



POSGRADOS

MAESTRÍA EN

INGENIERÍA MECÁNICA CON MENCIÓN
EN DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS
EN OBRAS CIVILES E INDUSTRIALES

RPC-SO-24-NO.540-2020

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTO DE TITULACIÓN CON
COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN
APLICADA Y/O DE DESARROLLO

TEMA:

ELABORACIÓN DEL PLAN DE
ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE
CALIDAD (QA/QC) Y PROCEDIMIENTO
DE SOLDADURA (WPS) PARA LA
ESTRUCTURA DE GUÍAS, SOPORTE Y
ELEVACIÓN DE UN ASCENSOR DE USO
HOSPITALARIO

AUTOR:

JOSÉ ENRIQUE BERMEO VALLEJO

DIRECTOR:

PAUL BOLÍVAR TORRES JARA

CUENCA – ECUADOR

2024

Autor:**José Enrique Bermeo Vallejo**

Ingeniero Mecánico.

Candidato a Magíster en Ingeniería Mecánica con mención en Diseño de Estructuras Metálicas en Obras Civiles e Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

jbermeov@yahoo.es, jbermeov@est.ups.edu.ec

Dirigido por:**Paul Bolívar Torres Jara**

Ingeniero Mecánico.

Magíster en Ingeniería Mecánica.

ptorresj@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2024 © Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

JOSE ENRIQUE BERMEO VALLEJO

Elaboración del plan de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) y procedimiento de soldadura (WPS) para la estructura de guías, soporte y elevación de un ascensor de uso hospitalario

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi esposa Lourdes, a mi padre José Antonio, mi madre Teresa, a mi hijo Leonardo y mi hija Émilie. Han sido mi mayor motivación y quienes me han hecho recordar que si bien no se debe olvidar desde dónde venimos, no debemos dejar de trabajar para llegar al lugar al que aspiramos, y recordarme también que siempre será más placentero avanzar en familia.

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento con mis padres, mi esposa y mis hermanas, cualquier momento de dificultad ha sido enfrentado y aun con muy duras pruebas como familia, no nos hemos soltado la mano durante la batalla hasta estar seguros de que el peligro se ha alejado, y soltándonos las manos para aplaudir las metas alcanzadas por cada uno.

Debo también agradecer a la Ing. Gloria Corte como directora de fiscalización de la obra, por la oportunidad brindada para desarrollar este proyecto, apoyando además la aplicación y autorizar su control y, sobre todo confiando en la correcta ejecución de lo planteado con este proyecto no sin estar pendiente de un correcto desempeño, demostrando así su calidad humana y ser una profesional muy correcta.

No puede quedarse fuera de mis agradecimientos al Ing. Paul Torres, por su apoyo sincero y criterio profesional de mucho valor para conseguir un resultado sobresaliente.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	8
Abstract.....	9
1. Introducción.....	10
2. Determinación del Problema.....	11
3. Marco teórico referencial.....	12
3.1 Generalidades de los ascensores.....	12
3.1.1.1 Composición de un ascensor eléctrico.....	14
3.1.1.2 Solicitaciones y cargas para el diseño de estructura de ascensor.....	16
3.2 Aseguramiento y Control de la Calidad (QA/QC).....	18
3.2.1.1 Documentos y Registros de QA/QC.....	19
3.2.1.2 Programa de control de calidad del fabricante.....	19
3.2.1.3 Identificación de Materiales (AISC 303-22, sección 6).....	20
3.2.1.4 Procedimientos del fabricante para el control de calidad (AISC 360-16, NEC-SE-20 AC).....	20
3.2.1.5 Procedimientos del instalador para el control de Calidad.....	23
3.2.1.6 Documentos del Fabricante y del Instalador (AISC 360-22).....	23
3.2.1.7 Controles de fabricación y montaje.....	23
3.2.1.8 Planos de taller y montaje (AISC 360-22).....	23
3.2.1.9 Fabricación.....	24
3.2.1.10 Pintura de taller.....	25
3.2.1.11 Montaje.....	26
3.2.1.12 Especificaciones mínimas verificables de pintura o recubrimiento.....	27
3.3 Diseño por Fatiga.....	31
3.3.1 Falla por Fatiga.....	31
3.3.2 Diseño por Fatiga (AISC 360-22).....	32
3.4 Especificaciones de Procedimientos de Soldadura (WPS) Precalificados para estructuras tubulares bajo carga cíclica.....	36
3.4.1.1 Desarrollo de la WPS precalificadas.....	37
3.4.1.1 Juntas soldadas Precalificadas para estructuras tubulares.....	37
3.4.1.2 Procesos de soldadura.....	44
3.4.1.3 Simbología de soldadura.....	45
3.4.1.4 Respaldo (AWS D1.1).....	47
3.4.1.5 Recomendaciones de mejora de la junta a fatiga.....	47
3.5 Inspecciones de soldadura con NDT.....	47
4. Materiales y metodología.....	49
4.1 Plan de aseguramiento y Control de la calidad.....	50
4.1.1.1 Ítem 1: Planificación y Ejecución de Inspecciones realizadas en conjunto con la autoridad controladora o fiscalización.....	51
4.1.1.2 Ítem 2: Identificación de Materiales.....	53

4.1.1.3	Ítem 3: Soldadura.....	54
4.1.1.4	Ítem 4: Fabricación e Izaje.....	62
4.1.1.5	Ítem 5: Preparación y Aplicación de recubrimiento Superficial.....	63
4.2	Procedimientos de soldadura	65
4.2.1.1	Diseño de junta en conexión Columna-Columna (Tubular bajo carga Cíclica)65	
4.2.2	Diseño de junta para fabricación de columnas principales HSS (Carga Cíclica)	67
4.2.3	Diseño de la conexión Columna-Placa base (Estructura tubular y Carga Cíclica) ...	69
4.2.4	Conexión Viga tipo I hacia Columna.....	72
4.2.5	Definición del Proceso y Variables de Soldadura	75
4.3	Informe de Resultados de las inspecciones	82
4.3.1.1	Resultados Planificación y Ejecución de la Inspecciones Realizadas en conjunto con la autoridad controladora o fiscalización (Ítem 1).....	82
4.3.1.2	Etapa previa a fabricación	82
4.3.1.3	Etapa de Fabricación (Resultados de aplicación de ítem 2 y 3).....	96
4.3.1.4	Etapa de Montaje (Resultados de aplicación de ítem 4).....	104
4.47	Estructura de la terraza finalizada y cubierta	111
	Fuente: Elaboración propia.....	111
5.	Resultados y discusión	114
6.	Conclusiones	116
	Referencias	117
	Anexos.....	119
	1. Certificado de aceptación del Plan por parte de la fiscalización de la obra	120
	2. Formatos de recepción de Materiales y composición de los perfiles	121
	3. Planos Constructivos	122
	4. Procedimientos de Soldadura WPS.....	123

ELABORACIÓN DEL PLAN DE
ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE
CALIDAD (QA/QC) Y PROCEDIMIENTO DE
SOLDADURA (WPS) PARA LA ESTRUCTURA
DE GUÍAS, SOPORTE Y ELEVACIÓN DE UN
ASCENSOR DE USO HOSPITALARIO

AUTOR(ES):

JOSÉ ENRIQUE BERMEO VALLEJO

RESUMEN

Se presenta un plan de Aseguramiento y Control de la Calidad (QA/QC) para la estructura de soporte, guiado y elevación de un elevador montacamillas de uso hospitalario de dos cabinas o tipo dúplex.

En la primera sección se describen los componentes estructurales de un ascensor y cómo actúan las cargas, siendo no únicamente cargas verticales sino también cargas laterales, las cuales deben ser consideradas para el diseño estructural.

En complemento a las cargas verticales gravitacionales y laterales, la carga y descarga de pasajeros en la cabina y junto con su cambio de posición dentro de la estructura genera una carga cíclica, en base a esto, fue incluido el criterio de este tipo de carga tanto para la ingeniería en el diseño estructural, como para el desarrollo del plan QA/QC, y toda la normativa consultada incluye capítulos específicamente para diseño estructural para fatiga e inspecciones bajo cargas cíclicas, las mismas que fueron base para cimentar el plan.

Las Especificaciones del Procedimientos de Soldadura (WPS) fueron también desarrollados considerando esta base de carga cíclica, pero también existe una particularidad adicional de que la estructura tenía un diseño tubular, dando como resultado, una estructura tubular sometida a carga cíclica. De igual manera, en las normas consultadas, presentan alternativas para el diseño de este tipo de juntas con suficiente detalla para proceder con su construcción.

Finalmente, se presenta el informe con la aplicación del plan QA/QC planteado en este proyecto, el mismo que muestra ser robusto y permite completar toda la información que puede ir surgiendo durante la construcción, para asegurar el desempeño esperado de la estructura.

Palabras clave:

QA/QC, Fatiga, estructura tubular, WPS

ABSTRACT

A Quality Assurance and Control (QA/QC) plan is presented for the support, guiding and lifting structure of a two-cabin or duplex-type stretcher lift for hospital use.

The first section describes the structural components of an elevator and how the loads act, not only vertical loads but also lateral loads, which must be considered for the structural design.

In addition to the vertical gravitational and lateral loads, the loading and unloading of passengers in the cabin and together with their change of position within the structure generates a cyclic load. Based on this, the criterion for this type of load was included both for engineering in structural design, as well as for the development of the QA/QC plan, and all the regulations consulted include chapters specifically for structural design for fatigue and inspections under cyclic loads, the same ones that were the basis for founding the plan.

The Welding Procedure Specifications (WPS) were also developed considering this cyclic loading basis, but there is also an additional peculiarity that the structure had a tubular design, resulting in a tubular structure subjected to cyclic loading. Likewise, in the standards consulted, they present alternatives for the design of this type of joints with sufficient detail to proceed with their construction.

Finally, the report is presented with the application of the QA/QC plan proposed in this project, which shows to be robust and allows for the completion of all the information that may arise during construction, to ensure the expected performance of the structure.

Palabras clave:

QA/QC, Dynamic load, tubular structure, WPS.

1. INTRODUCCIÓN

Las edificaciones destinadas al área de salud como los hospitales, tienen la mayor importancia estructural de acuerdo a la NEC-SE-DS, es decir que se diseñan para condiciones de mayor exigencia frente a eventos sísmicos, debiendo estos mantener su integridad y seguridad para continuar su operación permanente.

El proyecto planteado, se basa en definir un plan de Aseguramiento y Control de Calidad para la construcción de la estructura metálica para elevación y guiado para ascensores de uso hospitalario que serán instalados en un hospital privado en la ciudad de Azogues de la provincia del Cañar, estos darán las facilidades de circulación vertical en 5 niveles distintos, en total se dispondrán de 3 cabinas independientes, siendo 2 de estos para traslado con camillas o monta-camillas y uno solamente para pacientes. Las dos cabinas monta-camillas compartirán la misma estructura por ser del tipo dúplex, y la cabina para pacientes tendrá una estructura independiente. Los lineamientos y medidas mínimas internas de las cabinas de acuerdo a su ocupación están indicadas en la norma INEN NTE 3139.

El diseño de la estructura se ha planteado para ser autoportante, es decir que tendrá sus propios miembros como son las columnas, vigas y cimentación y en conjunto tendrán la capacidad de cargar su propio peso y las cargas demandadas o solicitadas. No es objetivo de este proyecto detallar los cálculos y metodología del diseño, sin embargo, como parte del aseguramiento de calidad fueron observados la demanda/capacidad y que esté en dentro de los valores indicados por las normativas aplicables como son la AWS D1.1 o AISC 360. Es importante tener presente que este tipo de estructuras está sometida a cargas cíclicas, debido a que las cabinas estarán continuamente en movimiento y por lo tanto las consideraciones deberán ser sentadas en base a esta condición de carga.

Luego de haber mencionado de forma muy breve el enfoque del proyecto y en qué tipo de edificación se estará interviniendo, junto con las consideraciones particulares de ingeniería estructural para este caso en específico, se desarrollarán los registros, los procedimientos de soldadura y los controles que permitirán mantener la concordancia entre el diseño planteado, la construcción y verificaciones, para llegar así a cumplir con una estructura robusta y segura que se mantendrá en operación tanto por las cargas demandadas así como las sísmicas y las generadas por su operación normal (carga cíclica).

2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

El diseño de una estructura, muy independientemente de su material y su utilización, está indicado con las directrices que deberán ser seguidas para de esta manera conseguir el comportamiento esperado. Observar todas estas directrices es una parte del departamento de ingeniería a cargo de verificación o fiscalización. En complemento a esto, el estar seguros de la correcta construcción de cada uno de los miembros estructurales y su izaje, al estar cumpliendo con la indicado en las especificaciones, con un proceso apropiado permitido o dictado por normativa y dar seguimiento manteniendo un registro de los mismos para de esa manera no tener duda de generar posibles zonas críticas, no por un diseño deficiente sino por defectos constructivos.

El Aseguramiento y Control de calidad son las tareas que primero definen qué tareas deben ser desarrolladas para asegurar el cumplimiento de la calidad y su aplicación se denomina el Control de calidad. Su aplicación se denomina Inspección y es ejecutada por una tercera persona ajena a la empresa contratista y a fiscalización. Esta afirmación resume lo definido por la AISC 360, la FEMA 353 y la NEC-SE-AC 2014.

Como insumos para el proyecto, se tendrán las condiciones de carga que ejercerá el elevador sobre la estructura, el diseño estructural junto con la memoria de cálculo, y finalmente las condiciones en las que la estructura estará en operación. La información de las cargas será de utilidad para el diseño estructural y queda fuera del alcance de este proyecto, los resultados del diseño estructural por otro lado es la información de partida para definir los procedimientos y verificaciones del material que va a ser usado.

3. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Para elaborar un plan de aseguramiento de la calidad y de control de calidad, es pertinente afianzarse a las normativas estructurales civiles de gran trayectoria como lo es la AISC 360, la cual detalla un registro sobre el cual una entidad controladora competente deberá verificar a fin de cumplir con todas las especificaciones del diseño estructural y además brindar la seguridad de que las prácticas constructivas se desempeñaron de manera apropiada y para definir las como tal de manera objetiva, la norma antes mencionada hará referencia a otras, y en conjunto generarán un plan de aseguramiento y control de calidad que considere cada uno de los puntos relevantes con la suficiente profundidad como para confiar en una vida prolongada de una estructura.

Al ser también parte de este proyecto los procedimientos de soldadura, se revisarán los ítems o variables que deben constar dentro de los mismos, así como el diseño de la junta a ser soldada teniendo como antecedente la estructura específica tanto para la parte del diseño estructural planteado como las particularidades constructivas.

Se inicia definiendo a los asesores en su tipología, sus componentes básicos y la configuración de las cargas que deberá soportar la carga de soporte de las guías, es decir información de entrada suficiente para las consideraciones de ingeniería y constructivas sin entrar en detalle en sus componentes por no ser parte de este proyecto sino la estructura que los guiará y soportará.

3.1 GENERALIDADES DE LOS ASCENSORES

Un ascensor es un sistema de transporte vertical, diseñado para mover personas entre los diferentes niveles de un edificio o de una estructura, así lo define la NTE INEN 3139. Las ASME A17.1/CSA B44-13 lo define como un mecanismo de elevación y descenso, equipado con una cabina, que se traslada con guías y permite el acceso a dos o más niveles, y se clasifica en:

- Elevador de carga (montacargas) pudiendo ser abordado por el operador para la configuración y carga y descarga, no es para transporte de personas.
- Elevador de pasajeros, usado principalmente para transporte de personas, siendo configurado por un operador o un pasajero
- Elevador manual, que usa solamente energía manual para el traslado
- Elevador eléctrico, usa energía eléctrica para su traslado
- Elevador hidráulico, es trasladado por un líquido a presión que acciona un actuador hidráulico

- Elevador inclinado, se traslada en diagonal hasta en un ángulo de 70° o menos respecto de la horizontal
- Elevador de uso/aplicación limitada, un elevador limitado por su tamaño, capacidad velocidad
- Elevador multi compartimientos, este elevador tiene dos o más compartimientos ubicados uno sobre otro
- Elevador marino, usado en embarcaciones marítimas
- Elevador minero, instalado para servicio en mineras, para el transporte de personal, materiales, quipos o insumos. Estos elevadores son similares a los elevadores eléctricos pero adaptados a las condiciones de operación en minas
- Elevador de emergencia, ubicado en la parte exterior de la edificación y puede tener hasta cinco compartimientos, usado exclusivamente para evacuación y operado por personal de emergencia
- Elevador panorámico, instalado para brindar una vista panorámica a sus pasajeros mientras se trasladan
- Elevador para construcción, instalado de forma provisional con el fin de accesibilidad auxiliar durante la etapa constructiva

La misma norma ASME citada, clasifica a los elevadores eléctricos por su carga, que son clases A, B y C y a continuación se describen:

- Clase A: Traslado de carga general, que será cargado hasta un máximo de un 25% de su capacidad total. Su capacidad de carga debe estar considerada con un mínimo de 240kg/m² tomando en cuenta el área interna neta de la plataforma de la cabina.
- Clase B: Para de vehículos a motor, usado únicamente para vehículos automotrices, su capacidad de carga puede ser usada hasta el 100%, considerada esta con un mínimo de 140kg/m² del área interna neta de la cabina.
- Clase C, para cargas pesadas de uso industrial, se subclasifica en:
 - o Clase C1, para vehículos industriales, su capacidad de carga no debe exceder al 100% de la capacidad del elevador.
 - o Clase C2, para vehículos industriales, Permite exceder la capacidad de carga del elevador, es decir puede abordar el vehículo cargado,
 - o Clase C3, otras cargas con altas concentraciones, en las cuales su capacidad de carga no debe ser excedida.

En cuanto al espacio de la cabina para ascensores monta camillas, la NTE INEN 3139, indica que las dimensiones mínimas del área interna de la cabina tendrán al menos un ancho de 1200mm y 2300mm de profundidad, con un ancho libre de acceso no menor a 1100mm.

3.1.1.1 COMPOSICIÓN DE UN ASCENSOR ELÉCTRICO

La composición de un elevador eléctrico se muestra en la figura 3.2, mostrando de manera general sus componentes básicos, cada uno cumple con su función y se describirá a continuación:

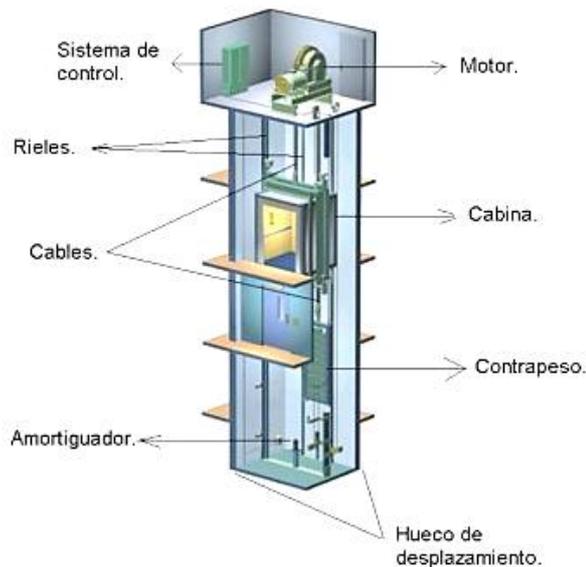


Figura 3.1 Componentes básicos de un ascensor eléctrico

Fuente: (*Funcionamiento de un ascensor eléctrico - Ascensores y otros elevadores, 2021*)

Cabina: es el único componente que se traslada entre las diferentes plantas o niveles al que se desee acceder. Es elevada o descendida cuando el motor eléctrico rota las poleas que a su vez tiran los cables hacia un lado u otro de acuerdo al sentido de circulación. Mantiene su verticalidad por los rieles que no permiten desplazarse en sentido horizontal, es decir que los rieles cumplen doble función, guiar y restringir, por lo tanto, estos tendrán una interacción permanente con la estructura de soporte.

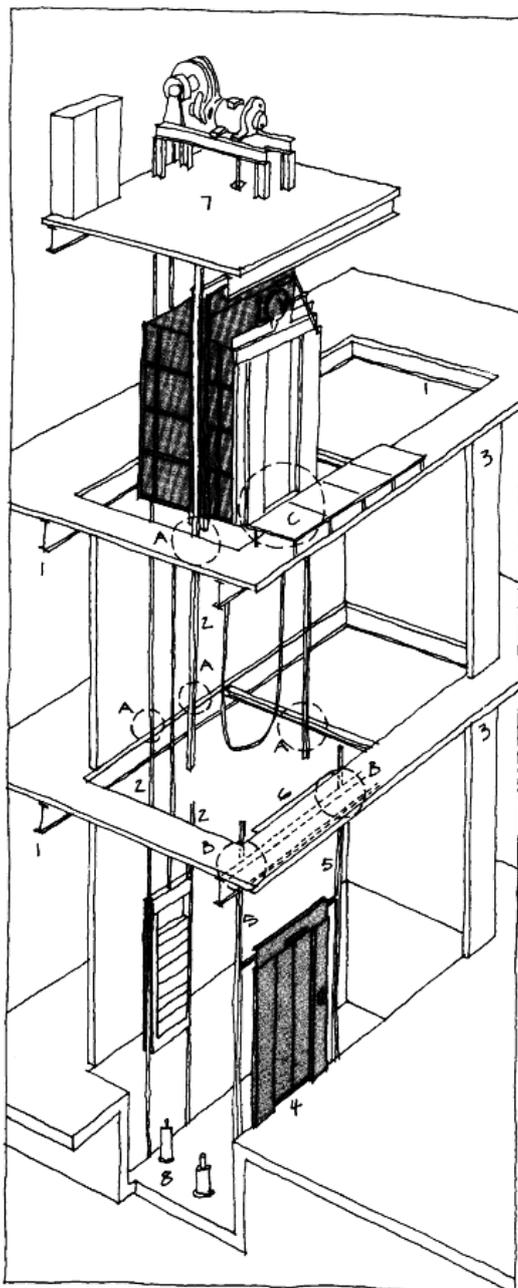
Motor eléctrico: es controlado por el sistema de control, a su vez recibirá las ordenes desde la botonera ubicada en el interior de la cabina y estará accesible al usuario

Contrapeso: aligerar la carga del motor, tiene aproximadamente 50% del peso de la cabina y cuando el motor se activa el contrapeso actúa en sentido contrario al peso de la cabina, de modo que puede descontar el peso que se suspende de la cabina sea elevación o en descenso (Inelsa-Zener, 2021).

Hueco o ducto de desplazamiento: es el espacio dentro del cual se confina todo el sistema del elevador y la estructura empieza desde el piso de arranque del elevador y termina en el último nivel de acceso del elevador, dependiendo de las puertas de acceso a la cabina y el diseño del ascensor (panorámicos), el ducto tendrá las paredes o muros de confinamiento.

Gobernador: Es el punto fijo de sujeción de los cables que desplazan el ascensor. No se muestra en las figuras

En la figura 3.2 muestra de igual manera sus componentes, pero dando mayor importancia a su interacción con la estructura. Se mencionó que los rieles cumplen la función de guiar a la cabina y de evitar que se desplace en sentido horizontal y para ello estas se conectan directamente a la estructura, por lo tanto, la estructura del ascensor debe soportar todas las cargas horizontales o reacciones que limitan los desplazamientos, es decir que no solamente debe soportar las cargas verticales de carga muerta del peso de todos los componentes sino también de guiado.



Componentes:

1. Marcos de estructura de soporte
2. Rieles guía
3. Muros de ducto de elevación
4. Pasillo de acceso
5. Soporte de puerta
6. Umbrales
7. Cuarto de máquinas
8. Fosa de elevación

Interfaces

- A. Soportes de riel guía
- B. Conexiones de soporte de puerta
- C. Conexiones de umbrales

Figura 3.2 Instalación de un ascensor eléctrico, composición e interfaces con la estructura de soporte y guiado
Fuente: Adaptado de (SCI_P103.pdf, s. f.)

3.1.1.2 SOLICITACIONES Y CARGAS PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURA DE ASCENSOR

Puede confundirse el diseño de la estructura del ascensor y el diseño de la estructura de transporte y guiado. Para el diseño de una estructura del ascensor, las cargas vienen definidas por normativa y depende de la clase, es decir A, B o C.

