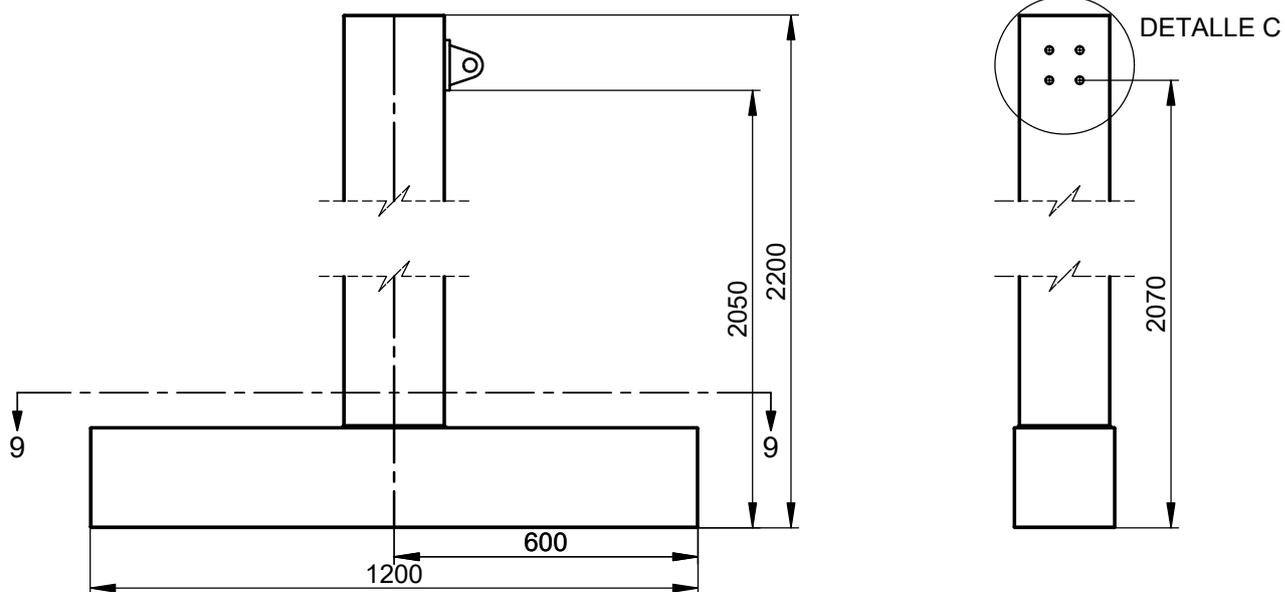
A

B

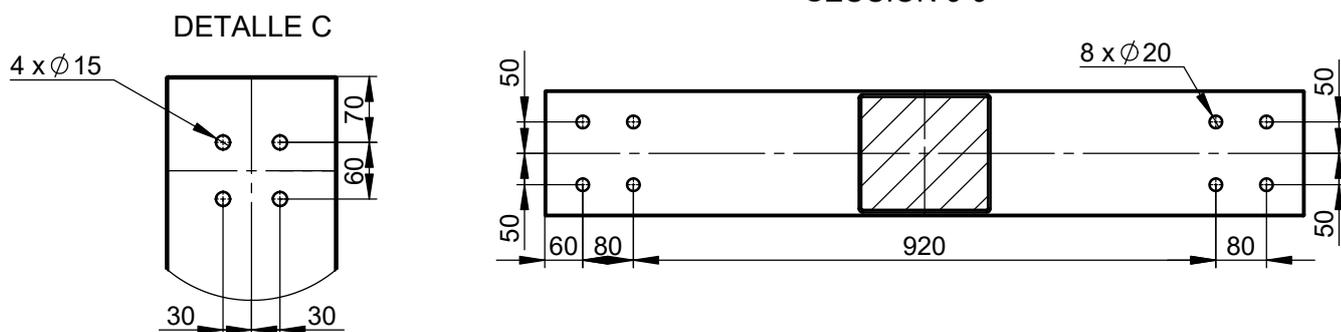
C

D

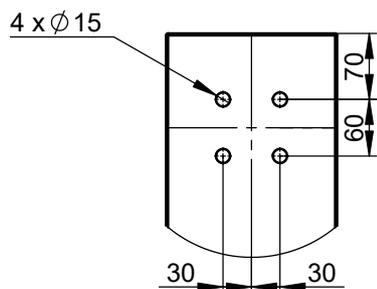
E



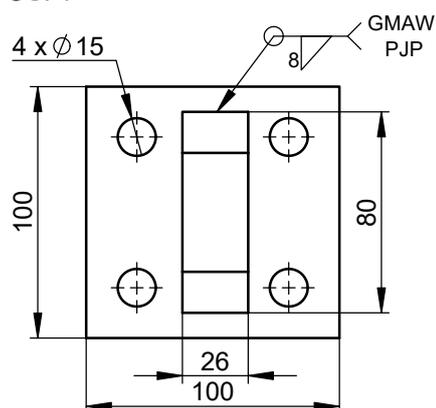
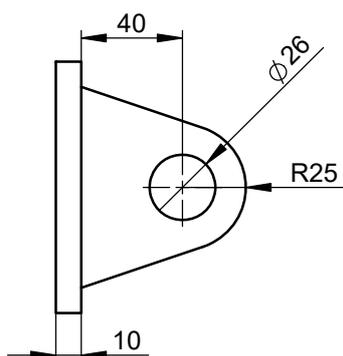
SECCIÓN 9-9



DETALLE C



SA2
PLE10-PLE26
REQUERIDOS: 1



				Tolerancias ± 2 mm	Peso 1.42 kg	Proyecto MÁQUINA DE ENSAYOS DE CONEXIONES VIGA-COLUMNNA		
						Denominación DIMENSIONES GENERALES DE MUESTRA DE ENSAYO Y ANCLAJE DE ACTUADOR HIDRÁULICO	Escala 1:10	
				Dib.	Fecha		Nombre	
				Rev.	09/06/23		Ing. Peña F, MSc.	
				Apro	12/06/23	Ing. Peña F, MSc.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Materiales ACERO ASTM A-36	Sistema	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Número del Dibujo 7/7		