En cuanto a la estructura de soporte y guiado, se refiere a la estructura que va a soportar toda la carga muerta del ascensor, es decir, cabina, motor, guías de cabina y contrapeso, contrapeso, cables, etc., adicional a estas cargas, están las cargas laterales, para evitar el desplazamiento en el plano, que serán provocadas por las excentricidades de la carga en la cabina, este efecto se ilustra en las figuras 3.3 y 3.4. El momento flector es soportado por las guías, las cuales vienen definidas en función de la capacidad del ascensor, al igual que la separación máxima entre apoyos, esto se ilustra en la figura 3.5, estas separaciones están determinadas tanto por las cargas como la zona sísmica en la que se encuentre.

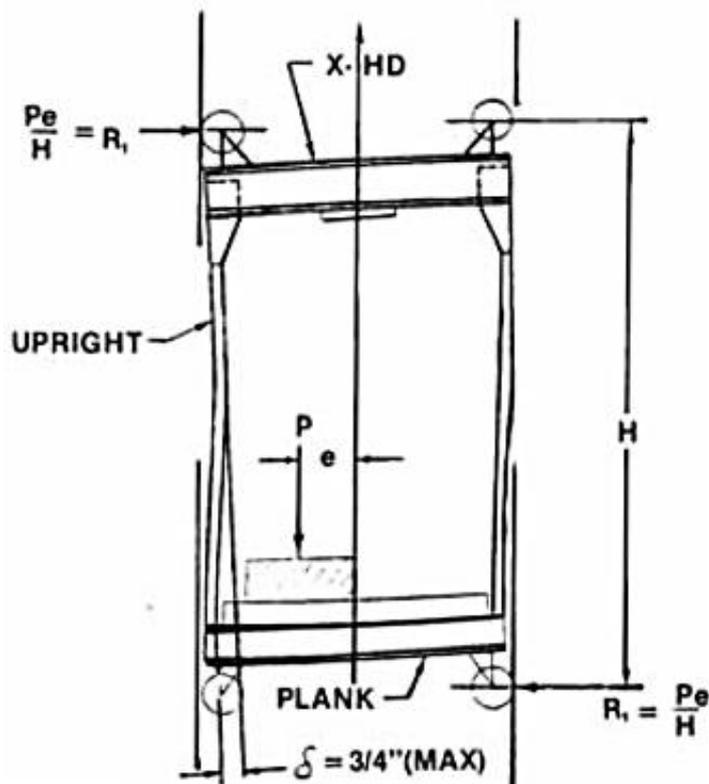


Figura 3.3. Momento flector provocado por carga excéntrica al interior de la cabina del ascensor. Vista en elevación
Fuente: (Gibson, s. f.)

Distribución excéntrica de carga sobre la plataforma

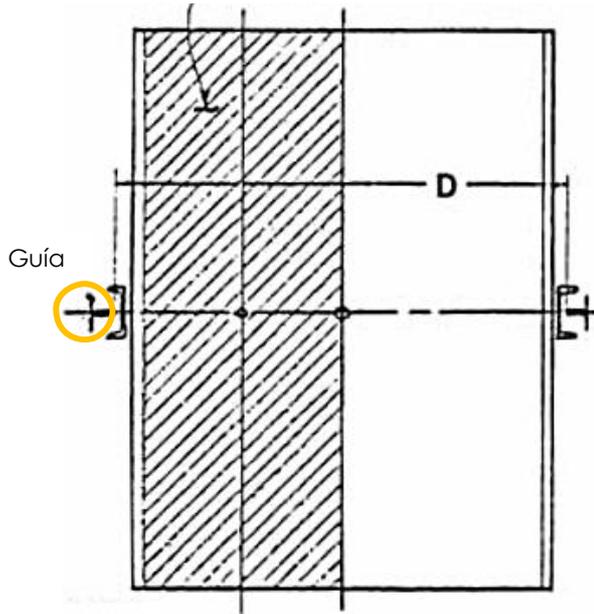


Figura 3.4. Distribución excéntrica de la carga sobre la plataforma de la cabina. Vista superior

Fuente:
Adaptado de (Gibson, s. f.)

Fig. 8.4.8.2-6 33.5 kg/m (22.5 lb/ft) Guide-Rail Bracket Spacing

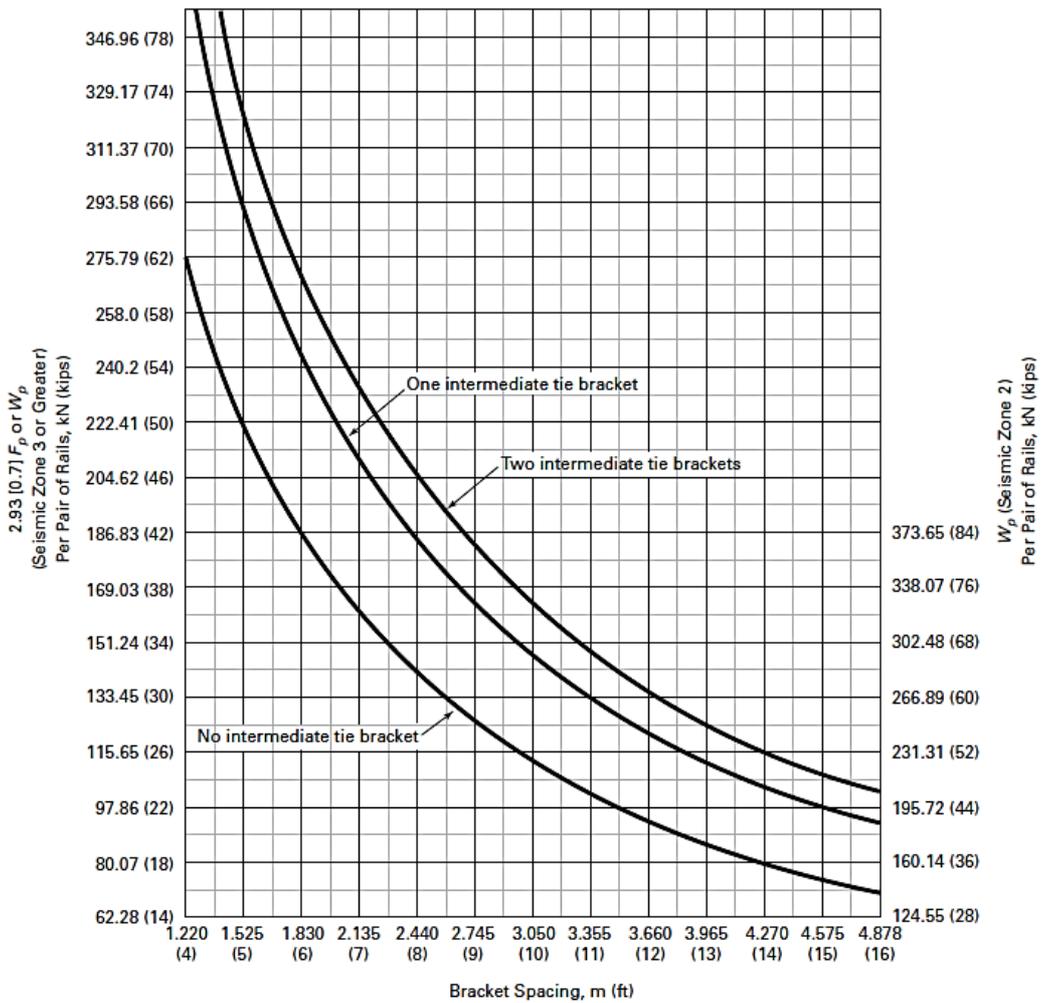


Figura 3.5 separación entre apoyos (brackets) para las guías de la cabina
Fuente: (A17.1/CSA B44 Handbook on Safety Codes for Elevator and Escalators - ASME, s. f.)

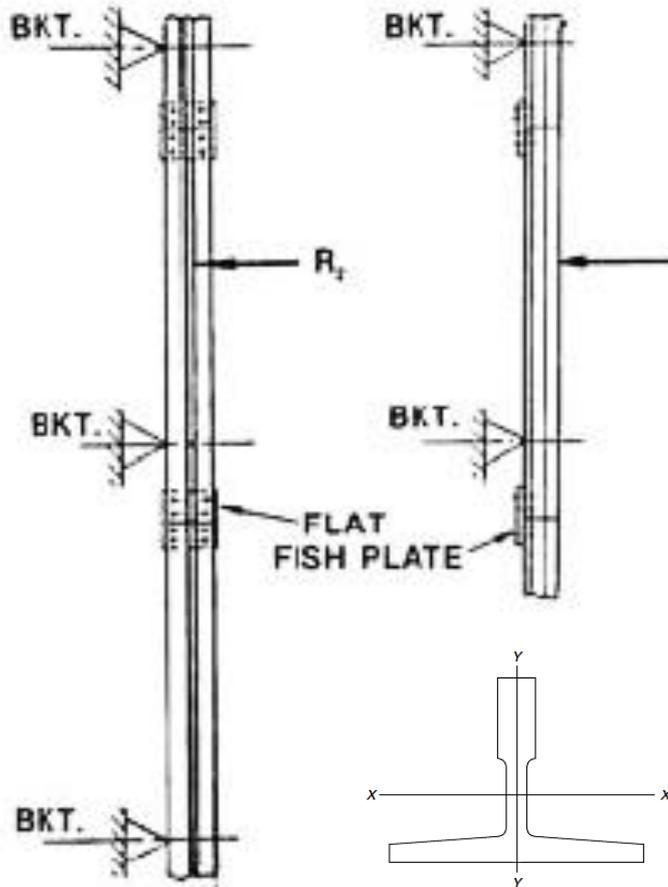


Figura 3.6 Distribución de los soportes para las guías de la cabina.
Se muestra también la sección de una guía
Fuente: (Gibson, s. f.)

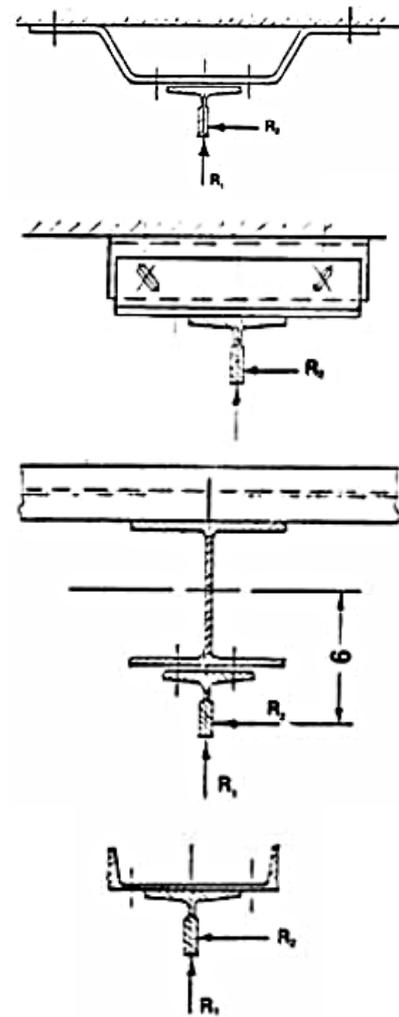


Figura 3.7 Distintos tipos de sujeción de guías aprobados por la ASME A17.1
Fuente: (Gibson, s. f.)

3.2 ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD (QA/QC)

De acuerdo a la ISO 9001, de manera resumida, el *aseguramiento de la calidad (QA)* se define como el conjunto de las actividades orientadas a proporcionar confianza en que se cumplirán los requisitos de calidad; y el *control de calidad (QC)* se define como las actividades orientadas al cumplimiento de los requisitos de calidad.

Los requisitos regularmente se indican en las especificaciones técnicas del proyecto, pero además existirán requisitos de regulación que serán mandatorios para su definición, y las normas AWS y AISC son las referencias para estructuras metálicas.

La norma NEC para estructuras de acero NEC-SE-AC en el capítulo 10, presenta de forma general el Plan de Control de Calidad (PCC) y el Plan de Garantía de Calidad (PGC), siendo el QA el equivalente al plan de aseguramiento de calidad por incluir las tareas de inspección que deberán ser ejecutadas, y el plan de control de calidad ejecuta y registra los trabajos de inspección o QC. Estos dos documentos deben ser parte de los documentos contractuales, debiendo ser el PGC elaborado o entregado por la Fiscalización y el PCC ejecutado bajo la responsabilidad del contratista y ser registrados, documentados y aceptados por una firma externa. Dentro del PGC se incluye también la valoración del rendimiento del contratista para realizar los controles de calidad, y fiscalización será responsable de la verificación de que existan los controles requeridos del proyecto.

La AISC 360-22 y la NEC-SE-AC presentan los requisitos para un control y aseguramiento de la calidad confiable. En las disposiciones generales de la AISC 360-22 de igual manera manifiesta que el QC debe ser presentado por el fabricante e instalador, y el QA cuando la autoridad competente lo solicite (Fiscalización) podrá ser tomada por el código de construcción aplicable, el comprador, el propietario o el ingeniero responsable. Y la ejecución de los ensayos no destructivos (NDT) que corresponden al QC serán ejecutadas por firmas responsables externas.

Dependiendo del fabricante, este puede tener su propio departamento QA/QC y desarrollar su QA, pero la autoridad competente como Fiscalización deberá revisarlo y aprobarlo, al igual que las inspecciones de QC podrían ser ejecutadas por el mismo fabricante como parte de su propio control de calidad, pero un externo será quien presente los informes de inspección firmados y aprobados.

3.2.1.1 DOCUMENTOS Y REGISTROS DE QA/QC

En esta sección se revisará cuál es la documentación y registros que se deben recopilar antes, durante y posterior a los trabajos. Se toma como referencia la NEC-SE-AC y la AISC 360-22 en los capítulos M de Montaje y N de Control de calidad y Aseguramiento de la Calidad, la AISC indicada además trabaja en conjunto con al AISC 303-22 a la cual se dirige en puntos específicos.

3.2.1.2 PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD DEL FABRICANTE

Fabricante e instalador deberá poseer sus Procedimientos de Control de la Calidad para de esta manera asegurar un buen desarrollo del trabajo y cumplir con las especificaciones técnicas y términos contractuales del proyecto.

3.2.1.3 IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES (AISC 303-22, SECCIÓN 6)

El fabricante (de la estructura) estará en capacidad de demostrar por escrito el método de identificación del material, y dependiendo de los miembros a ser ensamblados, se podrá identificar como sigue:

- Denominación del material estandarizado, capacidad, y designación del perfil. La ficha de técnica de deberá estar incluida, o si fiscalización o autoridad competente solicita ensayos del material también deberán estar anexados, y serán aprobados antes de la compra
- Para un material de grado distinto al material estandarizado, deberá ser indicado junto con el perfil específico, así como ensayos o fichas de acuerdo a lo solicitado, y serán aprobados antes de la compra.
- Si el material especificado debe ser provisto bajo la norma ASTM u otro requerimiento especial indicado en los documentos contractuales, la identificación debe incluir: designación del perfil, grado del material y el número de serie de la colada. El reporte correspondiente debe ser facilitado por el fabricante, sea solicitado por fiscalización o autoridad competente o términos contractuales.

Salvo un sistema alternativo establecido por el fabricante dentro de sus formatos escritos, los perfiles estándar podrán ser mostrados como sigue:

Perfil	Material estándar y grado
L	ASTM 572/A572M Grado 50
C	ASTM A992/A992M
HSS	ASMT A500/A500M Grado C
Tubería mecánica	ASTM A53/A53M Grado B
Planchas y barras	ASTM 572/A572M Grado 50

Tabla 3.1 Perfiles y materiales estándar
Fuente: Adaptado de AISC 303-22, sección 6.1

3.2.1.4 PROCEDIMIENTOS DEL FABRICANTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD (AISC 360-16, NEC-SE-AC)

En el procedimiento de inspección al menos se debe incluir:

- **Soldadura en taller en los cuales se indique:**
 - Controles de calidad, documentación de soldadores y los Procedimientos para ser aplicados. Para esto el inspector debe contar por los planos de taller y planos de montaje, así como las respectivas especificaciones, códigos y estándares referidos.
 - Registro de:
 - Resultados de ensayos de materiales con su correspondiente cumplimiento con las especificaciones técnicas y términos contractuales.
 - Registro de fichas técnicas de los consumibles a ser utilizados para la soldadura.
 - Informes de inspecciones presentando como mínimo lo indicado en las tablas N5.4-1 y N5.4-3 de la AISC.
 - Informes de Ensayos No Destructivos (END o NDT Non Destructive Testing) con la verificación del cumplimiento con los criterios de Aceptación y Rechazo descritos en los procedimientos de Inspección de NDT.
 - Inspecciones realizadas en conjunto (coordinadas) entre el inspector y fiscalización, en los cuales se verifica que se estén cumpliendo los procedimientos de control de calidad establecidos en los términos contractuales.
 - Procedimientos de Inspección Visual (VT), en el cual se incluye como mínimo el cumplimiento de las tareas indicadas en las tablas N5.4-1, N5.4-2 y N5.4-3 de la AISC, así como las tablas 5 y 6 de la sección 13 de la NEC de referencia. Fundamentalmente son inspecciones que se realizan Antes, Durante y Después del trabajo de soldadura. Los criterios de Aceptación para VT están indicados en la AWS D1.1/D1.1M - 2020 en la tabla 10.15.
 - Ensayos No Destructivos (NDT) de Juntas soldadas, de los que se especifique:
 - Ensayos a ser realizados de acuerdo a la AWS D1.1/D1.1M, y cada uno con su procedimiento específico, el mismo que deberá ser de propiedad de la empresa y firmado por el profesional certificado.

De acuerdo a la AWS D1.1/D1.1M, el *procedimiento de inspección por NDT* es un documento que, a más de detallar las técnicas apropiadas, verificaciones del equipo o medio a ser usado, etc., presenta también los

criterios de aceptación y rechazo para dar por válida una junta soldada. Este documento debe llevar la firma de un inspector certificado. La misma AWS D1.1/D1.1M especifica que el personal debe ser certificado por la práctica recomendada SNT-TC-1A de la ASNT, esta a su vez describe que los *procedimientos de inspección por NDT* deben ser elaborados y firmados solo por un inspector Nivel III, y las inspecciones pueden ser efectuadas y firmadas por un Nivel II o III.

La NEC en la sección 10. recomienda que para ensayos superficiales se use Partículas Magnéticas (MT) y para volumétricos Ultrasonido (UT). Para lugares de difícil acceso se puede usar Tintas Penetrantes (PT).

En cuanto al ensayo aplicable, la consideración de que la estructura estará sometida a una carga cíclica, y por lo tanto a fatiga, la AISC 360-22 en el anexo 3 sección 3.6 de requisitos para NDT por fatiga, para las juntas penetración completa (CJP), deberán haber sido aceptadas por un ensayo de UT o radiografía (RT) que cumplan los criterios de Aceptación de la AWS D1.1/D1.1M – 2020 de la sección 8.12 u 8.13, de acuerdo a la técnica. La misma AISC especifica que no podrá existir reducción en la tasa de ensayos UT para este tipo de cargas.

En los registros de los NDT debe constar:

- Para la fabricación en el taller: una marca de la pieza y su ubicación en la pieza
- Para la soldadura en campo: ubicación en la estructura (ejes y nivel), marca de la pieza y localización de la pieza.
- En caso de rechazo de la soldadura, se debe indicar la ubicación del defeco y la causa de su rechazo.

- **Cortes en taller y superficies laminadas**

La norma de referencia indica que se debe seguir la AWS D1.1 en el capítulo de Fabricación permite el corte térmico para corte o preparación de la junta, sea por oxicorte o plasma; sin embargo, por el mismo hecho de ser carga cíclica, debe revisarse la rugosidad de la superficie, siendo la aceptada la que no supera la rugosidad de la muestra 2 de las AWS C4.1-77, pero la entalla máxima no debe ser mayor a 3/16" (5mm), no se especifica un mínimo.

Por parte de la AISC 303-22 toma los valores recomendados por la ASME B46.1, que indica que la rugosidad máxima debe ser de 0.5mil o 12,5µm. La misma AISC 303-22 explica que cuando se realiza el corte con disco y herramienta manual-mecánica (esmeril angula o amoladora) el perfil cumple tiene rugosidad inferior a la calidad especificada.

- Reparaciones (AISC 360-22, sección M)

Si los perfiles, planchas o barras presentan torceduras, contraflechas, etc., fuera de tolerancias, la norma permite calentar el material para realizar la reparación hasta una temperatura máxima de 650°C para acero en general a excepción de los aceros ASTM A514 y A852.

- Tolerancias

Para la definición de las tolerancias, la AISC 360-22 refiere a la AISC 303-22 sección 5, la que a su vez indica que, los materiales o perfiles deberán cumplir con las especificaciones de la norma ASTM indicada en los términos contractuales.

Como referencias además existe la INEN NTE 1623 para perfiles abiertos conformados en frío para uso estructural, en la cual detalla las tolerancias geométricas y dimensionales.

3.2.1.5 PROCEDIMIENTOS DEL INSTALADOR PARA EL CONTROL DE CALIDAD

La AISC 360-22 indica que se deben cumplir los mismos procedimientos que los descritos para el fabricante, con las variaciones de aplicación específica para el montaje o instalación en campo.

3.2.1.6 DOCUMENTOS DEL FABRICANTE Y DEL INSTALADOR (AISC 360-22)

El fabricante o el instalador debe someter los siguientes documentos a revisión y aprobación de fiscalización previo al montaje según corresponda.

3.2.1.7 CONTROLES DE FABRICACIÓN Y MONTAJE

La documentación generada y registrada, contempla además algunos controles para la fabricación y montaje. Como referencia se toma el capítulo M de la AISC 360-22, la misma que se detallará los puntos para el proyecto en específico.

3.2.1.8 PLANOS DE TALLER Y MONTAJE (AISC 360-22)

Los planos del estudio estructural son la primera fuente de información, y con estos se deben incluir los planos de taller que incluya detalles constructivos, detalles de preparación de las juntas, así como tamaño y tipo de soldadura. De igual manera en base al estudio se define el montaje identificando cada miembro con su posición final. Planos de taller y de montaje, deben identificar

la soldadura que será ejecutada en taller y cuáles en campo, así como los ensayos que serán ejecutados durante todas las etapas del proyecto, es decir durante la construcción y durante y después del montaje.

3.2.1.9 FABRICACIÓN

- Reparaciones y Cortes

Se describieron en la sección 3.4.1.1.2. En cuanto a los cortes, para el caso de carga cíclica, se puede agregar:

- Las esquinas entrantes deberán estar formadas con una transición curva. En la figura 3.1 se muestra qué tipo de transiciones se refiere y también cómo puede iniciar el fisuramiento en caso de que la esquina esté a 90° . La figura se tomó de la AISC 360-22, tabla A3.1 sección 1.3, la misma que indica que para una perforación de acceso con $R \geq 10\text{mm}$ no se necesita pulido o acabado brillante de la esquina si se realiza con taladrado, y para $R \geq 25\text{mm}$ de igual manera no se necesita pulido si la perforación se ha realizado con taladro, no así si se ha efectuado el corte con llama que obligatoriamente debe ser pulido.
- Para la rugosidad de los bordes cortados térmicamente, la ASME B46.1 y la AISC de referencia indican que, para elementos sujetos a tensión cíclica no debe exceder 1 mil ($25\mu\text{m}$). Permiten también tomar como referencia la AWS C4.1-77 muestra 3.

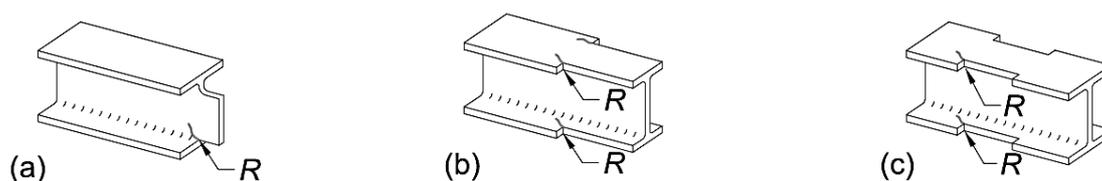


Figura 3.1 Esquinas reentrantes con transición curva
Fuente: Adaptado de AISC 360-22 sección 1.3

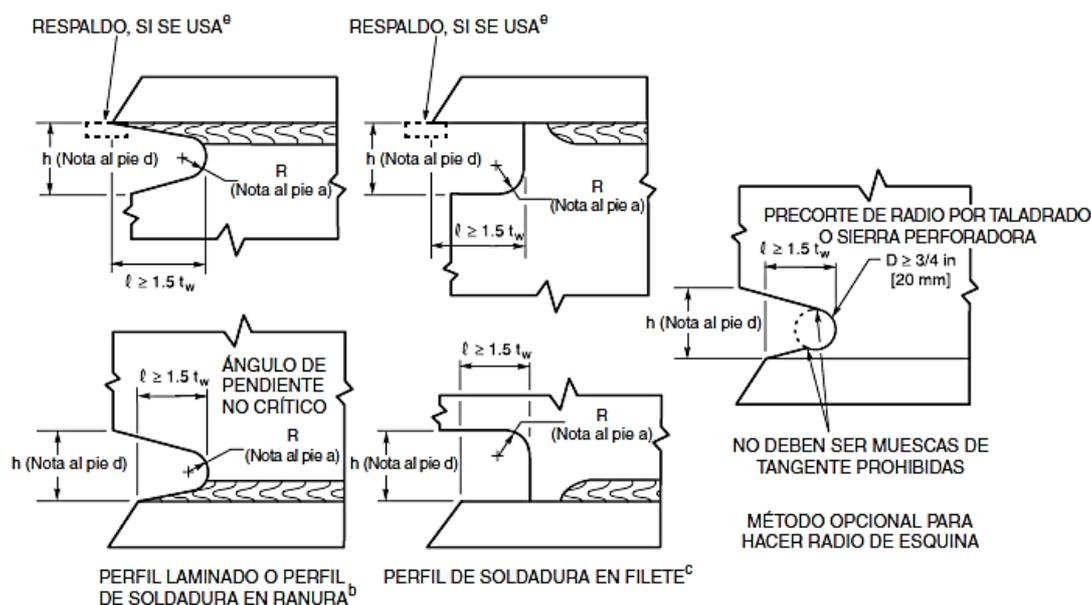
- Agujeros de acceso para conexión de vigas

Los agujeros para soldadura deben cumplir lo indicado en la AISC 360-22 sección J1.6, muy similares a la AWS D1.1:2020, las cuales se resumen a continuación:

- Deben brindar el espacio suficiente para los trabajos de soldadura
- La longitud del agujero de acceso desde el extremo preparado para la soldadura debe tener al menos 1.5 veces el espesor del alma, no debe ser menor a $1\frac{1}{2}\text{in}$ (38mm)

- La altura de la perforación debe ser igual al espesor del alma t_w , pero no menor a $h_{min} = \frac{3}{4}in$ (19mm) ni mayor a $h_{max} = 2in$ (50mm).
- El radio de perforación del agujero debe ser $R \geq \frac{3}{8}in$ (10mm) siendo el típico $\frac{1}{2}in$ (12mm).

El acabado de los bordes cortados debe además cumplir lo descrito en el párrafo de reparaciones y cortes de esta misma sección y de la sección 3.2.1.1.2. Un detalle descriptivo de las dimensiones del agujero se muestra en la figura 3.2



- ^a El radio debe proporcionar una transición sin entallas
^b Orificio de acceso realizado después de soldar el alma al patín
^c Orificio de acceso realizado antes de soldar el alma al patín. La soldadura del alma al patín no debe retomarse a través del agujero
^d $h_{min} = \frac{3}{4}in$ (19mm) o, t_w , o $h_{max} = 2in$ (50mm)
^e es un detalle típico de junta

Figura 3.2 Detalle de dimensiones de los agujeros de acceso para soldadura de vigas
 Fuente: Adaptado de AWS D1.1:2020 clausula 7.

3.2.1.10 PINTURA DE TALLER

Como requisitos generales, se aplican los descritos en la AISC 303-22 capítulo 6, de las cuales se detalla:

- La especificación de aplicación de recubrimientos (incluye pintura) descrita en los documentos contractuales es el documento mandatorio
- Si no se ha especificado en los documentos contractuales, el fabricante como mínimo debe:

- Realizar una limpieza de óxido, descamaciones, grasa, chispas de soldadura u otros contaminantes que vayan a impedir la correcta adherencia de la pintura. El método puede ser seleccionado por el fabricante debiendo reunir los requisitos especificados en la SSPC-SP2, que consiste en herramientas manuales tales como cepillos de acero, lijas, etc. la misma SSPC-SP2 recomienda la aplicación de las normas SSPC-PA1 de limpieza con solventes y las ISO 8501-1 para inspección visual del grado de limpieza e ISO 8501-3 para la preparación en las juntas soldadas. El resumen y puntos a ser aplicados se detallarán en las siguientes secciones.
- El método de aplicación puede ser con brocha, pistola de aire convencional o equipo airless, rodillos u otros métodos factibles. Debe seguir la ficha técnica e indicar el tipo de recubrimiento aplicado. El espesor de película seca mínima aceptada será de 1mil(25µm).
- Las superficies que quedarán inaccesibles luego del montaje deberán ser pintadas previamente
- Para realizar soldadura en terreno, se debe disponer de un espacio mínimo de 50mm sin recubrir para asegurar un buen contacto de soldadura o cualquier contaminante nocivo que pueda evaporarse durante el trabajo de soldadura y pueda ser inhalado.

3.2.1.11 MONTAJE

- El montaje se hará en coordinación entre el armador, el ingeniero estructural y el departamento de fiscalización, y si se afecta otras áreas o ingenierías de igual manera se deberá coordinar y mantener comunicación para que las actividades o avances programados no se vean afectados.
- Cualquier obra civil preliminar, como las cimentaciones deberá haber sido liberadas previo a las verificaciones de ejes y alturas.
- Las placas bases, deberán haber estado niveladas y a las elevaciones especificadas en planos. Deberán estar completamente asentadas en toda su superficie interior, para lo cual se permite el uso de grout autonivelante.
- Arriostramientos temporales están permitidos durante el montaje, y serán retirados cuando la estructura tenga suficiente firmeza
- Soldadura en terreno especificadas en planos, deberán tener la preparación previa realizada antes del montaje.

- Pintura en sitio, su ejecución deberá estar expresada en los documentos contractuales, así como la especificación para su inspección, en caso de no existir esta última, la autoridad controladora o fiscalización podrá exigir como mínimo lo detallado en la sección de Especificaciones mínimas.

3.2.1.12 ESPECIFICACIONES MÍNIMAS VERIFICABLES DE PINTURA O RECUBRIMIENTO

El documento contractual de especificación de recubrimientos es el documento mandatorio a la cual las inspecciones se referirán. En caso de no existir, la AISC 360-22 en cuanto a recubrimientos protectores anticorrosivos o pinturas, refiere a la AISC 303-22, la cual indica lo mínimo exigible por parte de la autoridad controladora o fiscalización será la preparación superficial y el espesor de película seca mínimo aceptado.

Para la limpieza la misma norma hace referencia a la SSPC-SP2 en conjunto con SSPC-SP1, ISO 8501-1 e ISO 8501-3. Todo este conjunto de normas es internacional, las dos primeras están dentro de la Asociación de Protección y Desempeño de Materiales AMPP (Association of Materials Protection and Performance) y las dos últimas dentro del conjunto de las ISO referido igualmente a protección de materiales contra la corrosión.

Se detallará muy brevemente la función de cada uno de los estándares citados.

- **SSPC-SP1 Limpieza superficial con solventes**

Esta norma se refiere a la limpieza con solventes a la superficie a ser recubierta, indicando que todo contaminante observable a simple vista tales como: grasas, óxidos, aceite, polvos, limallas, etc., deben ser retirados por un solvente apropiado. El método de aplicación es manual con brochas o limpiones (wipes) o atomizado.

El solvente debe seleccionarse de manera que no perjudique al material que se esté limpiando, por ejemplo, si se usa un detergente en base agua sobre acero estructural, debe tener inhibidores de óxido, de lo contrario se presentarán capas de óxido en corto tiempo.

La inspección de la eficiencia y ejecución de la limpieza se puede efectuar de forma visual o con lámparas ultravioleta para detectar grasa sobre la superficie.

- **SSPC-SP2 Limpieza superficial con herramientas manuales**

Esta norma indica los requerimientos para una limpieza con herramientas manuales para la preparación superficial, no se incluyen herramientas manuales con impulsión motorizada, sin embargo, si la autoridad controladora los

aprueba, podrán ser usadas. Se usa a continuación de la SSPC-SP1 luego de haber sido eliminadas las grasas o aceites, gradas, polvo u otros contaminantes. Con este método de limpieza se espera eliminar descamaciones, calamina pobremente adherida, óxido.

Los métodos son: con impacto para remover óxido adherido, proyecciones de soldadura, y el método con cepillos para eliminar descamaciones, calamina pobremente adherida, pintura o restos de pintura anterior.

La inspección se detallará en las especificaciones del proyecto. Como referencia se puede tomar los grados de preparación superficial en SSPC-VIS 3 de Inspección Visual de Limpieza con herramientas manuales o motorizadas.

- **ISO 8501-1 Preparación superficial – Evaluación visual de limpieza superficial, Parte 1: Grados de oxidación y preparación y superficial de sustratos de acero con recubrimiento aplicado previamente o sin recubrimiento.**

Esta norma clasifica 4 grados de oxidación, describiéndolos como sigue: Grado A Superficie completamente cubierta con calamina y una pequeña porción de óxido; Grado B, superficie con presencia notoria de óxido y la calamina ha empezado a desprenderse; Grado C, con óxido generalizado y sin presencia de calamina, picaduras ligeramente visibles a simple vista; y Grado D superficie completamente oxidada y con presencia notoria de picaduras visibles a simple vista. En lo que respecta a preparación, a la preparación manual o con herramientas motorizadas se le asigna dos niveles y se describen como: St 2 Limpieza profunda, sobre la cual sin magnificación la superficie debe estar libre de aceite, gradas o polvo y calamina pobremente adherida, óxido, residuos de pintura y materia foránea; y St 3, Limpieza muy profunda, en la cual la superficie a más de tener St 2 debe ser notorio el sustrato metálico. Imágenes referenciales pueden verse en la figura 4.3.

- **ISO 8501-3 Preparación superficial – Evaluación visual de limpieza superficial, Parte 3: Preparación de grados de soldadura, aristas y otras áreas con imperfecciones superficiales**

Esta norma toma como imperfecciones superficiales a: cordones de soldadura, aristas o filos, otras imperfecciones superficiales, y los ubica a cada uno en tres grados que son: P1 Preparación ligera, que subsana muy ligeramente cualquier imperfección, P2 Preparación profunda, que remedia algunas otras imperfecciones, y P3 Preparación muy profunda, dejando la superficie sin imperfecciones visuales perceptibles. Las condiciones se evalúan con técnica visual sin magnificación y como referencia la norma incluye ilustraciones. Por ejemplo, el cordón de soldadura en estado P3 debe ser pulido y quedar al mismo nivel de la superficie. Es importante trabajar estos niveles con las ingenierías involucradas para no afectar resistencias o secciones diseñadas. Algunos otros casos y sus grados de preparación se muestran en la figura 4.4

Todo lo indicado en los párrafos anteriores, forman un conjunto de inspección básica de recubrimientos. Para este caso particular se trabajará con perfiles de acero estructural A36 nuevo, es decir que no ha sido parte de otra estructura, sin embargo, es necesario verificar su grado de oxidación, así como la preparación superficial y evitar que una mala preparación afecte el desempeño del recubrimiento y queden zonas expuestas a corrosión.

Es perfectamente justificable mantener un control apropiado o al menos el básico, considerando además que en la AISC 360-22 anexo 3 de Diseño por fatiga, aclara que toda la resistencia a carga cíclica ahí indicadas, que se aplican únicamente a estructuras con protección adecuada a la corrosión o sometidas a atmósferas levemente corrosivas como las condiciones atmosféricas normales, es decir que para atmósferas salinas o marinas no es aplicable y se debería referenciar con otra norma.

Con esto se concluye la documentación de los registros para QA/QC, en la siguiente sección se verá diseño por fatiga, que es la condición en la que estará en funcionamiento el ascensor.

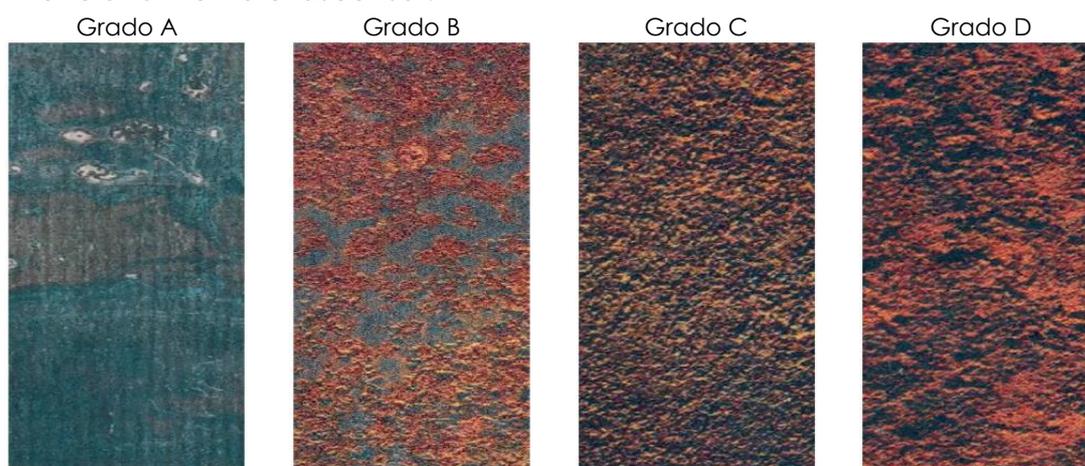
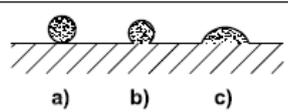
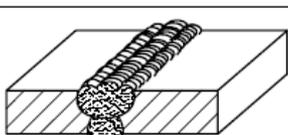
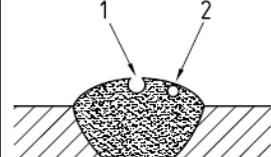
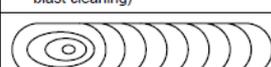


Figura 3.3 Grados de oxidación de acuerdo a la ISO 8501-1

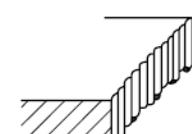
Fuente: Preparación superficial con abrasivos (*Curso preparación de superficies con abrasivos* | PPT, s. f.)

Type of imperfection		Preparation grades		
Description	Illustration	P1	P2	P3
1 Welds				
1.1 Welding spatter		Surface shall be free of all loose welding spatter [see a)]	Surface shall be free of all loose and lightly adhering welding spatter [see a) and b)] Welding spatter shown in c) may remain	Surface shall be free of all welding spatter
1.2 Weld ripple/profile		No preparation	Surface shall be dressed (e.g. by grinding) to remove irregular and sharp-edged profiles	Surface shall be fully dressed, i.e. smooth
1.3 Welding slag		Surface shall be free from welding slag	Surface shall be free from welding slag	Surface shall be free from welding slag

a) Grados de preparación del cordón de soldadura (parte de la figura 4.4)

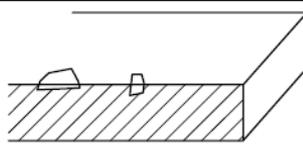
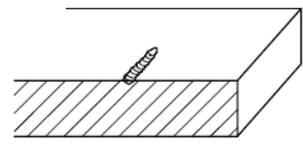
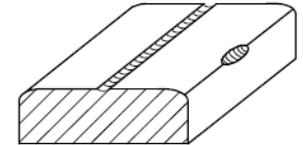
1.4 Undercut		No preparation	Surface shall be free from sharp or deep undercuts	Surface shall be free from undercuts
1.5 Weld porosity	 Key 1 visible 2 invisible (might open after abrasive blast cleaning)	No preparation	Surface pores shall be sufficiently open to allow penetration of paint, or dressed out	Surface shall be free from visible pores
1.6 End craters		No preparation	End craters shall be free from sharp edges	Surface shall be free from visible end craters

b) Grados de preparación del cordón de soldadura

2.3 Thermally cut edges		Surface shall be free of slag and loose scale	No part of the edge shall have an irregular profile	Cut face shall be removed and edges shall be rounded with a radius of not less than 2 mm (see ISO 12944-3)
3 Surfaces generally				
3.1 Pits and craters		Pits and craters shall be sufficiently open to allow penetration of paint	Pits and craters shall be sufficiently open to allow penetration of paint	Surface shall be free of pits and craters
3.2 Shelling NOTE In English-language usage, the terms "slivers" and "hackles" are also used to describe this type of imperfection.		Surface shall be free from lifted material	Surface shall be free from visible shelling	Surface shall be free from visible shelling

c) Preparación de aristas y superficies

Table 1 (continued)

Type of imperfection		Preparation grades		
Description	Illustration	P1	P2	P3
3.4 Rolled-in extraneous matter		Surface shall be free from rolled-in extraneous matter	Surface shall be free from rolled-in extraneous matter	Surface shall be free from rolled-in extraneous matter
3.5 Grooves and gouges formed by mechanical action		No preparation	The radius of grooves and gouges shall be not less than 2 mm	Surface shall be free from grooves, and the radius of gouges shall be greater than 4 mm
3.6 Indentations and roll marks		No preparation	Indentations and roll marks shall be smooth	Surface shall be free from indentations and roll marks

d) Preparación de aristas y superficies

Figura 3.4 Grados de preparación previa a la aplicación de recubrimientos de acuerdo a ISO 8501-3
Fuente: Adaptado de ISO 8501-3, Tabla 1

3.3 DISEÑO POR FATIGA

Conociendo la operación de un ascensor, en la cual los ascensos y descensos permanentes agregan cargas inerciales de aceleración y deceleración que implican sobrecargas que deben ser consideradas durante el diseño, pero que además son cargas dinámicas y cíclicas. Estas cargas podrían ser determinadas, pero es el mismo fabricante del elevador quien provea toda esta información en base a sus estudios específicos y no sea el diseñador estructural quien asuma estas cargas pudiendo ser sobre o subestimadas.

Con este antecedente, se agregan las consideraciones del diseño por fatiga para lo cual se toma como referencia la misma norma AISC 360-22 Anexo 3 de diseño por fatiga. Antes de iniciar lo detallado en la norma se definirán algunos términos y retomará la normativa de referencia. No se consideran cargas cíclicas a las cargas sísmicas ni de viento.

3.3.1 FALLA POR FATIGA

La primera falla por fatiga fue detectada en el siglo XIX, en los ejes de los carros de ferrocarril, que fueron diseñados con todo el conocimiento de ingeniería de la época, y estas nuevas condiciones de operación de introdujo por las máquinas de vapor. Lo curioso de estas fallas fue que estos ejes fallaban estando sometidos a esfuerzos por debajo del límite de fluencia, por lo que no se supo explicar la causa de falla (Norton, 1999).

Este mecanismo de falla, se debe a esfuerzos repetitivos o fluctuantes, a pesar de que estos estén por debajo de los límites permisibles o los de fluencia considerando una carga estática, es decir que estos esfuerzos se repitieron una

cantidad de veces a un rango suficiente para provocar una falla al cumplir un determinado número de repeticiones o ciclos. (*Shigley's Mechanical Engineering Design*, 2019)-

Cuando existe falla por carga estática, la deflexión desarrollada es notoria debido a que se ha sobrepasado los límites elásticos del material llegando a una deformación permanente por lo que se puede remediar y evitar el colapso. La falla por fatiga, por el contrario, ocurre de manera repentina sin dar ningún indicio y por lo tanto es sumamente peligrosa. (*Shigley's Mechanical Engineering Design*, 2019)

Para que se produzca una falla por fatiga, debe existir un concentrador de esfuerzos como una fisura, y las cargas deben tensionar esta fisura, de manera que la expandan a tal punto que el material que esté soportando la carga se haya reducido lo suficiente para no soportar la carga para la que haya sido diseñada. (*Shigley's Mechanical Engineering Design*, 2019).

El ingeniero de ferrocarriles alemán August Wöhler, investigó de forma científica el mecanismo de falla por fatiga y provocando esfuerzos alternados tensión-compresión en ejes que rotaban y tenían pesos en sus extremos, simulando las condiciones de operación del ferrocarril. Los resultados interpretados los presentó en un diagrama, el mismo que relacionaba la carga con el número de ciclos que soportaba el eje antes de romperse, siendo su relación inversamente proporcional, es decir que, a mayor carga, menor era número de ciclos que soportaba el eje. Sin embargo, se llegó a un límite de carga debajo de la cual el número de ciclos no lograba romper el eje, a este límite se le denominó Límite de resistencia a la Fatiga (este límite puede no existir para algunos materiales), a este diagrama se le denominó el Diagrama de resistencia-vida de Wöhler, o diagrama S-N (Figura 3.5). (Norton, 1999)

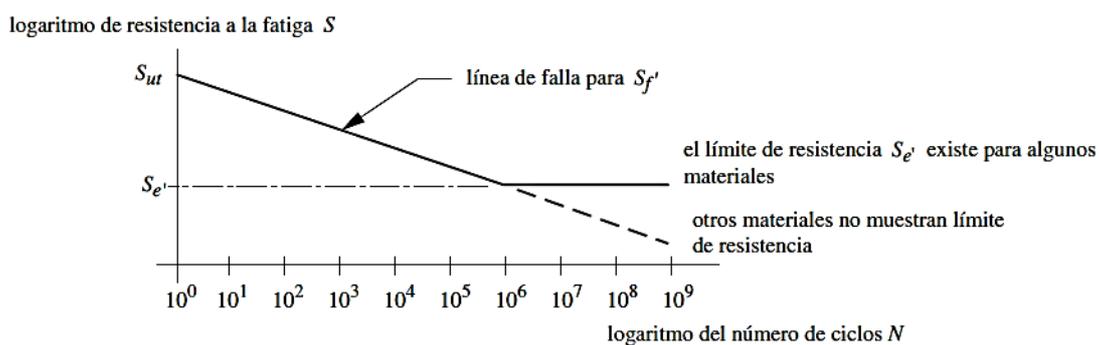


Figura 3.5 Diagrama de Wöhler o Diagrama S-N (Esfuerzo-Número de Ciclos)
Fuente: (Norton, 1999)

3.3.2 DISEÑO POR FATIGA (AISC 360-22)

La norma AISC 360 en su anexo 3, propone un método para estimar los esfuerzos límites para un número de ciclos determinado, siendo además

afectado por los tipos de juntas soldadas o cambios geométricos categorizados y valoradas en la tabla A-3.1 de la misma norma.

Pone de manifiesto explícitamente que, para estos casos de carga cíclica, los esfuerzos permisibles son $0.66F_y$, es decir un 66% del límite de fluencia del material, y también las condiciones de corrosión no serán severas y no afectarán el desempeño del material, por último, que si los ciclos de la estructura están por debajo de 20.000 ciclos, no amerita ser analizado para fatiga.

En el libro de (McCormac, 2000) en el capítulo de elementos sometidos a tensión, refiriéndose también a la misma norma, amplía algunos puntos y usa un ejemplo para su aplicación, manifiesta que si se tiene cargas de 3 ciclos por día durante 25 años se obtendrán 27.375 ciclos, es decir que esta cantidad está por encima de lo máximo recomendado y convendría su análisis.

Se podría pensar que un sismo es una carga cíclica que podría fatigar la estructura, sin embargo, la NEC-SE-AC dentro de sus análisis usa las combinaciones del método LRFD que incluyen también los efectos de los esfuerzos o cargas adicionales que debe soportar la estructura para un sismo y estos también deberán estar por debajo de los rangos permisibles, considerando además que, del ejemplo anterior, se deberían tener 3 sismos al día durante 25 años para superar los 20.000 ciclos que la norma ha propuesto.

La ecuación de la AISC 360-22 es la número A-3.1M, cuyas unidades están en MPa, su nomenclatura de describe a continuación.

$$F_{SR} = 6900 \left(\frac{C_f}{n_{SR}} \right)^{0.333} \geq F_{TH}$$

Ecuación de
AISC 360-22, A-3.1M

F_{SR} : intervalo de esfuerzos permisible [MPa]

F_{TH} : umbral o límite de fatiga para una vida infinita [MPa]

C_f : constante que depende el tipo de junta, tabla A-3.1 de la norma de referencia

n_{SR} : número de fluctuaciones esperadas para un tiempo definido (ciclos por día x 365 x años de vida esperado)

Otras normas como la AWS D1.1/D1.1M/2020, de igual manera sigue una metodología muy similar a la propuesta por AISC 360-22.

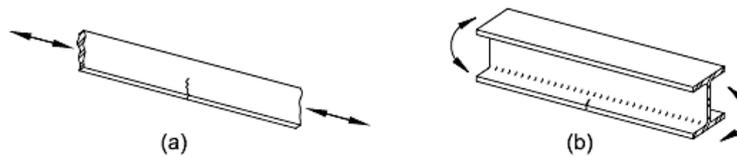
A continuación, en la figura 3.6a se presentan algunos casos típicos de juntas soldadas y cambios geométricos, y en la 3.6b su descripción junto con el valor del coeficiente C_f y el valor del límite de fatiga F_{TH} , tomados de la misma norma, tomados de la tabla A-3.1

**TABLA A-3.1 (continuación)
Parámetros de Diseño por Fatiga**

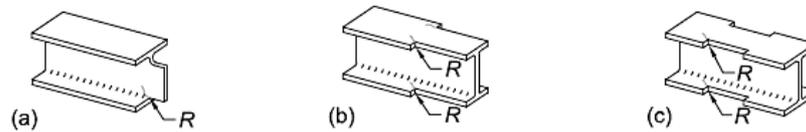
Ejemplos Típicos Ilustrativos

SECCIÓN 1- MATERIAL PURO ALEJADO DE CUALQUIER SOLDADURA

1.1 y 1.2

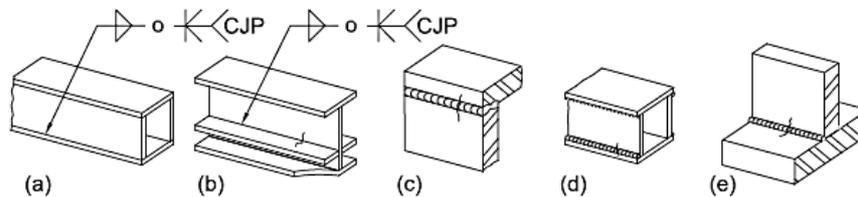


1.3

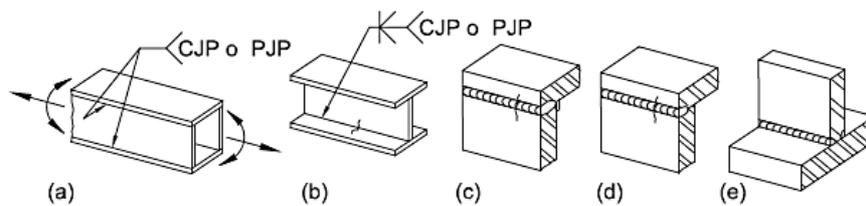


SECCIÓN 3 - UNIONES SOLDADAS QUE UNEN COMPONENTES DE PERFILES FABRICADOS (cont.)

3.1

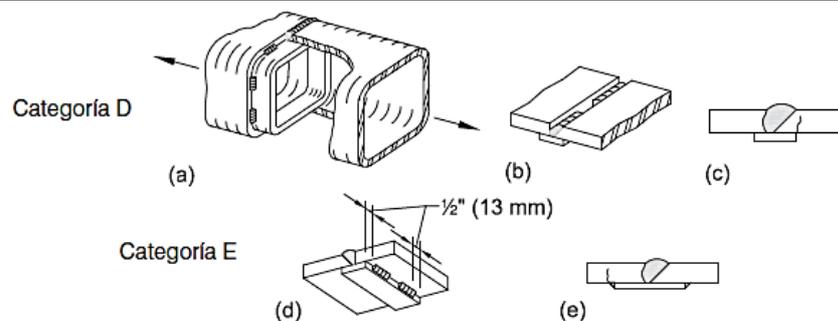


3.2



SECCIÓN 5 - UNIONES SOLDADAS TRANSVERSALES A LA DIRECCIÓN DE TENSIONES

5.5



a) Ejemplos típicos de juntas soldadas y sus condiciones de carga y posible zona de fisuramiento

TABLA A-3.1 Parámetros de Diseño por Fatiga				
Descripción	Categoría de Tensión	Constante C_f	Umbral F_{TH} , kgf/cm ² (MPa)	Punto Probable de Inicio de Fractura
SECCIÓN 1- MATERIAL PURO ALEJADO DE CUALQUIER SOLDADURA				
1.1 Metal Base, excepto acero de alta resistencia no cubierto, con superficie laminada o limpia. Bordes cortados térmicamente con dureza superficial de 1000 μ in. (25 μ m) o menor, pero sin esquinas entrantes.	A	25	1686 (165)	Alejado de toda soldadura o conexión estructural.
1.2 Metal base de acero de alta resistencia no recubierto con superficie laminada o limpia. Bordes cortados térmicamente con dureza superficial de 1000 μ in. (25 μ m) o menor, pero sin esquinas entrantes.	B	12	1125 (110)	Alejado de toda soldadura o conexión estructural.
1.3. Miembros con esquinas entrantes en rebajes, cortes, obstrucciones o discontinuidades geométricas hechas, excepto perforaciones de acceso para soldaduras. $R \geq 2,5$ cm (25 mm), con radio R , formado por pre taladrado o pre perforado y escariado de un agujero, o por corte a llama y esmerilado para obtener una superficie metálica brillante. $R \geq 1,0$ cm (10 mm) y el radio R , no necesita ser esmerilado para obtener una superficie metálica brillante.	C	4,4	700 (69)	En cualquier borde externo o en el perímetro de la perforación
	E'	0,39	180 (18)	
SECCIÓN 3 - MATERIAL PURO ALEJADO DE CUALQUIER SOLDADURA				
3.1 Metal base y metal de soldadura en miembros sin piezas unidas de placas o perfiles conectados por soldaduras longitudinales de penetración completa, rebajadas y soldadas nuevamente desde el segundo lado, o por soldaduras de filete continuas	B	12	1125 (110)	Desde la superficie o discontinuidades internas en la soldadura
3.2 Metal base y metal de soldadura en miembros sin piezas unidas de placas o perfiles conectados por soldaduras longitudinales de penetración completa sin remoción de las barras de soporte, o por soldadura de filete de penetración parcial	B'	6,1	845 (82)	Desde la superficie o discontinuidades internas en la soldadura
SECCIÓN 5 - UNIONES SOLDADAS TRANSVERSALES A LA DIRECCIÓN DE TENSIONES				
5.5. Metal base y metal de soldadura en o adyacente a empalmes con soldaduras de tope transversales de penetración completa con el respaldo mantenido sin remover.				Desde el pie de la soldadura de ranura o del pie de la soldadura al respaldo cuando corresponda
Soldaduras de punto dentro de ranuras	D	2.2	490 (48)	
Soldaduras de punto fuera de ranuras, con al menos 1,3 cm (13 mm) de distancia al borde del metal base	E	1,1	315 (31)	

b) descripción de los ejemplos citados en a, y los valores de las constantes C_f y límites de fatiga F_{TH} .

Figura 3.6. Parámetros de diseño por fatiga
Fuente: Adaptado de la tabla A-3.1 de la AISC 360-22 (Anexo 3)

3.4 ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA (WPS) PRECALIFICADOS PARA ESTRUCTURAS TUBULARES BAJO CARGA CÍCLICA

El diseño de una junta soldada debe asegurar que tendrá la suficiente resistencia y así cumplir con la demanda y condiciones de trabajo a los que esté sometido, así lo define la AWS D1.1. De esto se concluye que una junta soldada no depende solamente de un buen trabajo del soldador y un apropiado control de calidad, sino además de que su diseño y disposición tenga el área suficiente para así tener la suficiente resistencia.

Comúnmente en los planos estructurales se incluyen las especificaciones básicas para una junta, por ejemplo, con una indicación que debe ser una junta CJP, y se confía en que el soldador en base a su experiencia pueda cumplir con tal junta.

Si se pretende avanzar en el proyecto, asegurando que los miembros estructurales vayan a soportar las cargas solicitadas, pero si su conexión falla por una soldadura deficiente, podría llegarse al colapso, no por sobrecarga, sino por la falla del cordón soldado, que posiblemente pudo haber sido bien ejecutado, pero no con esto se garantiza que su desempeño sea el esperado.

El definir en qué puntos y calcular el área del cordón le corresponde al ingeniero estructural, pero también le corresponde especificar qué características de ensamblaje de la junta debe cumplir para que dicha junta sea confiable, con esto, se sienta que para cumplir con las demandas no cualquier cordón es suficiente, y haría falta una investigación completa para tener la suficiente confianza en la junta.

Por lo mencionado, sería una tarea adicional el diseñarla y demostrar su resistencia, y por lo tanto un costo adicional que deberá ser cubierto, que posiblemente el cliente no esté dispuesto a cubrir. De manera que la AWS D1.1 ha asumido la tarea de realizar esta investigación y con suficientes ensayos a conseguido definir las geometrías de la junta más apropiadas para conseguir una junta soldada confiable, estas juntas se denominan Juntas Precalificadas. Así también describe cuáles son las condiciones que se deben cumplir para conseguirlo, de no ser así, se sale de esta precalificación y se hará necesario definir completamente la junta con los ensayos suficientes para garantizar su desempeño confiable. Este proceso es denominado Calificación del Procedimiento y la misma AWS D1.1 indica lo que se debe realizar para satisfacer esta tarea.

En la siguiente sección, se describe las juntas precalificadas junto con información adicional, la cual, mucha de ella deberá ser incorporada dentro del WPS para así cumplir con un Procedimiento Precalificado.

3.4.1.1 DESARROLLO DE LA WPS PRECALIFICADAS

El código AWS D1.1/D1.1M:2020 en su cláusula 5 sección 5.1, define como WPS precalificada a todo procedimiento que cumpla con los requerimientos de precalificación de la cláusula 5, y es un documento escrito que describe las disposiciones para el trabajo completo de soldadura. Debe además ser realizado por un soldador calificado cuya calificación sea correspondiente con lo indicado por el procedimiento.

Del mismo código mencionado, la sección 5.2 indica que el encargado de preparar las WPS es el fabricante, será un documento escrito que incluya todos los parámetros de soldadura descritos en la tabla 5.2 del código con los rangos permitidos, y si los rangos usado están fuera de los límites indicados del WPS, pierde su validez y se deberá usar otro WPS precalificado o Calificar el procedimiento; el código no indica la formación que debe tener la persona que desarrolla el WPS, que normalmente suele ser un CWI (Inspector de Soldadura Calificado), pero son los documentos contractuales de un proyecto los que definen cómo se aprobarán los WPS.

Las WPS precalificadas por lo tanto tiene parámetros de soldadura variables que serán definidas a cada caso particular, su definición depende de quien desarrolle el WPS. El código agrupa a las variables que deben ser escritas en la WPS y ser tomadas sin ninguna alteración o permitir un rango que será acoplado dentro del proyecto, pero así mismo, si se sale de los rangos especificados la WPS pierde su valor y deberá ser

3.4.1.1 JUNTAS SOLDADAS PRECALIFICADAS PARA ESTRUCTURAS TUBULARES

Las juntas soldadas precalificadas deben cumplir ciertas condiciones para estar dentro de la WPS precalificada, si no se cumplen queda fuera y deberá elaborarse una nueva WPS precalificada o calificar el WPS.

El código de referencia define qué condiciones y qué variables o parámetros de soldadura deben ser incluidas dentro del WPS precalificado y que no pueden ser cambiados para conservar la precalificación. Estos se definen en la tabla 5.2 de la cláusula 5, y se presente en la figura 3.7 de este documento.

La nota (a) al pie de la tabla mencionada, manifiesta que, si la variable señalada se altera, el WPS precalificado pierde su validez y se debe exigir una nueva WPS. Esto aplica únicamente para el proceso de soldadura, es decir que si la WPS precalificada se definió para un proceso SMAW, no puede ser usada para ningún otro proceso de soldadura.

La WPS precalificada debe incluir todos los parámetros y variables mostrados en la figura 3.7 y presentadas y firmadas es un documento escrito, proporciona

además los rangos o tolerancias para algunas variables como son el Voltaje y los Amperios.

Tabla 5.2
VARIABLES ESENCIALES PARA WPS PRECALIFICADAS (VER 5.2.1)

Variables que deben incluirse en una WPS precalificada	
(1) Proceso(s) de soldadura ^a	(12) Modo de transferencia (GMAW)
(2) Posición(es) de soldadura	(13) Tipo de corriente (CA o CC)
(3) Número(s) de grupo de metal base (ver Tabla 5.3)	(14) Polaridad de la corriente (CA, DCEN, DCEP)
(4) Categoría(s) de precalentamiento de metal base (ver Tabla 5.4)	(15) Velocidad de alimentación del alambre (SAW, FCAW, GMAW)
(5) Clasificación de metal de aporte (SMAW, GMAW, FCAW)	(16) Velocidad de desplazamiento
(6) Clasificación de metal de aporte/fundente (SAW)	(17) Composición nominal de gas de protección (FCAW-G, GMAW)
(7) Diámetro nominal del electrodo	(18) Caudal de gas de protección (FCAW-G, GMAW)
(8) Cantidad de Electroodos (SAW)	(19) Tipo de soldadura (filete, CJP, PJP, tapón, ranura)
(9) Espaciamiento y orientación de electrodos (SAW)	(20) Detalles de soldadura en ranura
(10) Amperaje (SAW, FCAW, GMAW)	(21) Tratamiento térmico posterior a la soldadura
(11) Voltaje (SAW, FCAW, GMAW)	

Tolerancias variables para WPS precalificadas	
Variable	Tolerancia admisible
(22) Amperaje (SAW, FCAW, GMAW)	+ o - 10 %
(23) Voltaje (SAW, FCAW, GMAW)	+ o - 15 %
(24) Velocidad de alimentación del alambre (si no se controla el amperaje) (SAW, FCAW, GMAW)	+ o - 10 %
(25) Velocidad de desplazamiento (SAW, FCAW, GMAW)	+ o - 25 %
(26) Caudal de gas de protección (FCAW-G, GMAW)	> 50 %, si aumenta o > 25 %, si disminuye
(27) Cambio en la separación longitudinal de arcos (SAW)	1/8 pulg.
(28) Espaciamiento lateral de arcos (SAW)	1/8 pulg.
(29) La orientación angular de electrodos paralelos (SAW)	+ o - 10 %
(30) El ángulo paralelo a la dirección del desplazamiento del electrodo para (SAW) mecanizada o automática	+ o - 10 %
(31) El ángulo del electrodo normal a la dirección de desplazamiento para mecanizado o automático (SAW)	+ o - 10 %

^a Se debe exigir una WPS independiente cuando se cambia esta variable.

Figura 3.7 Variables esenciales que deben ser incluidas dentro de una WPS precalificada.
Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, tabla 5.2

En figura 3.7 del presente documento, se muestra la tabla 5.1 de la cláusula 5 del código de referencia, se presentan valores de las variables que deben ser cumplidos para un proceso en específico, que dependerá además de la posición y el tipo de soldadura. Algunos de estos valores tienen valores especificados directamente como el diámetro máximo del electrodo, y en otros casos la corriente o amperaje puede estar en función de los rangos indicados por el fabricante del electrodo. En esta tabla se muestran los parámetros de soldadura y el soldador deberá tomarlos tal como se describen.

En la figura 3.8, se muestra la tabla 5.3 de la cláusula 5 del código consultado, están los materiales base (materiales a ser soldados) para los cuales se puede usar una WPS precalificada, si los materiales no están dentro de la lista se debe calificar la WPS. Se agrupan a los materiales en cuatro grupos, en este documento se presentará el grupo en el que consta el acero ASTM A36 con el que se ha diseñado la estructura.

Tabla 5.1
Requisitos de WPS precalificadas^a (ver 5.2)

Variable	Posición	Tipo de soldadura	SMAW	SAW ^b			GMAW/ FCAW ^c
				Único	Paralelo	Múltiple	
Diámetro máximo del electrodo	Plana	Filete ^d	5/16" [8,0 mm]	1/4" [6,4 mm]			1/8 pulg. [3,2 mm]
		Ranura ^d	1/4" [6,4 mm]				
		Pasada de raíz	3/16" [4,8 mm]				
	Horizontal	Filete	1/4" [6,4 mm]	1/4" [6,4 mm]			1/8 pulg. [3,2 mm]
		Ranura	3/16" [4,8 mm]	Requiere ensayo de calificación de la WPS			
	Vertical	Todo	3/16 pulg. [4,8 mm] ^e				3/32" [2,4 mm]
Sobre cabeza	Todo	3/16 pulg. [4,8 mm] ^a				5/64" [2,0 mm]	
Corriente máxima	Todo	Filete	Dentro del rango de operación recomendado por el fabricante del metal de aporte.	1000 A	1200A	Ilimitado	Dentro del rango de operación recomendado por el fabricante del metal de aporte.
	Todo	Pasada de raíz de la soldadura de ranura con abertura		600A	700A		
		Pasada de raíz de la soldadura de ranura sin abertura			900A		
		Pasadas de relleno de soldadura en ranura			1200A		
		Pasada de cobertura de soldadura en ranura		Ilimitado			
Espesor máximo de pasada de raíz ^h	Plana	Todo	3/8 pulg. [10 mm]	Ilimitado			3/8 pulg. [10 mm]
Horizontal	5/16" [8 mm]		5/16" [8 mm]				
Vertical	1/2 pulg. [12 mm]		1/2 pulg. [12 mm]				
Sobre cabeza	5/16" [8 mm]		5/16" [8 mm]				
Espesor máximo de pasada de relleno	Todo	Todo	3/16 pulg. [5 mm]	1/4 pulg. [6 mm]	Ilimitado		1/4 pulg. [6 mm]
Tamaño máximo de soldadura en filete de pasada única ^f	Plana	Filete	3/8 pulg. [10 mm]	Ilimitado			1/2 pulg. [12 mm]
	Horizontal		5/16" [8 mm]	5/16" [8 mm]	5/16" [8 mm]	1/2 pulg. [12 mm]	3/8 pulg. [10 mm]
	Vertical		1/2 pulg. [12 mm]	1/2 pulg. [12 mm]			
	Sobre cabeza		5/16" [8 mm]	5/16" [8 mm]			
Ancho máximo de capa de pasada única	Todos (para GMAW/ FCAW) F & H (para SAW)	Apertura de la raíz > 1/2 pulg. [12 mm]		Capas divididas	Electrodos desplazados lateralmente o capa dividida	Capas divididas	Capas divididas
		Cualquier capa de ancho w		Dividir capas si w > 5/8 pulg. [16 mm]	Separe las capas con electrodos en tandem si w 5/8 pulg. [16 mm]	Separe las capas si w > 1 pulg. [25 mm]	(Nota alpie g)

^a El área sombreada indica que no es aplicable.

^b Ver las limitaciones de ancho a profundidad en 5.8.2.1.

^c GMAW-S no debe ser precalificada.

^d Excepto pasadas de raíz.

^e 5/32" [4,0 mm] para EXX14 y electrodos de bajo hidrógeno

^f Consulte 5.6.2 para conocer los requisitos para soldar ASTM A588 sin pintar y expuesto.

^g En las posiciones F, H u OH para no tubulares, dividida las capas cuando el ancho de la capa sea w > 5/8 pulg. [16 mm]. En la posición vertical para no tubulares o las posiciones plana, horizontal, vertical y sobre cabeza para tubulares, dividida las capas cuando el ancho sea w > 1 pulgada [25 mm].

Figura 3.7 Parámetros de soldadura especificados para una WPS precalificada

Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, tabla 5.1

Tabla 5.3 (Continuación)
Metales base aprobados para WPS precalificadas (ver 5.3)

G R U P O	Requisitos de la especificación del acero						
	Especificación del acero	Punto/limite elástico mínimo		Rango de tracción			
		ksi	MPa	ksi	MPa		
II	ASTM A36	Todos los espesores		36	250	58-80	400-550
	ASTM A131	Grados AH32, DH32, EH32		46	315	64-85	440-590
		Grados AH36, DH36, EH36		51	355	71-90	490-620
	ASTM A501	Grado B		50	345	70 min.	485 min.
	ASTM A516	Grado 65		35	240	65-85	450-585
		Grado 70		38	260	70-90	485-620
	ASTM A529	Grado 50		50	345	65-100	450-690
		Grado 55		55	380	70-100	485-690
	ASTM A537 Clase 1	≤ 2 ¼ pulg. [≤ 65 mm]		50	345	70-90	485-620
		> 2 ¼ [65 mm] ≤ 4 pulg. [100 mm]		45	310	65-85	450-585
	ASTM A572	Grado 42		42	290	60 min.	415 min.
		Grado 50		50	345	65 min.	450 min.
		Grado 55		55	380	70 min.	485 min.
	ASTM A588 ^b	≤ 4 pulg. [100 mm]		50	345	70 min.	485 min.
		> 4 pulg. [100 mm] ≤ 5 pulg. [125 mm]		46	315	67 min.	460 min.
		> 5 pulg. [125 mm] ≤ 8 pulg. [200 mm]		42	290	63 min.	435 min.
		Todas las formas		50	345	70 min.	485 min.
	ASTM A595	Grado A		55	380	65 min.	450 min.
		Grados B y C		60	410	70 min.	480 min.
	ASTM A606 ^b	Laminado en frío Grado 45		45	310	65 min.	450 min.
		Laminado en caliente Grado 50 (AR)		50	340	70 min.	480 min.
		Laminado en caliente Grado 50 (A o N)		45	310	65 min.	450 min.
	ASTM A618	Grados Ib, II pared ≤ ¼ pulg. [19 mm]		50	345	70 min.	485 min.
		Grados Ib, II pared > ¼ pulg. ≤ 1-1/2 pulg. [> 19 mm ≤ 38 mm]		46	315	67 min.	460 min.
		Grado III		50	345	65 min.	450 min.
	ASTM A633	Grado A		42	290	63-83	430-570
	Grados C, D		50	345	70-90	485-620	
	≥ 2-1/2 pulg. [65 mm]		50	345	70-90	485-620	
ASTM A709	Placas Grado 36 ≤ 4 pulg. [100 mm]		36	250	58-80	400-550	
	Perfiles Grado 36 ≤ 3 pulg. [75 mm]		36	250	58-80	400-550	
	Perfiles Grado 36 > 3 pulg. [75 mm]		36	250	58 min.	400 min.	
	Grado 50		50	345	65 min.	450 min.	
	Grado 50W ^b		50	345	70 min.	485 min.	
	Grado 50S		50-65	345-450	65 min.	450 min.	
	Grado HPS 50W ^b		50	345	70 min.	485 min.	

Figura 3.8 Materiales base aprobados para la WPS precalificada

Fuente: Adaptado de AWS D1.1/D1.1M:2020, tabla 5.3

En la figura 3.12 se presenta la tabla 5.4 de la cláusula 5, de la cual se define la especificación del electrodo de acuerdo a la AWS. En esta sección del documento aun no se ha definido el proceso de soldadura, sin embargo, para no extender demasiado el respaldo teórico, se incluirá la información que justifique el usar el electrodo, así como su descripción que se indica en los planos estructurales, la clasificación del electrodo es E71T-1C para el proceso FCAW.

Retomando la figura 3.12, la especificación para electrodos FCAW para aceros al carbono es la AWS A5.36, en esta especificación se describe la nomenclatura de la clasificación y qué significa su designación.

A continuación, en la tabla 3.2, se describe brevemente qué significa la designación del electrodo, resumido de la especificación AWS A5.36 antes nombrada, y junto con esta las tablas tomadas de la misma especificación.

E	7	1	T1	C
Electrodo (Alambre)	Resistencia: 70ksi (figura 3.8)	Todas las posiciones de soldadura (figura 3.9)	T1: Electrodo (Alambre) "tubular". Proceso: FCAW-G (con gas de protección) Corriente: DC Polaridad: Electrodo (+) Posiciones: Todas (figura 3.9)	Gas de protección: 100% CO ₂ (figura 3.10)

Tabla 3.2 Descripción de la designación del electrodo
Fuente: AWS A5.36

Tensile Strength Designator		Single Pass Electrodes	For A5.36 Multiple Pass Electrodes U.S. Customary Units			For A5.36M Multiple Pass Electrodes International System of Units (SI)		
U.S. Customary Units	Int. System of Units (SI)	Minimum Tensile Strength ksi [MPa]	Tensile Strength (ksi)	Minimum Yield Strength ^a (ksi)	Minimum Percent Elongation ^b	Tensile Strength [MPa]	Minimum Yield Strength ^a [MPa]	Minimum Percent Elongation ^b
6	43	60 [430]	60–80	48	22	430–550	330	22
7	49	70 [490]	70–95 ^c	58	22	490–660 ^c	400	22
8	55	80 [550]	80–100	68	19	550–690	470	19
9	62	90 [620]	90–110	78	17	620–760	540	17
10	69	100 [690]	100–120	88	16	690–830	610	16

Figura 3.9 Esfuerzo último mínima a la tensión que debe asegurar el electrodo
Fuente: Adaptado de AWS A5.36, tabla 1

Electrode ^a Usability Designator	Process ^b	Polarity ^c	Position ^{d, e}	Description ^f
T1	FCAW-G	DCEP	H, F, VU & OH	Flux cored electrodes of this type are gas shielded and have a rutile base slag. They are characterized by a spray transfer, low spatter loss, and a moderate volume of slag which completely covers the weld bead.
T1S	FCAW-G	DCEP	H, F, VU & OH	Flux cored electrodes of this type are similar to the "T1" type electrodes but with higher manganese or silicon, or both. They are designed primarily for single pass welding in the flat and horizontal positions. The higher levels of deoxidizers in this electrode type allow single pass welding of heavily oxidized or rimmed steel.
T3S	FCAW-S	DCEP	H & F	Flux cored electrodes of this type are self-shielded and are intended for single pass welding and are characterized by a spray type transfer. The titanium-based slag system is designed to make very high welding speeds possible.
T4	FCAW-S	DCEP	H & F	Flux cored electrodes of this type are self-shielded and are characterized by a globular type transfer. Its fluoride-based basic slag system is designed to make very high deposition rates possible and to produce very low sulfur welds for improved resistance to hot cracking.

Figura 3.10 Descripción general y de la utilización del electrodo

Table 4 Composition Requirements for Shielding Gases			
AWS A5.36/A5.36M Shielding Gas Designator ^a	AWS A5.32M/A5.32 Composition Ranges for Indicated Main/Sub Group		
	Oxidizing Components		Balance of Gas Mixture
	% CO ₂	% O ₂	
C1	100	–	–
M12	0.5 ≤ CO ₂ ≤ 5	–	Argon
M13	–	0.5 ≤ O ₂ ≤ 3	
M14	0.5 ≤ CO ₂ ≤ 5	0.5 ≤ O ₂ ≤ 3	
M20	5 < CO ₂ ≤ 15	–	
M21	15 < CO ₂ ≤ 25	–	

Figura 3.11 Gas de protección que debe ser usado por el electrodo
Fuente: Adaptado de AWS A5.36, tabla 4

Otra variable esencial es la temperatura de precalentamiento, la misma que también está definida en la misma clausula 5 y cumplirá la temperatura mínima según lo indicado en la figura 3.13. Para el caso del acero ASTM A36, para espesores entre 3 a 20mm, la temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas es de 0°C, se entiende que si se está trabajando en un ambiente por debajo de esta temperatura, el material base deberá precalentarse por encima de este valor.

Tabla 5.8 Temperatura precalificada mínima de precalentamiento y entre pasadas (ver 5.7)						
C A T E G O R Í A	Especificación del acero	Proceso de soldadura	Espesor de la parte más gruesa del punto de soldadura		Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas	
			pulg.	mm	°F	°C
B	ASTM A36	SMAW con electrodos de bajo hidrógeno, SAW, GMAW, FCAW	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32 ^a	0 ^a
	ASTM A53 Grado B					
	ASTM A106 Grado B					
	ASTM A131 Grados A, B, D, E AH 32, 36 DH 32, 36 EH 32, 36					
	ASTM A139 Grado B					
	ASTM A381 Grado Y35					
	ASTM A500 Grados A, B, C					
	ASTM A501 Grados A, B					
	ASTM A516 Grados 55, 60, 65, 70					
	ASTM A524 Grados I, II					
	ASTM A529 Grados 50, 55					
	ASTM A537 Clases 1, 2					
	ASTM A572 Grados 42, 50, 55					
	ASTM A573 Grados 58, 65					
ASTM A588						
ASTM A595 Grados A, B, C						
			Más de 3/4 hasta 1-1/2 incl.	Mayor de 20 hasta 38 incl.	50	10
			Más de 1-1/2 hasta 2-1/2 incl.	Mayor de 38 hasta 65 incl.	150	65
			Más de 2-1/2	Más de 65	225	110

Figura 3.13 Tabla de temperaturas de precalentamiento mínimo
Fuente: Adaptado de AWS D1.1/D1.1M:2020, tabla 5.8

Tabla 5.4 (continuación)
Metales de aporte para resistencias coincidentes en Tabla 5.3, metales de Grupo II—FCAW y GMAW con núcleo de metal (ver 5.6)

PROCESO(S) DE SOLDADURA					
Grupo de metal base	Especificación de AWS del electrodo	GMAW		FCAW	
		GMAW	FCAW	GMAW y FCAW con acero al carbono y de baja aleación	GMAW y FCAW con acero al carbono y de baja aleación
	A5.18, Acero al carbono	A5.28 ^a , Acero de baja aleación	A5.20, Acero al carbono	A5.29 ^a , Acero de baja aleación	A5.36 ^c , Acero de baja aleación
	ER70S-X E70C-XC E70C-XM (Se deben excluir los electrodos con sufijo -GS)	ER70S-XXX E70C-XXX	E7XT-X E7XT-XC E7XT-XM (Los electrodos con el sufijo -2C, -2M, -3, -10, -13, -14 y -GS se excluirán, y los electrodos con el sufijo -11 se excluirán para espesores mayores a 1/2 pulg. [12 mm])	E7XTX-X E7XTX-XC E7XTX-XM	Clasificación abierta ^d Ver Nota 8 del Apéndice M
					FCAW con acero al carbono E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 E7XTX-XAX-CS3
II					(No se incluyen los electrodos con núcleo fundente con sufijos T1S, T3S, T10S, T14S y -GS ni los electrodos con sufijo T11 para un espesor mayor de 1/2 pulg. [12 mm]) FCAW con acero de baja aleación E7XTX-AX-XXX E7XTX-XAX-XXX

Figura 3.12 Metales de aporte para metales base del grupo II.
Fuente: Adaptado de AWS D1.1/D1.1M:2020, tabla 5.4.

Finalmente, el diseño de la junta que debería estar especificada en los planos estructurales, pero si se sigue un WPS precalificado, debe también formar parte del grupo de las juntas precalificadas que presenta el código AWS de referencia en la cláusula 5 figuras 5.1 a 5.3, y deberá ser seleccionada de acuerdo al tipo de junta. Por toda la extensión de los diseños de las juntas precalificadas, no se incluirán en este documento, pero cuando se elaboren los WPS a ser usados para la construcción específica del ascensor, se detallarán las usadas de acuerdo a la junta.

3.4.1.2 PROCESOS DE SOLDADURA

Existen varios procesos de soldadura definidos por el código AWS consultado, a continuación se describirán brevemente los más comunes así como también los que el código los considera como precalificados.

SMAW: Shielded metal arc welding (soldadura por arco con electrodo metálico revestido). Usa un arco entre el electrodo y el charco de soldadura. El electrodo está revestido con material que al ser fundido protege el área que se está soldando. Está dentro de los WPS precalificados.

GMAW: gas metal arc welding (soldadura por arco con electrodo metálico protegida con gas). Usa un arco entre el electrodo continuo y el charco de soldadura. Se protege con gas de protección externo. Está dentro de los WPS precalificados.

- **GMAW-S: gas metal arc welding-short circuit arc (soldadura por arco con protección gaseosa—modo de transferencia cortocircuito).** Es una variante del proceso GMAW en la que el electrodo es depositado mediante cortocircuitos repetidos. No está dentro de los WPS precalificados.

GTAW: Gas Tungsten Arc Welding (Soldadura por arco con electrodo de tungsteno). Se forma el charco de soldadura mediante un arco entre un electrodo no consumible de Tungsteno y el material base, bajo esta condición se funde el material de aporte en forma de barra siendo depositado en el charco. Necesita un gas de protección externo. Su nombre común es soldadura TIG. No está dentro de los WPS precalificados.

FCAW: flux cored arc welding (soldadura por arco de núcleo fundente). Usa un arco entre el electrodo continuo y el charco de soldadura. El electrodo es también descrito como tubular por su geometría interna hueca, dentro de la cual trae un fundente que sirve de protección, sin embargo, puede requerir protección externa adicional con un gas de protección.

- **FCAW-G:** variante del FCAW que requiere gas de protección externa. Está dentro de los WPS precalificados

- **FCAW-S**: variante de FCAW que no requiere gas de protección externa por cumplir el fundente interno con esta función. Está dentro de los WPS precalificados

Es común que exista confusión entre los procesos FCAW y GMAW, debido a que usan el mismo equipo semi-automático y dependiendo el caso usan el mismo gas de protección y su presentación en carretes es la misma como electrodos continuos, por esta similitud a ambos se les suele llamar soldadura MIG o MAG (dependiendo del gas de protección usado) con electrodo rígido (GMAW) o tubular (FCAW). Suele ser común que se distinga el proceso GMAW por que el electrodo continuo generalmente tiene su “capa externa de cobre”.

3.4.1.3 SIMBOLOGÍA DE SOLDADURA

La simbología aceptada y propuesta por la AWS es la descrita en la AWS A2.4 de símbolos y estándares, como un lenguaje estándar que tanto ingenieros como soldadores deben entender y saber interpretar para efectuar los trabajos de soldadura o indicar cómo debe ser realizado el trabajo. Información como la preparación de la junta, si requiere respaldo, si requiere inspecciones, si debe ser pulido, qué proceso de soldadura se aplicará, etc., y junto a esta cualquier información adicional que el ingeniero tenga que especificar y sea susceptible a verificación de su ejecución.

La AWS 2.4 presenta toda la simbología que se usa para los trabajos de soldadura, teniendo para esto tres condiciones mínimas que son: indicar con una flecha el punto de soldadura, indicar a qué lado debe ser realizado el cordón y qué tipo de junta se va a realizar. Esto tiene sus variantes, y más detalles a profundidad se encuentran en el documento citado, en este documento se presentará la información general que servirá para posteriormente para interpretar las juntas diseñadas en la sección del desarrollo de las WPS.

En la figura 3.14 se presenta el símbolo base y cómo se deben ubicar cada uno de los elementos para las indicaciones específicas del trabajo.

En la figura 3.15 se muestran los símbolos que corresponden a la preparación del bisel, y en la figura 3.16 los símbolos suplementarios que proporcionar información adicional de la construcción del cordón.

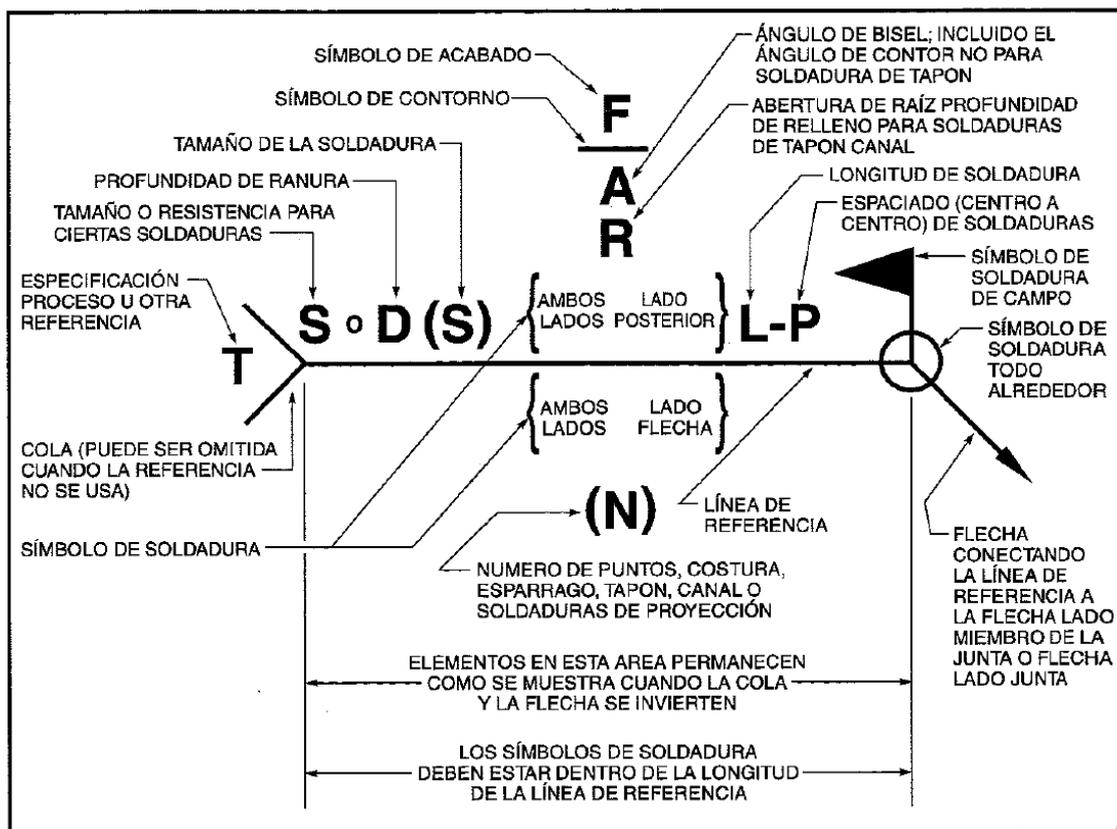


Figura 3.14 Colocación normalizada de los Elementos de un Símbolo de Soldadura
Fuente: Adaptado de AWS A2.4, figura 3.

BISEL							
BORDES RECTOS	EMPALME	V	MEDIO V	U	J	ABOCINADO	MEDIO ABOCINADO

Figura 3.15 Preparación del bisel
Fuente: Adaptado de AWS A2.4, figura 1

SOLDADURA TODO ALREDEDOR	SOLDADURA DE CAMPO	EXCESO DE PENETRACIÓN	INSERTO CONSUMIBLE (CUADRADO)	RESPALDO (RECTÁNGULO)	SEPARADOR (RECTÁNGULO)	CONTORNO		
						RASO O PLANO	CONVEXO	CONCAVO

Figura 3.16 Simbología que describe la ejecución del cordón.
Fuente: Adaptad de AWS A2.4, figura 2.

3.4.1.4 RESPALDO (AWS D1.1)

El respaldo es un dispositivo metálico o no, ubicado en la parte posterior de la junta y sirve para retener el metal de soldadura fundido. El respaldo únicamente se usa en juntas CJP. Para estructuras tubulares en donde no es posible instalar el respaldo, pero se requiere soldadura CJP, se inicial con una pasada de cierre hecha desde un solo lado y posteriormente se continua con las siguientes pasadas. En la clausula 10 parte 10.22 del código de referencia, para estructuras tubulares bajo cargas cíclicas, se indica que el respaldo debe ser continuo en las esquinas y sin interrupciones o se permiten que las uniones no estén dentro del perímetro de las esquinas

3.4.1.5 RECOMENDACIONES DE MEJORA DE LA JUNTA A FATIGA

La AWS D1.1/D1.1M:2020 en su clausula M, pate C-10.2.3.6 tiene recomendaciones para mejorar el comportamiento de las juntas soldadas a la fatiga, es decir, reducir concentración de esfuerzos que puedan facilitar la aparición de fisuras y su posterior crecimiento.

Entre las recomendaciones se tiene:

- 1- Esmerilado de todo el perfil,
- 2- Esmerilado del pie de soldadura,
- 3- Martillado
- 4- Granallado

Recomiendan también dejar un perfil cóncavo en el cordón, pero este perfil debe ser realizado mediante pulido y las hullas deben ser perpendiculares al eje de soldadura.

Todas estas recomendaciones han sido tomadas en consideración para el diseño de las juntas, y serán incluidas en los detalles constructivos y planos respectivos.

3.5 INSPECCIONES DE SOLDADURA CON NDT

En la sección 3.2, se identificó que como parte del QA/QC se deben realizar para mantener un buen control de calidad. También se indicó que estas inspecciones deben ser efectuadas por inspectores que cuenten con la certificación acorde al ensayo que deben realizar.

A continuación, se describe de forma muy breve las técnicas NDT que recomienda la AISC 360-22 y la NEC-SE-AC, definidas de acuerdo al código AWS D1.1/D1.1M:2020.

VT: Inspección Visual, es la técnica más básica pero que permite identificar defectos superficiales sin ninguna herramienta o insumos adicionales. Parte de las labores de la inspección visual son también verificar la documentación técnica disponible, tales como: WPS aprobados y disponibles, planos constructivos disponibles, calificación de soldadores acorde al procedimiento y posición de soldadura, cumplimiento de parámetros y preparación de la junta de acuerdo a lo descrito en las WPS, cumplimiento con la construcción de acuerdo a planos, etc., labores para las cuales este inspector fue entrenado y demostró su aptitud.

PT: Tintas penetrantes, usa al menos 2 consumibles, el primero que tienen la propiedad de capilaridad muy alta y es capaz de penetrar en fisuras o aclarar ciertas discontinuidades, luego de la aplicación de este líquido se aplica un revelador, cuya función es provocar la salida del líquido penetrante que penetró en las fisuras, dando como resultados indicaciones que serán evaluadas como discontinuidad o defectos. Puede ser usado en varios tipos de materiales, ferrosos, no ferrosos e incluso algunos polímeros que no sean porosos. La superficie no debe haber sido pintada, de lo contrario el líquido no podrá penetrar en las fisuras.

MT: Partículas Magnéticas, usa el principio de campo magnético, provoca que unas partículas ferrosas rociadas sobre la superficie queden alineadas con el campo magnético que es aplicado con una herramienta equivalente a un transformador. Si existen discontinuidades, el campo magnético se interrumpe y las partículas se agrupan en los nuevos polos que se generan a causa de esta falta de continuidad del material. Puede ser aplicado sobre superficies pintadas o con recubrimiento superficial, pero el material inspeccionado debe ser ferromagnético. Este método es el más recomendado para aplicaciones de estructuras o partes de máquinas sometidas a fatiga, por la gran sensibilidad a fisuras.

Las tres inspecciones citadas, son inspecciones superficiales, sin embargo, para inspecciones por la parte interior, se deben usar inspecciones volumétricas, y estas permiten detectar discontinuidades o indicadores por debajo de la superficie. En la sección 4.1.1.3 del plan de QA/QC se presenta un ejemplo de cómo se procede con esta inspección, debido a que estos resultados deben ser interpretados por amplitudes, y no es intuitivo como las inspecciones superficiales.

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Se han definido las condiciones de carga y cómo estas interactuarán con la estructura de soporte y guiado, además se conoce la condición de operación del ascensor, las mismas que serán tomadas como cargas cíclicas, y del plano estructural se tiene la información general de cómo serán las conexiones soldadas del ascensor, así como sus secciones y materiales. Con estos insumos, es posible elaborar los planes de aseguramiento y control de calidad y los procedimientos de soldadura.

El plan propuesto está dividido en cinco ítems, y se ha desarrollado de forma de que el ítem número uno tome toda la información generada en los cuatro ítems restantes, quedando definido qué se debe hacer en el ítem número uno, y el cómo se hace, cómo valorarlo y cómo aprobarlo se encuentra en los ítems dos a cinco.

Se ha dispuesto de esta manera para hacerlo más metodológico, es decir, primero debo estar seguro de qué es lo que tengo que revisar, inspeccionar y en qué etapa se debe efectuar, y con esto definido solamente haría falta el desarrollo de cómo proceder.

El primer ítem, se definen las inspecciones a ser realizadas en conjunto entre el Fabricante y Fiscalización, que a su vez se divide en tareas específicas que dependen de cada etapa. En el segundo ítem se identifican los materiales y se documenta el cumplimiento con lo especificado en el estudio estructural, el tercer ítem presenta todo lo relacionado a soldadura, el cuarto ítem sobre la fabricación e izaje y, finalmente el quinto ítem sobre la preparación y Aplicación de recubrimiento superficial.

Esta organización mantendrá tanto al fabricante como a fiscalización al tanto del avance y cumplimiento en cada una de las etapas, además de informar lo que deber cumplido, basando esto en la normativa aplicable.

El ítem número uno dentro de su subdivisión, contiene como punto de inicio la verificación del cumplimiento con las condiciones de carga y funcionamiento y la Demanda/Capacidad (D/C) máxima recomendada por la AISC 360-22, por lo tanto se verifica que la estructura esté dentro del rango de tensiones para diseño por fatiga como se definió en la sección 3.5, y si es necesario deberá ser corregida, sabiendo que aunque se aplique un control de calidad muy bien planteado, una falla prematura podría ser inminente.

A continuación se presenta el plan específico para la estructura del ascensor

4.1 PLAN DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD

La AISC 360-22 capítulo N de Control de Calidad y Aseguramiento de la calidad, presenta las tablas N5.4 que se pueden tener como guía para un control muy cuidadoso (ver Anexos). En este proyecto, se hace referencia a este mismo plan, pero se condensa todo lo sugerido en el capítulo junto con las normas adicionales que la misma AISC 360-22 cita. Como resultado, se generan las fichas de registro para este proyecto en específico, es decir que se desarrollarán para cada uno de los miembros que forman la estructura, los mismos que trabajarán en conjunto con Procedimientos de soldadura e inspecciones.

En la sección 3.2 se tiene toda la compilación y ampliación bajo criterios de ingeniería de todo lo detallado por el capítulo mencionado por la AISC. La propuesta presentada a continuación se basa en cumplir el ítem 1, y para esto se vale de los ítems 2 a 5 como los suministros que deben existir para así controlar cada una de las etapas registrando la información y asegurar el cumplimiento de todo lo propuesto.

- ítem 1: Planificación y Ejecución de Inspecciones Realizadas en conjunto con la autoridad controladora o fiscalización

- ítem 2: Identificación de materiales

- a. Denominación del perfil
- b. Material
- c. Sección

- ítem 3: Soldadura

- d. Procedimientos de Soldadura (WPS)
- e. Calificación de soldadores
- f. Inspecciones NDT (Ensayos No Destructivos)
- g. Procedimientos de Inspección de todos los NDT
- h. Cortes y preparación de juntas
- i. Reparaciones

- ítem 4: Fabricación e Izaje

- j. Planos de fabricación
- k. Preparación de juntas
- l. Planos de montaje

- ítem 5: Preparación y Aplicación de recubrimiento superficial

- m. Estado de oxidación

- n. Limpieza superficial
- o. Espesor de película seca aplicado

Se retomarán cada uno de los puntos aplicando directamente al proyecto en base a la sección 3.2 antes descrita, las consideraciones para la elaboración de todo el plan se realizarán en base a las especificaciones técnicas del estudio estructural, lo especificado por norma y los documentos contractuales del proyecto.

Se plantearán los registros a ser llenados en obra (ver anexos), indicando cada una de las etapas y qué información específica debe ser completada. Habrá información que corresponde ser generada en la sección 4.2 Procedimientos de soldadura, de manera que estos solamente se nombrarán y se desarrollarán a profundidad en dicha sección.

4.1.1.1 ÍTEM 1: PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE INSPECCIONES REALIZADAS EN CONJUNTO CON LA AUTORIDAD CONTROLADORA O FISCALIZACIÓN

Las inspecciones por parte de la autoridad controladora se deben efectuar de forma permanente para garantizar una correcta ejecución y minimizar la cantidad de errores que se comentan durante la fabricación, antes y durante el montaje y durante las inspecciones NDT que vaya a efectuar participando activamente en todas las etapas.

Debe tener en cuenta la autoridad controladora o fiscalización que siempre deben existir documentos técnicos hacia los cuales se puede referir, así como a los documentos contractuales, de manera que no puede exigir más de lo acordado en el contrato con el fabricante, cuidando siempre que se cumplan y se ejecuten bajo los procedimientos apropiados y la calidad exigible. Se pueden realizar cambios siempre que el promotor de la obra o propietario así lo autorice, puesto que pueden existir costos adicionales a ser cubiertos y, estos cambios deberían ser propuestos por sugerencia y/o bajo aprobación técnica de la autoridad controladora, es decir bajo un criterio de ingeniería debidamente justificado.

Dentro de los documentos a los que se puede referir están: planos estructurales, planos de taller, planos de montaje, procedimientos de soldadura, procedimientos de inspección, fichas de registro de materiales, normativas, etc., si alguno de los documentos no existieran dificultan el control o la exigencia que se pueda tener con el fabricante, y es por esto la importancia de poseer de un plan QA/QC oficial y que forme parte de los documentos contractuales, siendo así todas las partes conscientes de su existencia y todo lo que esté dentro del mismo podrá ser verificado y cumplido.

Se describe a continuación cómo se programan las inspecciones conjuntas y el registro o documento de verificación específicamente para la estructura del ascensor.

1. Etapa previa a fabricación

- a. Revisión y aprobación de estudios estructurales
- b. Revisión y aprobación de planos de taller
- c. Revisión y aprobación de planos de montaje
- d. Revisión y aprobación de procedimientos de soldadura
- e. Revisión y aprobación de procedimientos de inspección NDT
- f. Verificación de calificación de personal a la ejecución en la fabricación
- g. Coordinación de obras con las otras ingenierías

2. Etapa de fabricación

- a. Verificación de materiales y condiciones de recepción
- b. Verificación de consumibles de soldadura
- c. Verificación de preparación de juntas y cortes
- d. Verificación de trabajos de soldadura junto con procedimientos
- e. Verificación de la ejecución de todas las juntas de acuerdo a los planos
- f. Inspecciones VT para liberación de miembros estructurales
- g. Inspección básica de preparación superficial para aplicación de pintura

3. Etapa de montaje

- a. Verificación de placas base niveladas, asentadas y en posición de acuerdo a planos, tanto para la cimentación en el subsuelo como en la terraza
- b. Izaje y armado de estructura de la terraza, secundaria y principal.
- c. Verificación de cumplimiento de niveles, perpendicularidad y espacios libres
- d. Trabajos finales de soldadura
- e. Inspecciones VT, MT y VT con informe de aprobación
- f. Liberación de estructura para montaje del ascensor

Varios puntos de la lista detallada, son similares a las tablas de la AISC 360-22 del capítulo N de Control y Aseguramiento de la Calidad, la diferencia está en que se han agregado varios puntos específicos para esta estructura, y como uno de los entregables de este proyecto serán las fichas para registrar la información de manera objetiva, permitiendo esto demostrar el Cumplimiento o No Conformidad de cada uno, con esto se asegura el cumplimiento de la calidad y se controla la calidad de todo el trabajo con el plan planteado y detallado más adelante.

Habiendo definido la planificación para la revisión en cada una de las etapas, se puede arrancar con el proyecto como tal y poder monitorear el cumplimiento de cada uno de los puntos, usando como suministro la información detallada en los ítems 2 a 5.

4.1.1.2 ÍTEM 2: IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES

El material debe estar especificado en el estudio estructural, así como su sección. Para todos los miembros de la estructura el material es Acero A36 que tiene un $F_y = 36\text{ksi}$ (250MPa).

En cuanto a las secciones: las columnas principales tienen un perfil denominado como HSS, sin embargo, por sus dimensiones no es una sección estándar, por lo que debe ser armada con dos perfiles C soldados por sus alas para formar un perfil tubular HSS, algunas tienen además placas de refuerzo y en el diseño de la junta se determina que deberá ser con respaldo (esto se justificará en la sección de procedimientos). La viga principal de sección I en la parte superior de la estructura que también será armada, y finalmente los perfiles tubulares de la estructura secundaria para columnas y viguetas son HSS estándar. Por lo indicado, la mayoría de los miembros son armados, por lo que hará falta detallar cómo está compuesto y qué componentes se requieren para el armado.

Es necesario además considerar la existencia en perfiles estándar para formar los HSS, es decir, que si no existen perfiles C de las medidas que harán falta para formarlos será necesario solicitar su fabricación, por lo cual, esto deberá estar previsto tanto para la solicitud de fabricación como para la recepción del material y construcción del perfil final.

Un ejemplo se toma para el HSS 400x150x8, cuya composición se detallará como sigue:

Composición (por cada miembro)						
Num.	Denominación	Material	Kg/m	Long	Peso	Obs.
1	C 400x75x8	A36		12m (2x6m)		Fabricación
2	PL 89x4	A36		24 (4x6m)		- Platina rigidizadora - Fabricación
3	PL 30x6	A36		12m (2x6m)		- Respaldo - Platina Std.

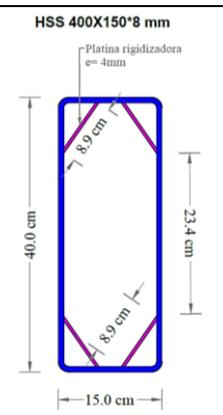
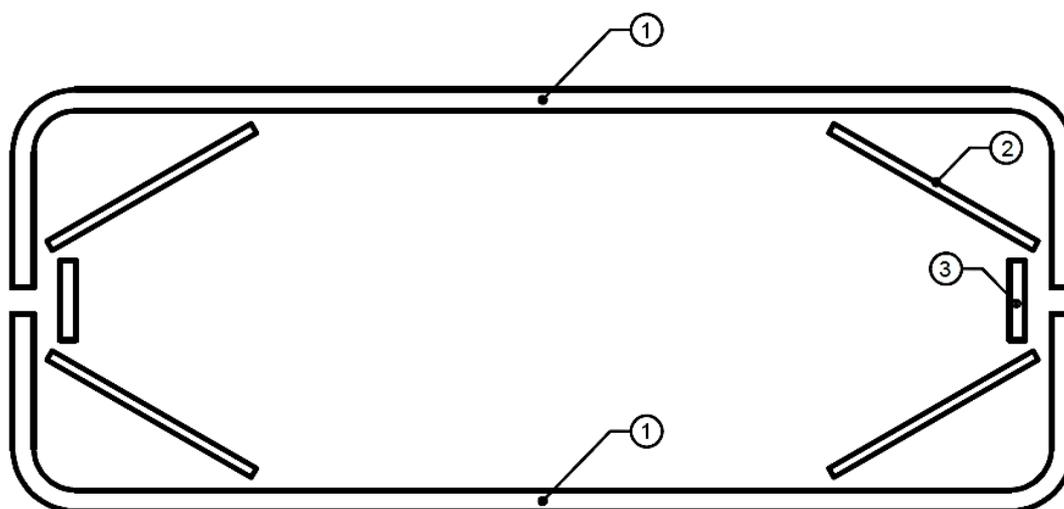
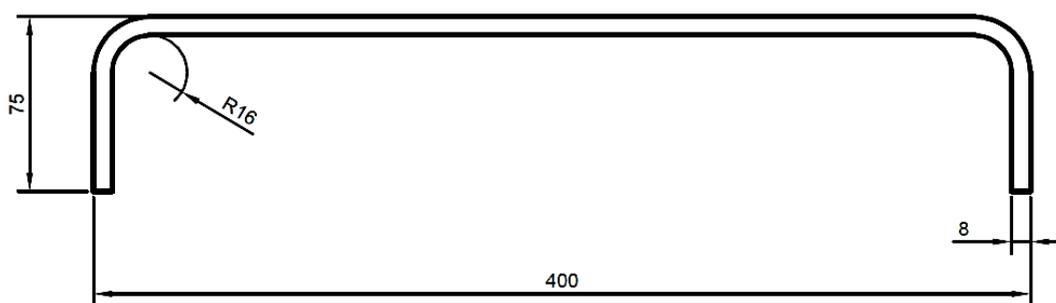


Tabla 4.1 Tabla de descripción de la composición del perfil (Columna) HSS 400x15x8mm
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.1a se muestra el plano de composición del perfil descrito en la tabla 4.7, y en la figura 4.9b las dimensiones de uno de los componentes a ser fabricados.



a) Composición (en despiece) del perfil HSS 400x150x8mm



b) Dimensiones del perfil Número 1: C 400x75x8

Figura 4.1 Detalles constructivos del perfil HSS 400x150x8mm
Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3 ÍTEM 3: SOLDADURA

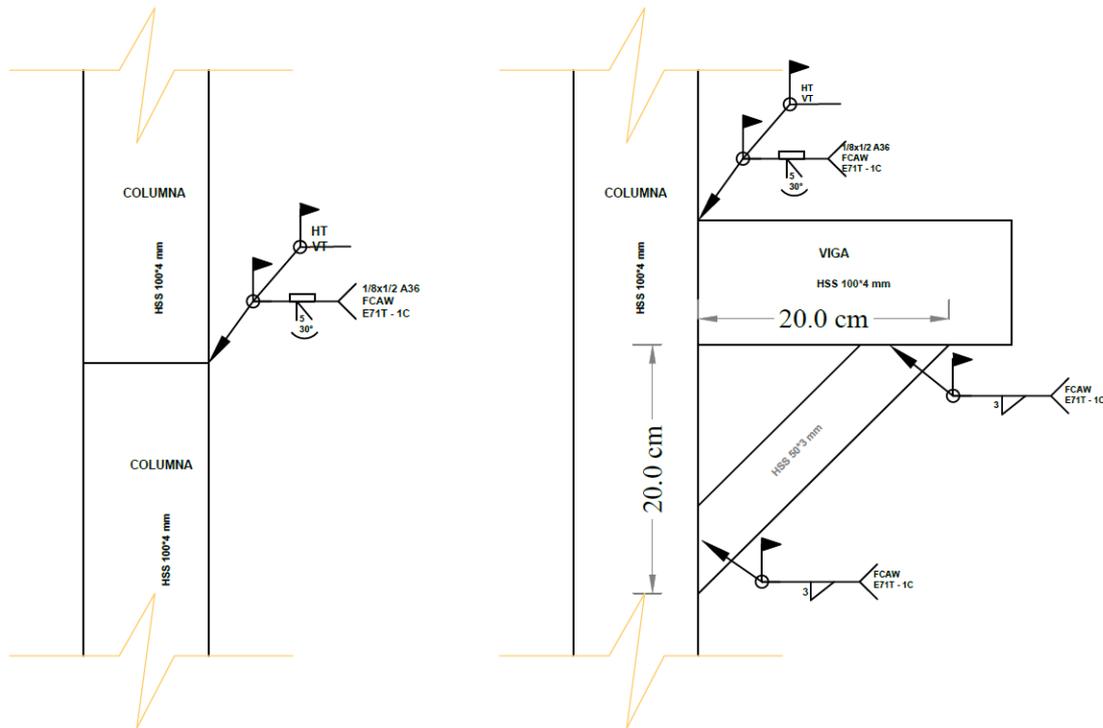
- Procedimientos de soldadura

El procedimiento de soldadura contiene toda la información para el proceso de soldadura, así como información de la junta, entre otros, será tratado a profundidad en la sección 4.3 específicamente de Procedimientos de soldadura.

Si en los planos no se especifica el proceso de soldadura, corresponde al fabricante definirlo y presentarlo a fiscalización o la autoridad competente para su revisión y aprobación, así como también el diseño de la junta entre otra información de base.

Para el presente proyecto, el proceso se encuentra especificado en los planos, así como el tipo de junta a usarse. Un ejemplo se presenta en la conexión

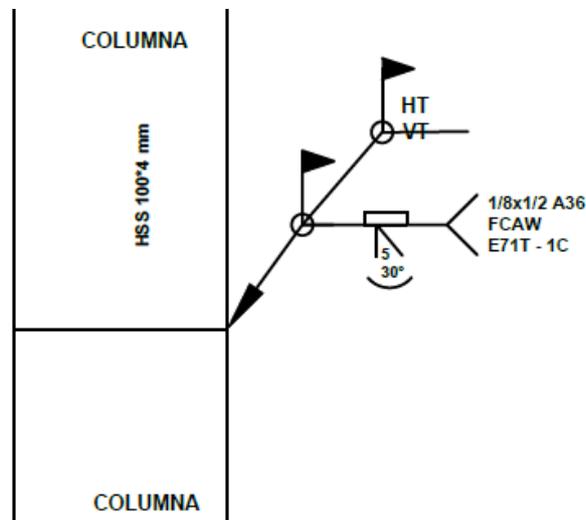
Columna-Columna y Viga-Columna para miembros secundarios como se muestra en la figura 4.2.



DESCRIPCION SOLDADURA

ESC. 1:5

a) Descripción de las juntas soldadas que se deben realizar en los miembros secundarios



b) Descripción de la unión Columna-Columna de las columnas secundarias (ampliación de la figura a)

Figura 4.2 Descripción de las juntas de las columnas secundarias de acuerdo a los planos estructurales. En la figura b se muestra una ampliación de la unión Columna-Columna (a)

Fuente: Estudio estructural

De forma explícita, se indican las juntas que deben ser efectuadas, contiene la simbología, los procesos y las inspecciones que deben realizarse, esto se describió muy brevemente en la sección 3.4. Por ejemplo en la unión columna-

columna (figura 4.2b), se debe realizar una soldadura en campo (en el sitio de montaje) todo el contorno entre las dos columnas, el cordón tendrá un refuerzo convexo, esta soldadura de tener una placa de respaldo de 1/8in de espesor y 1/2in de ancho, y la ranura debe tener un bisel de 30° en solamente en una de las dos caras que será soldada, el proceso de soldadura será FCAW con un electrodo E71T-1C (Electrodo tubular de 70ksi de resistencia última a la tracción, el gas protector será tipo C1, es decir, 100% CO₂), y las inspecciones serán: Inspección visual (VT) y partículas magnéticas (MT).

Para los miembros principales no existe descripción en el estudio, por lo que deberán ser definidos para que la fabricación sea efectuada de acuerdo a lo dispuesto. Toda esta información forma parte de los procedimientos, por lo tanto se retomará en la sección mencionada.

- **Calificación de soldadores**

La calificación de soldadores bajo el código AWS D1.1, es un documento que se otorga a un soldador que ha demostrado las habilidades y técnica suficiente para ejecutar una soldadura confiable apegado al procedimiento. Para que un soldador pueda recibir este documento debió haber realizado y aprobado todas las pruebas que la cláusula 6 parte C del código citado y generalmente es un requisito como parte de la carpeta del soldador.

Con este documento se verifica que haya sido calificado para el proceso indicado en los procedimientos o, para este caso, en los planos estructurales, los mismos que indican que el proceso es FCAW. Corresponde al fabricante presentar las carpetas de los soldadores a intervenir en la fabricación y su aprobación a fiscalización o la autoridad controladora.

- **Inspecciones NDT**

Todas las inspecciones, como se mencionó en la sección 3.2.1.1.2 de Procedimientos del fabricante para el control de calidad, deben ser efectuados por un tercero ajeno al fabricante y la autoridad controladora.

La definición de qué ensayos se deben realizar le corresponde al ingeniero estructural, si no existieran en los planos deberá ser el fabricante o la autoridad controladora la que los defina, es por este motivo que deben ser realizados por un tercero.

En los planos del estudio estructural, están definidas las inspecciones para la estructura secundaria, no se dispone para la estructura principal. Por tal motivo, se toma como referencia lo descrito en la sección 3.2.1.1.2, que a su vez cita la norma NEC-SE-AC recomendando como mínimo la inspección visual (VT) y partículas magnéticas (MT) o tintas penetrantes (PT) como inspecciones superficiales, y como inspecciones volumétricas (interior del miembro) ultrasonido (UT) o rayos X (RT).

En el proyecto de construcción de las estructuras metálicas, se han venido efectuando VT, PT y UT por parte de un tercero quien presenta sus informes en base a sus procedimientos. Para la estructura específica del ascensor, se mantiene VT y UT, con la variante de que en lugar de PT se use MT, aprovechando las ventajas de que el tiempo de inspección se reduce y no importa si las juntas soldadas ya han sido pintadas, es posible detectar cualquier discontinuidad que deba ser evaluada.

- **Procedimientos de inspección NDT**

Por acuerdo y disposición de la autoridad controladora, las inspecciones que sean efectuadas, deberán ser en base a un Procedimiento de Inspección Elaborada o Aprobada por un inspector certificado Nivel III según la práctica recomendada de SNT-TC-1A. Esto se justifica de la cláusula 10 de estructuras tubulares.

En los procedimientos de inspección, se describe calibración o verificación de los equipos previo a realizar cualquier inspección, y contiene la parte de Criterios de Aceptación, cuyo contenido describe qué discontinuidades pasan a ser defectos, los cuales serán rechazados y reparados. Estos criterios son tomados de la AWS D1.1/D1.1M:2020 como norma referente de soldadura de estructuras metálicas.

Por cuestiones de confidencialidad del proyecto, no es posible anexar el procedimiento seguido por la empresa de inspección, sin embargo, la AWS D1.1:2020, de la cual el inspector Nivel III toma los puntos esenciales para elaborar su procedimiento para que el inspector en campo sea quien los ejecute y pueda emitir su informe de los controles efectuados.

La misma norma de referencia de la que se toman los criterios, en la cláusula 8 de Inspecciones, indica que las inspecciones VT deben ser ejecutadas por personal con certificación Nivel II según la práctica recomendada de SNT-TC-1A, o un nivel I certificado bajo la supervisión del nivel II.

La elaboración de procedimiento de inspección para VT no es parte de este proyecto, sin embargo, se pueden presentar los criterios de Aceptación para una estructura tubular tal como en caso que se está tratando, dicho de otra manera, la estructura del ascensor está formada de perfiles tubulares se sección HSS, y la AWS D1.1:2020 contiene la cláusula 10 que trata únicamente de este tipo de estructuras. Los criterios tomados de esta norma se muestran en la figura 4.3.

Para las vigas tipo I, se aplican los criterios de la figura 4.12 en el régimen de carga cíclica, que son menos permisibles que para carga estática.

La técnica de inspección con MT, sigue lo descrito en las tablas de las figuras 4.3 o 4.4, dependiendo del miembro que se esté inspeccionando. En la figura 4.5 se indican unos esquemas de detección de discontinuidades con UT.

Tabla 10.15
Criterios de aceptación de la inspección visual (ver 10.24)

Categorías de discontinuidad y criterios de inspección	Conexiones tubulares (todas las cargas)										
(1) Prohibición de grietas No se deberá aceptar grieta alguna, independientemente del tamaño o la ubicación.	X										
(2) Fusión del metal de soldadura/metal base Deberá existir fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.	X										
(3) Sección transversal del cráter Se deberá llenar todos los cráteres para proporcionar el tamaño de soldadura especificado, excepto en los extremos de soldaduras en filete intermitentes fuera de su longitud efectiva.	X										
(4) Perfiles de soldadura Los perfiles de soldadura deberán cumplir con 7.23.	X										
(5) Tiempo de inspección La inspección visual de las soldaduras en todos los aceros puede comenzar inmediatamente después de que se hayan enfriado las soldaduras finalizadas a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para aceros ASTM A514, A517 y A709 Grado HPS 100W [HPS 690W] deberán estar basados en inspecciones visuales realizadas en un lapso no menor a 48 horas después de la finalización de la soldadura.	X										
(6) Soldaduras de tamaño inferior al nominal El tamaño de una soldadura en filete en cualquier soldadura continua puede ser inferior al tamaño nominal especificado (L) sin corrección por las siguientes cantidades (U): <table border="0" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">L,</td> <td style="text-align: center;">U,</td> </tr> <tr> <td>tamaño nominal especificado de la soldadura, pulg. [mm]</td> <td>disminución admisible de L, pulg. [mm]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\leq 3/16$ [5]</td> <td style="text-align: center;">$\leq 1/16$ [2]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$1/4$ [6]</td> <td style="text-align: center;">$\leq 3/32$ [2.5]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\geq 5/16$ [8]</td> <td style="text-align: center;">$\leq 1/8$ [3]</td> </tr> </table> En todos los casos, la parte de la soldadura con tamaño menor del nominal no deberá exceder del 10% de la longitud de la soldadura. En las soldaduras de alma a ala en vigas, se deberá prohibir la reducción en los extremos de una longitud igual al doble del ancho del ala.	L,	U,	tamaño nominal especificado de la soldadura, pulg. [mm]	disminución admisible de L, pulg. [mm]	$\leq 3/16$ [5]	$\leq 1/16$ [2]	$1/4$ [6]	$\leq 3/32$ [2.5]	$\geq 5/16$ [8]	$\leq 1/8$ [3]	X
L,	U,										
tamaño nominal especificado de la soldadura, pulg. [mm]	disminución admisible de L, pulg. [mm]										
$\leq 3/16$ [5]	$\leq 1/16$ [2]										
$1/4$ [6]	$\leq 3/32$ [2.5]										
$\geq 5/16$ [8]	$\leq 1/8$ [3]										
(7) Socavación (A) En el caso de materiales de menos de 1 pulg. [25 mm] de espesor, la socavación no deberá exceder de 1/32 pulg. [1mm], con la siguiente excepción: la socavación no deberá exceder de 1/16 pulg. [2 mm] en cualquier longitud acumulada de hasta 2 pulg. [50 mm] en cualquier tramo de 12 pulg. [300 mm]. En el caso de materiales con espesor igual o mayor de 1 pulg. [25 mm], la socavación no deberá exceder de 1/16 pulg. [2 mm], cualquiera sea la longitud de la soldadura. (B) En miembros principales, la socavación no deberá ser mayor de 0,01 pulg. [0,25 mm] de profundidad cuando la soldadura es transversal al esfuerzo de tracción en cualquier condición de carga. La socavación no deberá ser superior a 1/32 pulg. [1 mm] de profundidad en ningún caso.	X										
(8) Porosidad (A) Las soldaduras en ranura con CJP en juntas a tope transversales a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad vermicular visible. En todas las demás soldaduras en ranura y soldaduras en filete, la suma de la porosidad vermicular visible de 1/32 pulg. [1 mm] o más de diámetro no deberá exceder de 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier tramo lineal de soldadura de una pulgada y no deberá exceder de 3/4 pulg. [20 mm] en cualquier tramo de soldadura de 12 pulg. [300 mm] de longitud. (B) La frecuencia de la porosidad vermicular en las soldaduras en filete no deberá exceder de una en cada 4 pulg. [100 mm] de longitud de soldadura y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2,5 mm]. Excepción: en el caso de soldaduras en filete que conectan rigidizadores al ala, la suma de los diámetro de la porosidad vermicular no deberá exceder de 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier tramo lineal de soldadura de una pulgada y no deberá exceder de 3/4 pulg. [20 mm] en cualquier tramo de soldadura de 12 pulg. [300 mm] de longitud. (C) Las soldaduras en ranura con CJP en juntas a tope transversales a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad vermicular. En todas las demás soldaduras en ranura la frecuencia de la porosidad vermicular no deberá exceder de una en 4 pulg. [100 mm] de longitud y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2,5 mm].	X										

Nota: Una "X" indica la aplicabilidad para el tipo de conexión, un área sombreada indica no aplicabilidad.

Figura 4.3 Criterios de Aceptación para VT para estructuras Tubulares
Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020

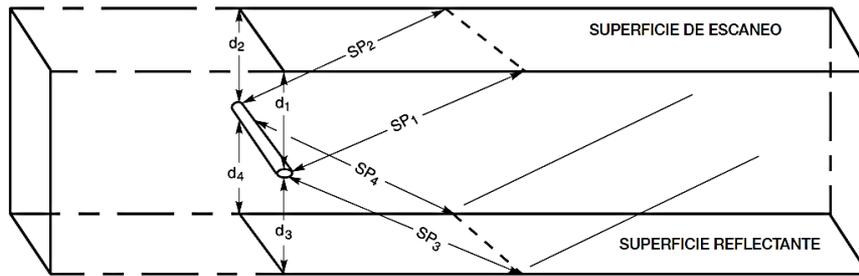
Tabla 8.1
Criterios de aceptación de la inspección visual (ver 8.9)

Categorías de discontinuidad y criterios de inspección	Conexiones no tubulares cargadas estáticamente	Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente										
(1) Prohibición de grietas No se deberá aceptar grieta alguna, independientemente del tamaño o la ubicación.	X	X										
(2) Fusión del metal de soldadura/metal base Deberá existir fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.	X	X										
(3) Sección transversal del cráter Se deberá llenar todos los cráteres para proporcionar el tamaño de soldadura especificado, excepto en los extremos de soldaduras en filete intermitentes fuera de su longitud efectiva.	X	X										
(4) Perfiles de soldadura Los perfiles de soldadura deberán cumplir con 7.23.	X	X										
(5) Tiempo de inspección La inspección visual de las soldaduras en todos los aceros puede comenzar inmediatamente después de que se hayan enfriado las soldaduras finalizadas a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para aceros ASTM A514, A517 y A709 Grado HPS 100W [HPS 690W] deberán estar basados en inspecciones visuales realizadas en un lapso no menor a 48 horas después de la finalización de la soldadura.	X	X										
(6) Soldaduras de tamaño inferior al nominal El tamaño de una soldadura en filete en cualquier soldadura continua puede ser inferior al tamaño nominal especificado (L) sin corrección por las siguientes cantidades (U): <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">L,</td> <td style="text-align: center;">U,</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">tamaño nominal especificado de la soldadura, pulg. [mm]</td> <td style="text-align: center;">disminución admisible de L, pulg. [mm]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\leq 3/16$ [5]</td> <td style="text-align: center;">$\leq 1/16$ [2]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$1/4$ [6]</td> <td style="text-align: center;">$\leq 3/32$ [2.5]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\geq 5/16$ [8]</td> <td style="text-align: center;">$\leq 1/8$ [3]</td> </tr> </table> En todos los casos, la parte de la soldadura con tamaño menor del nominal no deberá exceder del 10% de la longitud de la soldadura. En las soldaduras de alma a ala en vigas, se deberá prohibir la reducción en los extremos de una longitud igual al doble del ancho del ala.	L,	U,	tamaño nominal especificado de la soldadura, pulg. [mm]	disminución admisible de L, pulg. [mm]	$\leq 3/16$ [5]	$\leq 1/16$ [2]	$1/4$ [6]	$\leq 3/32$ [2.5]	$\geq 5/16$ [8]	$\leq 1/8$ [3]	X	X
L,	U,											
tamaño nominal especificado de la soldadura, pulg. [mm]	disminución admisible de L, pulg. [mm]											
$\leq 3/16$ [5]	$\leq 1/16$ [2]											
$1/4$ [6]	$\leq 3/32$ [2.5]											
$\geq 5/16$ [8]	$\leq 1/8$ [3]											
(7) Socavación (A) En el caso de materiales de menos de 1 pulg. [25 mm] de espesor, la socavación no deberá exceder de 1/32 pulg. [1mm], con la siguiente excepción: la socavación no deberá exceder de 1/16 pulg. [2 mm] en cualquier longitud acumulada de hasta 2 pulg. [50 mm] en cualquier tramo de 12 pulg. [300 mm]. En el caso de materiales con espesor igual o mayor de 1 pulg. [25 mm], la socavación no deberá exceder de 1/16 pulg. [2 mm], cualquiera sea la longitud de la soldadura. (B) En miembros principales, la socavación no deberá ser mayor de 0,01 pulg. [0,25 mm] de profundidad cuando la soldadura es transversal al esfuerzo de tracción en cualquier condición de carga. La socavación no deberá ser superior a 1/32 pulg. [1 mm] de profundidad en ningún caso.	X	X										
(8) Porosidad (A) Las soldaduras en ranura con CJP en juntas a tope transversales a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad vermicular visible. En todas las demás soldaduras en ranura y soldaduras en filete, la suma de la porosidad vermicular visible de 1/32 pulg. [1 mm] o más de diámetro no deberá exceder de 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier tramo lineal de soldadura de una pulgada y no deberá exceder de 3/4 pulg. [20 mm] en cualquier tramo de soldadura de 12 pulg. [300 mm] de longitud. (B) La frecuencia de la porosidad vermicular en las soldaduras en filete no deberá exceder de una en cada 4 pulg. [100 mm] de longitud de soldadura y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2,5 mm]. Excepción: en el caso de soldaduras en filete que conectan rigidizadores al ala, la suma de los diámetros de la porosidad vermicular no deberá exceder de 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier tramo lineal de soldadura de una pulgada y no deberá exceder de 3/4 pulg. [20 mm] en cualquier tramo de soldadura de 12 pulg. [300 mm] de longitud. (C) Las soldaduras en ranura con CJP en juntas a tope transversales a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad vermicular. En todas las demás soldaduras en ranura la frecuencia de la porosidad vermicular no deberá exceder de una en 4 pulg. [100 mm] de longitud y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2,5 mm].	X	X										

Nota: Una "X" indica la aplicabilidad para el tipo de conexión, un área sombreada indica no aplicabilidad.

Figura 4.4 Criterios de aceptación para VT a ser aplicado para elementos No Tubulares como la viga I en la estructura al nivel de la terraza. Para el proyecto se aplicarán los criterios de carga cíclica
Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020

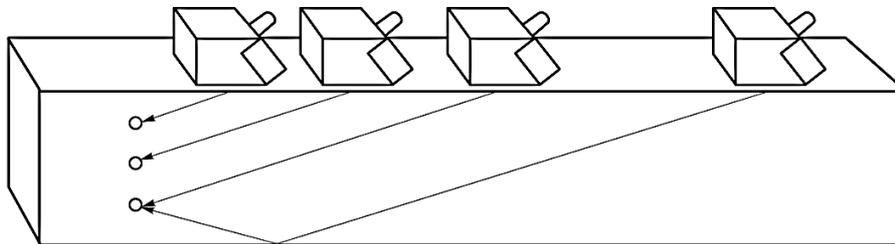
Para UT, la interpretación resulta más compleja, es decir que no se pueden visualizar directamente como en el caso de una fisura MT o un grupo de poros con VT. Se incluye un ejemplo sencillo que brinde una idea de cómo se detectan discontinuidades en la figura 4.5, de igual manera por el motivo de que el objetivo de este proyecto no son los procedimientos de inspección, sino elaborar los planes de QA/QC y los Procedimientos de Soldadura (WPS).



- Notas:
- $d_1 = d_2 \pm 0.5 \text{ mm}$ $d_3 = d_4 \pm 0.5 \text{ mm}$
 $SP_1 = SP_2 \pm 1 \text{ mm}$ $SP_3 = SP_4 \pm 1 \text{ mm}$
 - Las tolerancias mencionadas arriba deben considerarse como apropiadas. El reflector debe, en todos los casos, colocarse de manera tal que permita maximizar el reflejo y la indicación UT. (Este es un comentario general para todas las notas en el Apéndice Q.)

Figura Q.1—Reflector de referencia estándar (ver Q5)

a) Esquema de distancias recorridas por la onda ultrasónica en el interior de un elemento sólido y su reflexión con una discontinuidad



Nota: Las dimensiones son necesarias para adaptar las unidades de búsqueda a las distancias de la trayectoria del sonido requeridas.

Figura Q.2—Bloque de calibración recomendado (ver Q5)

b) Escaneo (Exploración) con la sonda y viaje de la onda hacia la discontinuidad (flechas), su dirección es afectada por su calibración.

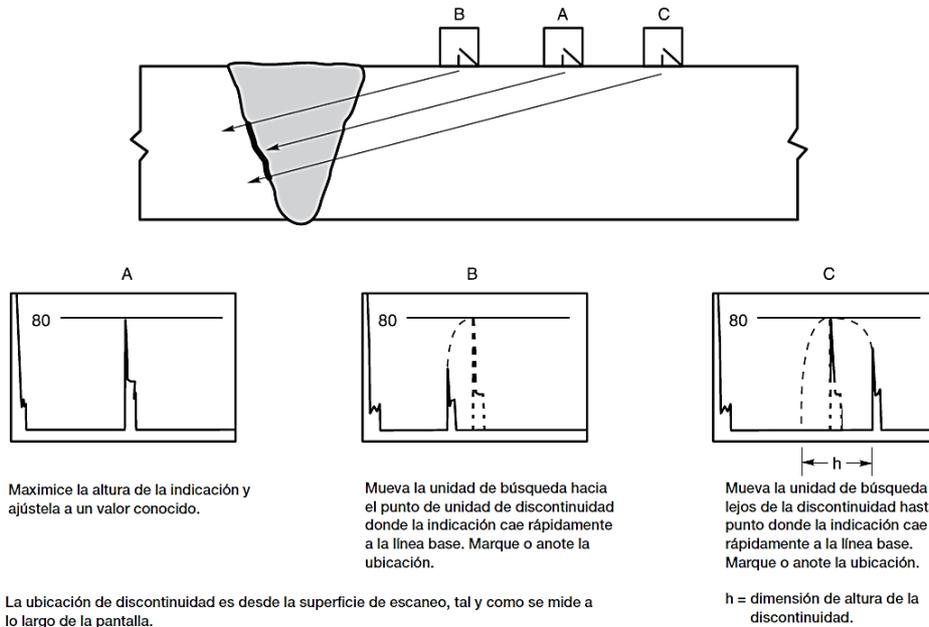


Figura Q.12—Dimensión de altura de la discontinuidad (ver Q9.2)

c) Curva observada al detectar una discontinuidad y recorrido de la sonda para determinar su altura.

Figura 4.5 Calibración, detección y medición de una discontinuidad con UT convencional
Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, Apéndice O.

Con el ejemplo anterior, una vez que se haya detectado la discontinuidad, los criterios de aceptación y rechazo se dan en términos de dB (decibelios) que dependen de la calibración del equipo entre otras variables. Se muestra en la figura 4.6.

Tabla O.1
Criterios de aceptación-rechazo (ver O12)

Nivel máximo de amplitud de discontinuidad obtenido	Longitudes de discontinuidad máximas según clases de soldadura			
	Cargada estáticamente	Cargada cíclicamente	Tubular clase R	Tubular clase X
Nivel 1—Igual o mayor que SSL (ver O6.1 y Figura O.14)	> 5 dB por encima de SSL = ninguno permitido 0 a 5 dB por encima de SSL = 3/4 in pulg. [20 mm]	> 5 dB por encima de SSL = ninguno permitido de 0 a 5 dB por encima de SSL = 1/2 pulg. [12 mm]	Ver Figura 10.24	Ver Figura 10.25 (Utiliza altura)
Nivel 2—Entre SSL y DRL (ver Figura O.14)	2 pulg. [50 mm]	Medio 1/2 de soldadura = 2 pulg. [50 mm] Superior e inferior 1/4 de soldadura = 3/4 pulg. [20 mm]	Ver Figura 10.24	Ver Figura 10.25 (Utiliza altura)
Nivel 3—Igual o menor que el DRL (ver Figura O.14)	Descartar (cuando lo especifique el Ingeniero, registro para información)			

Figura 4.6 Criterio de aceptación y rechazo con UT
Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, Apéndice O

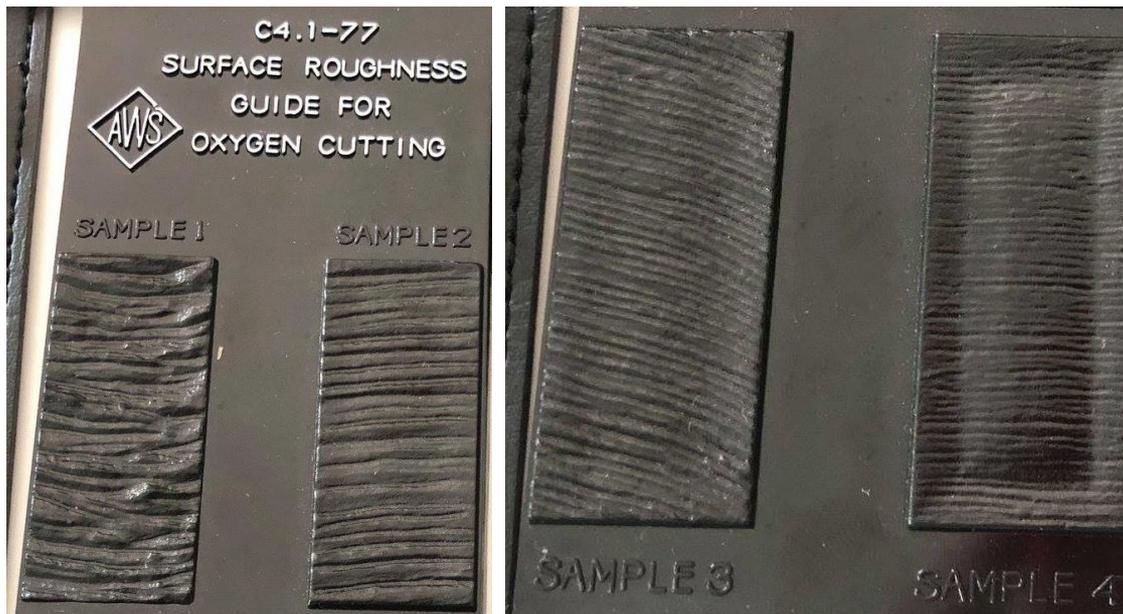
Por lo descrito en las 2 figuras anteriores, resulta la importancia de una correcta elaboración de un procedimiento específicamente para estructura tubulares y que sea Elaborado o Firmado por un inspector Certificado Nivel III, y la ejecución la deba realizar de igual manera un inspector Certificado mínimo Nivel II, pues no es una inspección intuitiva que con unas instrucciones rápidas una persona sin el entrenamiento apropiado las pueda realizar.

- Cortes y Preparación de juntas

De lo revisado en la sección 3.2.2.2 de Fabricación, consta todo lo solicitado tanto por la AISC 303-22 y AWS D1.1/D1.1:2020, tanto para esquinas reentrantes, preparación de juntas y agujeros de acceso para soldadura.

Esto forma parte de las verificaciones que serán efectuadas, y al haber varios perfiles se desarrollará una ficha para cada uno. Corresponde a la autoridad controladora efectuar los controles en conjunto con el fabricante.

En la figura 4.6 se indica cómo son las muestras identificadas por la AWS C4.1-77 citada por la AWS D1.1 antes referida. En la figura 4.14a está la muestra 1 y 2 (sample 1 y 2), en la figura 4.14b están las muestras 3 y 4 (sample 3 y 4). La norma indica que el acabado con corte térmico debe ser al menos como la muestra 3, lo cual tiene que verificar su cumplimiento.



a) Muestras 1 y 2. Estos acabados son producto de un corte con oxiacorte

b) Muestras 3 y 4. Estos acabados son generalmente producto de corte con plasma

Figura 4.6 Muestras de rugosidad superficial con corte térmico identificados por AWS C4.1-77
Fuente: Réplica de AWS C4.1-77

- Reparaciones

Las reparaciones no deberían ser necesarias si existe un adecuado control, sin embargo, si se ha hecho necesario enderezar algún perfil, lo descrito en la sección 3.2.1.1.2. referido a la norma AISC 360-22, permite el uso de calentamiento hasta un máximo de 650°C, que de ser necesario será controlado por la autoridad controladora y registrado en las fichas.

4.1.1.4 ÍTEM 4: FABRICACIÓN E IZAJE

Previo a la fabricación se debe contar con todos los planos y procedimientos aprobados por la autoridad controladora o fiscalización.

Generar los planos de fabricación y montaje están a cargo del fabricante, todo esto parte del estudio estructural, que debe especificar el tipo de juntas soldadas a ser efectuadas e inspecciones NDT entre otra información especificada por el ingeniero estructural.

Parte de los entregables del proyecto desarrollado son los WPS, y junto con esto se generarán los planos para la preparación de las juntas, lo que los convierte en los planos de taller que estarán disponibles para los trabajos de fabricación, así como para el montaje, dependiendo de la junta a ser efectuada que puede ser en taller o en campo (en sitio).

Por lo mencionado, estos detalles pasan a ser parte de la sección 4.3 de Procedimientos de soldadura, en los cuales se presentará a detalle la elaboración de los WPS y preparación de juntas.

4.1.1.5 ÍTEM 5: PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL

Una de las condiciones indicadas por la AISC 360-22 para una vida extensa o correctamente estimada de la estructura es que las condiciones de corrosión se mantengan controladas, por este motivo, la norma mencionada se refiere a la AISC 303-22. En la sección 3.2.2.3 de Pintura de taller, se han detallado los requisitos mínimos para una buena aplicación y estos a su vez están basados en las normativas de la AMPP e ISO, todas estas están basadas en una especificación previamente elaborada, pero al no existir dicha especificación dentro de los documentos contractuales, se tienen las especificaciones mínimas verificables de pintura o recubrimiento descritas en la sección 3.2.3 del presente documento. Aunque no es parte de este proyecto desarrollar un procedimiento de aplicación de recubrimiento, se indicarán los pasos mínimos respaldados por la última sección mencionada, los mismos que serán verificados en campo durante la ejecución, en algunos casos con directamente de forma visual sin magnificación y otras con el instrumento que sea indicado.

Aplicación en taller

- 1- Verificación del grado de corrosión: Al ser un material nuevo, el grado de corrosión aceptado será Grado A de acuerdo a ISO 8501-1 (figura 3.3).
- 2- Limpieza con solventes de acuerdo a SSPC-SP1, la superficie debe estar libre de grasas, aceites, polvo u otros contaminantes
- 3- Limpieza con herramientas manuales o motorizadas de acuerdo a SSPC-SP2 y SSPC-SP3, para eliminar óxidos, calamina pobremente adherida, descamaciones, o cualquier otro contaminante que no permita que la capa de recubrimiento se adhiera al sustrato (metal desnudo).
- 4- Eliminación de cualquier proyección de soldadura, y en lo posible, que el cordón de soldadura quede completamente al ras de la superficie metálica, rayaduras profundas también deberán ser pulida. El grado de preparación deberá aproximarse a P3 de acuerdo a ISO 8501-3 (figura 3.4).
- 5- Previo a la aplicación del recubrimiento, se deben verificar las condiciones ambientales de acuerdo a ASTM D3276 y que la temperatura del sustrato esté al menos 5°C por encima del punto de rocío.
- 6- Al aplicar el recubrimiento, se puede proceder con brochas, rodillos, o pistola convencional con aire o airless, de cualquier método el EPS deberá ser de 1mil(25µm).

- 7- Si los perfiles serán almacenados a la intemperie, se permite cubrir completamente incluidos los extremos, sin van a ser almacenados bajo techo No se deberá recubrir 5cm desde cada uno de los extremos.

Aplicación en sitio

Se deben seguir los pasos descritos en la aplicación en taller, el pulido o preparación de las juntas soldadas de acuerdo a ISO 8501-3 deberán consultarse con el departamento de ingeniería o la autoridad controladora.

Con estos controles y verificaciones, se asegura y garantiza que la estructura haya sido construida de acuerdo a los estudios estructurales, y que se tenga una vida prolongada en el tiempo. Efectuar los controles es parte de las labores de la autoridad controladora o de fiscalización, y con el presente proyecto se definen qué controles serán los más apropiados para este caso en específico, minimizando la subjetividad y manteniendo la objetividad en cada una de las etapas constructivas.

Existen algunos documentos que en conjunto el fabricante y la autoridad controladora los deben levantar en conjunto, y se incluyen en los anexos de este documento, pero además existen documentos de propiedad del promotor de la estructura, tales como: informes NDT, Certificados de materiales, Calificación de soldadores, memoria y planos del cálculo del estudio estructural y procedimientos de inspección, que no podrán ser incluidos dentro de los anexos, sin embargo los planos constructivos, procedimientos, inspecciones visuales, y todas las fichas que se generaron en el presente proyecto, que sí serán anexados, siendo estos además parte de los entregables cuya generación forma parte de los objetivos.

4.2 PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

El segundo entregable del presente proyecto son los procedimientos de soldadura que serán usados para armar las columnas HSS principales y las uniones columna-columna, columna-placa base y columna-viga tanto de la estructura principal como la secundaria.

En la sección 3.4 se revisaron los conceptos, simbología, la información que debe ser incluida dentro de los procedimientos (WPS) y la definición de procedimientos de soldadura precalificados. Es importante recalcar que todo lo que se incluye dentro del procedimiento debe ser verificado con VT durante la etapa de fabricación para así garantizar las resistencias esperadas, además se debe considerar que debido a que todas las juntas que deban ser preparadas para el izaje deben haber sido efectuadas en taller para que en campo únicamente se comprueben niveles, la verticalidad y se proceda al armado de la estructura.

Se iniciará con la definición de las juntas críticas, las cuales corresponden a las de las columnas HSS principales, se usarán siempre Juntas Precalificadas indicadas en las cláusulas de la AWS D1.1/1.1M:2020, evitando así cualquier calificación y costos adicionales a ser cubiertos por el promotor del proyecto.

La consideración adicional a tomar en cuenta es que las juntas deben ser las indicadas para cargas cíclicas o de fatiga y es una estructura tubular, con lo cual, la cláusula 10 de Estructuras tubulares incluida dentro de la norma antes citada, será la guía para definir las juntas.

4.2.1.1 DISEÑO DE JUNTA EN CONEXIÓN COLUMNA-COLUMNA (TUBULAR BAJO CARGA CÍCLICA)

Para la conexión Columna-Columna de una estructura tubular, el código AWS D1.1/D1.1M:2020 en la cláusula 10, presenta una junta soldada que empalma dos miembros HSS con CJP y respaldo sin retirar, con la carga actuando en sentido transversal al eje longitudinal del cordón. Esta junta la norma mencionada la muestra en la tabla 10.1 (del código AWS de referencia) y se presenta en este documento en la figura 4.6.

Este mismo tipo de junta consta también en la tabla A-3.1 del anexo 3 de la AISC 360-22, y se muestra en la figura 3.6 de la sección 3.3.2 de Diseño por fatiga de este documento. En la figura 4.6, indica los parámetros de diseño para este tipo específico de junta y aplicación de carga, valorando numéricamente el umbral de esfuerzos, su categoría y la constante C_r , tal como lo muestra la AISC previamente citada y coinciden en sus magnitudes.

Tabla 10.1
Parámetros de diseño para tensiones de fatiga (ver 10.2.3.2)

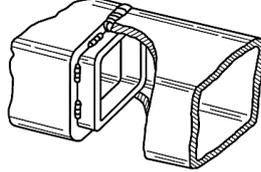
Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 1—Juntas soldadas transversales a la dirección del esfuerzo					
1.1 Metal base y metal de aporte en o adyacente a empalmes a tope de soldadura en ranura con CJP con respaldo en su lugar.					1,1
Soldaduras de punteado dentro de la ranura	D	22×10^8	7 [48]	Desde el pie de la soldadura en ranura o el pie de la soldadura que fija el respaldo	
Soldaduras de punteado fuera de la ranura y no más cercanas de 1/2 pulgada [12mm] del borde de metal base	E	11×10^8	4.5 [31]		

Figura 4.6 Parámetros de diseño de un empalme de dos perfiles HSS con junta CJP y respaldo dejado en el sitio. La carga actúa en sentido transversal al eje del cordón.
Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, clausula 10, tabla 10.1.

Dentro de los parámetros de diseño mostrado en la figura 4.6, en el encabezado de la tabla indica que se debe consultar 10.2.3.2 del mismo código en cuyo texto solicita: identificar la categoría del esfuerzo y consultar con la figura 10.1 de la misma norma para estimar la vida de la junta. En dicha figura se presenta el diagrama de Wöhler o S-N (descrito en la figura 3.5 de este documento) en el cual los umbrales y los esfuerzos varían de acuerdo a su categorización. El valor calculado con la ecuación 4.3 de este documento (AISC 360-22, A-3.1M), debe ser muy próximo al que se obtendría con el diagrama en la figura 10.1 de la AWS (figura 4.7 en este documento), esto es de esperarse debido a que la AWS en su clausula 4 parte C, calcula el rango de esfuerzos de manera similar al descrito en la AISC de referencia. En esta ecuación únicamente varía la constante que multiplica al paréntesis, y es por esto que en los parámetros de la figura 4.6 la constante C_f tiene exponente $\times 10^8$.

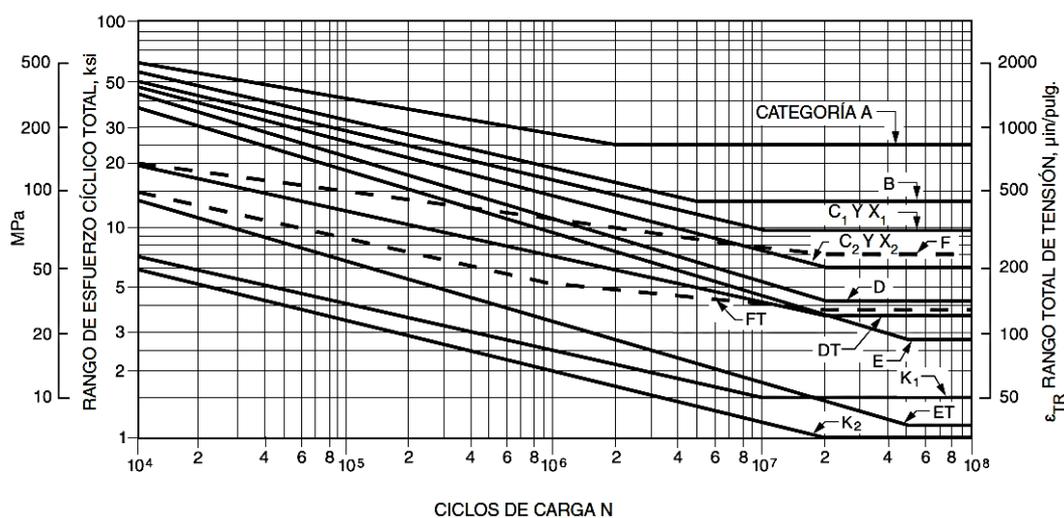


Figura 10.1—Rangos de esfuerzo de fatiga admisible y rangos de deformación para categorías de esfuerzos (ver Tabla 10.3), estructuras tubulares para servicio atmosférico (ver 10.2.3.3)

Figura 4.7 Diagrama de Wöhler (S-N) para el rango de esfuerzos categorizada de acuerdo al tipo de junta de estructuras tubulares.

Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, clausula 10, figura 10.1

Del diseño de junta mostrado en la figura 4.6, se toman tres variables a ser usadas en el desarrollo del procedimiento.

- 1- Junta CJP a tope
- 2- Respaldo dejado en sitio
- 3- Respaldo debe cumplir con lo descrito en 3.4.7 del presente documento.

Consideraciones adicionales son:

- 1- Será montada en sitio, la soldadura se hará en posición 2G.
- 2- Por ser junta crítica deberá ser inspeccionada con VT, MT y UT.
- 3- Para mejorar el comportamiento a la fatiga, el cordón será esmerilado al ras, como se describe en la sección 3.4.8.

La junta precalificada CJP para la posición 2G seleccionada es la B-U4a mostrada en la figura 4.8 tomado de la tabla 5.1 de la AWS de referencia. El proceso de soldadura se seleccionará de acuerdo a los términos contractuales y la disponibilidad de los soldadores contratados.

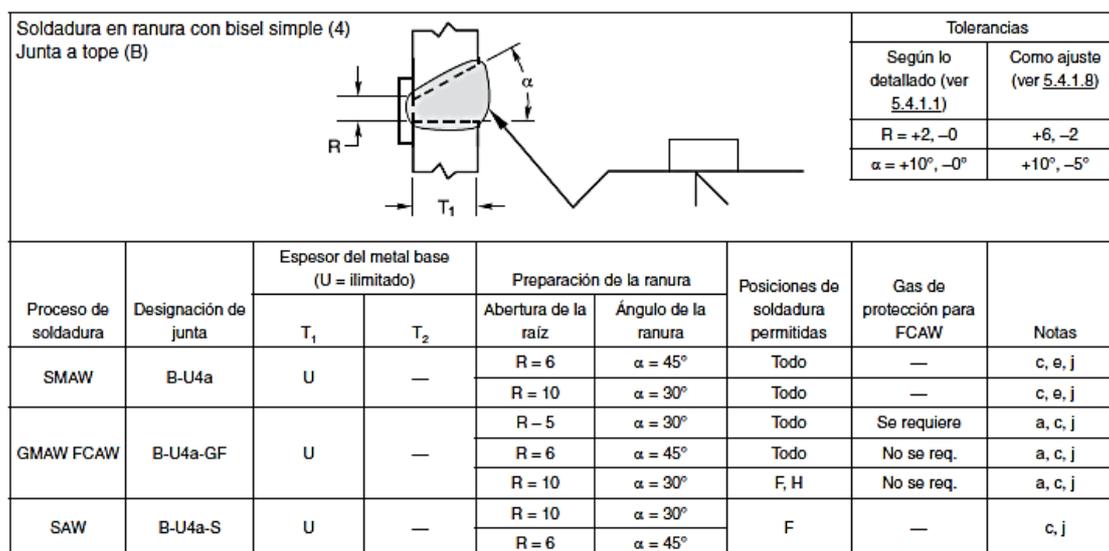


Figura 4.8 Junta CJP a tope para posición 2G con respaldo seleccionada para la conexión Columna-Columna

Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, Tabla 5.1

4.2.2 DISEÑO DE JUNTA PARA FABRICACIÓN DE COLUMNAS PRINCIPALES HSS (CARGA CÍCLICA)

De acuerdo a los planos de taller, las columnas HSS de la estructura principal serán armados por dos perfiles C como se muestra en la figura 4.9. Inicialmente se va a determinar el rango de tensiones para estimar si la vida será igual o mayor a la junta Columna-Columna, para finalmente seleccionar la junta precalificada.

Usando la ecuación 4.3 de este documento, y los parámetros de diseño de la figura 4.18, se tiene:

$$F_{SR} = 6900 \left(\frac{C_f}{n_{SR}} \right)^{0.333} \geq F_{TH} \quad \text{Ec.4.3 Rango de tensiones}$$

Fuente: AISC 360-22, A-3.1M

$$n_{SR} = 262800 \text{ (} 2.6 \times 10^5 \text{) ciclos}$$

Categoría: B' (Figura 4.18)

$$C_f = 61 \times 10^8 \text{ (Figura 4.18) = } 6,1 \text{ (Fig. 3.4 para Ec. 4.3)}$$

$$F_{TH} = 83 \text{ MPa (Figura 4.18)}$$

$$F_{SR} = \mathbf{197.53 \text{ MPa}}$$

Tabla 4.2 Cálculo del rango de tensiones de la junta para fabricar HSS con dos C.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.2 se presentan los resultados de rangos de tensión máxima, resultando que para que la junta soporte los 2.6×10^5 ciclos es de 197.53MPa de tensión máxima, sin embargo, se están controlando los esfuerzos para que estén en un máximo de 140MPa, por lo tanto, la junta soportará las condiciones del esfuerzo real σ_{real} superando los ciclos de vida esperados.

Tabla 4.5 (continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (ver 4.14.1)

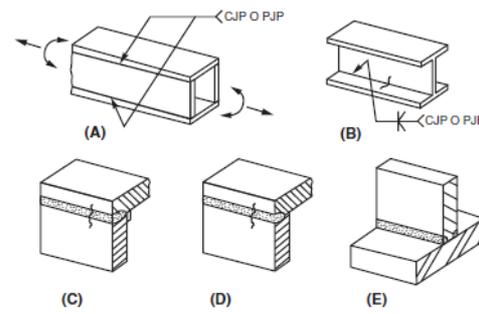
Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 3—Juntas soldadas que unen componentes de miembros armados					
3.2 Metal base y metal soldado en miembros sin accesorios armados de placas o formas conectadas mediante soldaduras en ranura con CJP longitudinales continuas con respaldo de acero continuo en el lugar, o mediante soldaduras en ranura con PJP continuas.	B'	61×10^8	12 [83]	Desde la superficie o las discontinuidades internas en la soldadura	3,2 

Figura 4.9 Juntas soldadas para miembros armados

Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, Tabla 4.5

En base a la descripción de la junta mostrada en la figura 4.9, que sería el caso equivalente a la forma de fabricar las columnas HSS con el eje del cordón de soldadura paralelo al eje de la columna, las condiciones para el diseño de la junta son:

- 1- Junta CJP a tope
- 2- Respaldo sin retirar
- 3- Respaldo debe cumplir con lo descrito en 3.4.7 del presente documento.

4- La junta se realizará en taller en posición 1G

Con lo descrito, la junta precalificada a tope CJP para posición 1G con respaldo seleccionada es la B-L1a-GF y se muestra en la figura 4.10, el proceso seleccionado puede ser FCAW o GMAW para una producción continua considerando que los perfiles C a ser unidos son de 6m y se tendrán que armar varias columnas en 3 medidas distintas. La determinación final del proceso se hará en base a los términos contractuales y la disponibilidad de los soldadores contratados.

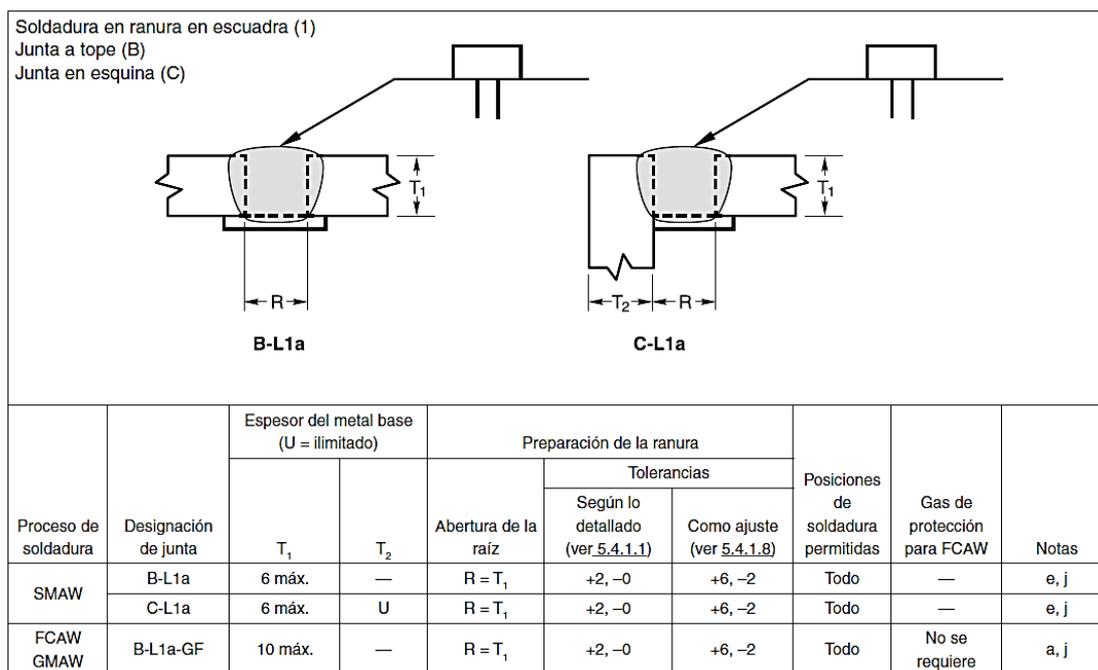


Figura 4.10 Junta CJP a tope con respaldo para posición 1G, seleccionado para fabricación de columnas HSS principales.

Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, Tabla 5.1

4.2.3 DISEÑO DE LA CONEXIÓN COLUMNA-PLACA BASE (ESTRUCTURA TUBULAR Y CARGA CÍCLICA)

Otra conexión crítica es la conexión Columna-Placa base, para su diseño se seguirá de igual manera la metodología planteada determinando los rangos de tensiones y asegurar que se cumpla al menos los ciclos estimados en la conexión Columna-Columna.

Usando la ecuación 4.3 de este documento, y los parámetros de diseño de la figura 4.20, se tiene:

$$F_{SR} = 6900 \left(\frac{C_f}{n_{SR}} \right)^{0.333} \geq F_{TH}$$

Ec.4.3 Rango de tensiones
Fuente: AISC 360-22, A-3.1M

$$n_{SR} = 262800 (2.6 \times 10^5) \text{ ciclos}$$

Categoría: C (Figura 4.18)

$$C_f = 44 \times 10^8 \text{ (Figura 4.18)} = 4,4 \text{ (Fig. 3.4 para Ec. 4.3)}$$

$$F_{TH} = 69 \text{ MPa (Figura 4.18)}$$

$$F_{SR} = 177,17 \text{ MPa}$$

Tabla 4.3 Cálculo del rango de tensiones de la conexión Columna-Placa base.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.3 se muestran los resultados del rango de tensión máxima, resultando que para que la junta soporte los 2.6×10^5 ciclos es de 177.17MPa de tensión máxima, sin embargo, se están controlando los esfuerzos para que estén en un máximo de 140MPa, por lo tanto, la conexión soportará las condiciones del esfuerzo real σ_{real} superando los ciclos de vida esperados.

Tabla 4.5 (continuación)
Parámetros de diseño para esfuerzos de fatiga (ver 4.14.1)

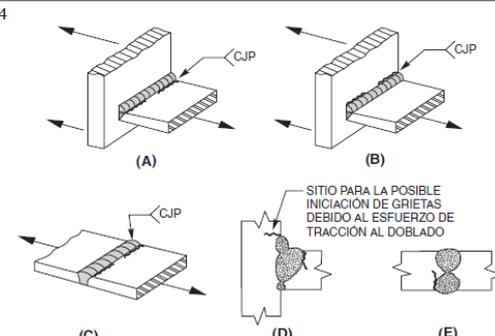
Descripción	Categoría de esfuerzo	Constante C_f	Umbral F_{TH} ksi [MPa]	Punto de inicio de grietas potenciales	Ejemplos ilustrativos
Sección 5—Juntas soldadas transversales a la dirección del esfuerzo (cont.)					
5.4 Metal y metal base de soldadura en empalmes o juntas en T o en esquina soldados en ranuras con CJP, o adyacentes a ellos, sin transiciones de espesor o con transición de espesor con inclinaciones no mayores a 1 al 2-1/2, cuando la soldadura de refuerzo no se elimina y se inspecciona de acuerdo con 4.19.	C	44×10^8	10 [69]	Desde la soldadura que se extiende hacia el metal base o a lo largo de la soldadura del metal	5,4 

Figura 4.11 Juntas soldadas en T con esfuerzos transversales al eje de la junta

Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, Tabla 4.5

En base a la descripción de la junta mostrada en la figura 4.11, que sería el caso equivalente a la conexión en T como va montada la columna sobre la placa base, las condiciones para el diseño serían:

- 1- Junta CJP en T
- 2- Sin respaldo
- 3- Estructura tubular.
- 4- La junta se realizará en campo en posición 1G

Con lo descrito, las juntas precalificadas CJP para estructura tubular y conexión en T sin respaldo, se presenta en la cláusula 10 de la AWS de referencia, en la figura 4.12 se muestra una conexión tubular en T oblicua, la

AWS la presenta para generalizar los ángulos de conexión, para el caso de la estructura del ascensor estos ángulos son de 90° , y la base de la columna se asentaría directamente sobre la placa base. Para que la junta sea precalificada, se debe seguir lo descrito en la figura 4.13 (figura 10.11 de la AWS) y las dimensiones deberán ser tomadas de la figura 4.14 (Tabla 10.7 de la AWS). La determinación final del proceso se hará en base a los términos contractuales y la disponibilidad de los soldadores contratados.

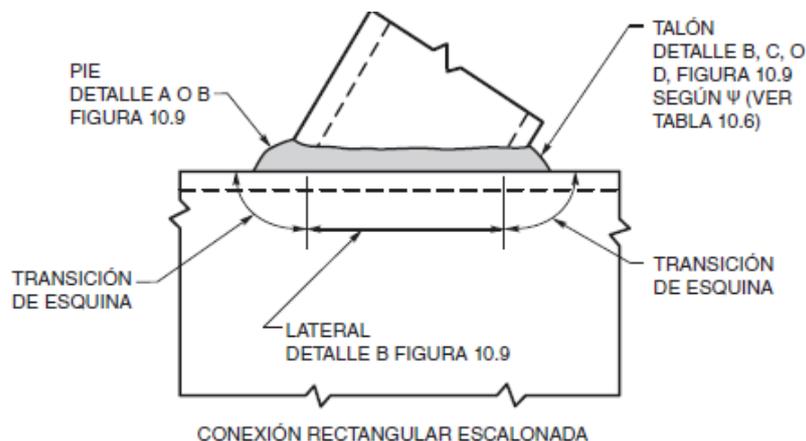
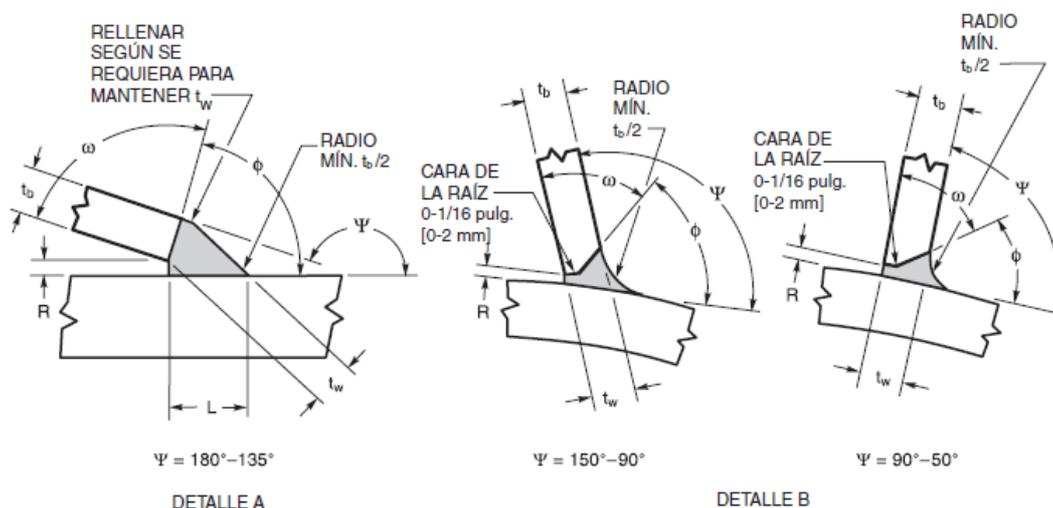


Figura 10.7—Detalles de la junta precalificada para conexiones tubulares en T, Y, y K con CJP (ver 10.10.2)

Figura 4.12 Detalle de junta precalificada para estructura tubular.
Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, figura 10.7



Notas:

1. Ilustra perfiles de soldadura mejorados para 10.2.3.6(1) tal como se soldaron y para 10.2.3.6(2) completamente esmerilados.
2. Para secciones pesadas o aplicaciones críticas de fatiga como se indicó en 10.2.3.7.
3. Ver Tabla 10.7 para dimensiones t_b , L , R , W , ω , ϕ .

Figura 10.11—Detalles de la junta precalificada para soldadura en ranura con CJP en conexiones tubulares en T-, Y- y K—Perfil cóncavo mejorado para secciones pesadas o fatiga (ver 10.10.2)

Figura 4.13 Configuración geométrica de junta tubular con perfil cóncavo mejorado para fatiga. La configuración del Detalle B será usado para la conexión Columna-Placa base de la estructura principal.
Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, figura 10.11

De la misma figura 4.13, se debe notar que el perfil del filete de refuerzo del cordón es cóncavo, como condición para mejorar la resistencia a la fatiga. En los planos de taller se deberá incluir esta indicación y verificar con VT.

Tabla 10.7
Dimensiones de juntas y ángulos en ranura precalificados para soldaduras en ranura con CJP en conexiones tubulares en T-, Y- y K- hechas con SMAW, GMAW-S y FCAW (ver 10.10.2)

	Detalle A $\Psi = 180^\circ - 135^\circ$		Detalle B $\Psi = 150^\circ - 50^\circ$		Detalle C $\Psi = 75^\circ - 30^\circ$ ^a	Detalle D $\Psi = 40^\circ - 15^\circ$ ^a								
Preparación de extremo ω)			90° ^b		(Nota al pie b)									
			10° o 45° para $\Psi > 105^\circ$		10°									
Acoplamiento o abertura de la raíz (R)	FCAW-S SMAW ^c	GMAW-S FCAW-G ^d	FCAW-S SMAW ^c	GMAW-S FCAW-G ^d	(Nota al pie e) W máx. ϕ									
	máx. 3/16 pulg. [5 mm]	3/16 pulg. [5 mm]	1/4 pulg. [6 mm]	1/4 pulg. [6 mm] para $\phi > 45^\circ$	FCAW-S SMAW (1)	<table border="0"> <tr><td>1/8 pulg. [3 mm]</td><td>25°-40°</td></tr> <tr><td>3/16 pulg. [5 mm]</td><td>15°-25°</td></tr> </table>	1/8 pulg. [3 mm]	25°-40°	3/16 pulg. [5 mm]	15°-25°				
1/8 pulg. [3 mm]	25°-40°													
3/16 pulg. [5 mm]	15°-25°													
mín.	1/16 pulg. [2 mm] Sin mín. para $\phi > 90^\circ$	1/16 pulg. [2 mm] Sin mín. para $\phi > 120^\circ$	1/16 pulg. [2 mm]	1/16 pulg. [2 mm]	GMAW-S FCAW-G (2)	<table border="0"> <tr><td>1/8 pulg. [3 mm]</td><td>30°-40°</td></tr> <tr><td>1/4 pulg. [6 mm]</td><td>25°-30°</td></tr> <tr><td>3/8 pulg. [10 mm]</td><td>20°-25°</td></tr> <tr><td>1/2 pulg. [12 mm]</td><td>15°-20°</td></tr> </table>	1/8 pulg. [3 mm]	30°-40°	1/4 pulg. [6 mm]	25°-30°	3/8 pulg. [10 mm]	20°-25°	1/2 pulg. [12 mm]	15°-20°
1/8 pulg. [3 mm]	30°-40°													
1/4 pulg. [6 mm]	25°-30°													
3/8 pulg. [10 mm]	20°-25°													
1/2 pulg. [12 mm]	15°-20°													
Ángulo de ranura ϕ en la junta	90°		60° para $\Psi \leq 105^\circ$		40°; si es más, use el Detalle B									
máx.	45°		37-1/2°; si es menos, use el Detalle C		1/2 Ψ									
Soldadura Completada	$\geq t_b$		$\geq t_b$ para $\Psi > 90^\circ$ $\geq t_b / \sin \Psi$ para $\Psi < 90^\circ$		$\geq t_b / \sin \Psi$ pero no debe exceder 1.75 t_b	$\geq 2t_b$								
	t_w	$\geq t_b / \sin \Psi$ pero no debe exceder 1.75 t_b			La soldadura puede ser recubierta para alcanzar esto									

^a No precalificado para ángulos en ranura (ϕ) menores de 30°.

^b De otra manera como sea necesario para obtener el ϕ requerido.

^c Estos detalles raíz se aplican a SMAW y FCAW-S.

^d Estos detalles raíz se aplican a GMAW-S y FCAW-G.

^e Las pasadas iniciales de la soldadura de respaldo descontadas hasta el ancho de la ranura (W) son suficientes para asegurar una soldadura sólida.

Notas:

1. Para GMAW-S ver 10.14.4.3. Estos detalles no son destinados a GMAW (transferencia por rociado).

2. Consulte la Figura 10.9 para ver el perfil mínimo estándar (espesor limitado).

3. Consulte la Figura 10.10 para ver el perfil pie-filete alternativo.

4. Consulte la Figura 10.11 para ver el perfil mejorado (ver 10.2.3.6 y 10.2.3.7).

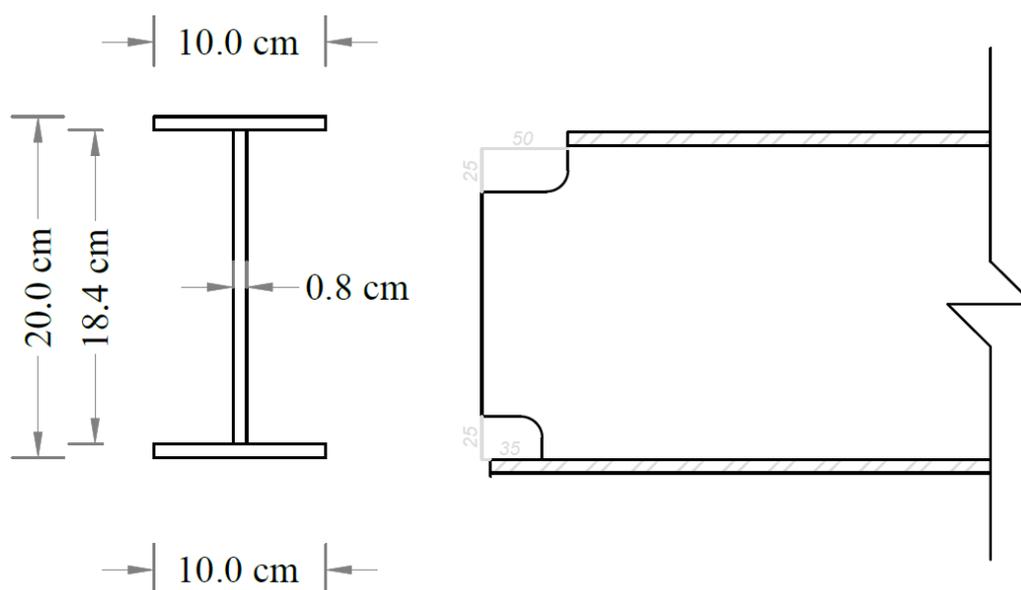
Figura 4.14 Dimensiones para la preparación de la junta de la conexión Columna-Placa base
Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, Clausula 10, tabla 10.7.

4.2.4 CONEXIÓN VIGA TIPO I HACIA COLUMNA

Esta viga tipo I, se ubica en la estructura de la terraza, su función va a ser soportar componentes del ascensor como pueden ser los motores o gobernadores, van conectadas directamente a las columnas de los ejes X1 y X3 (figura 4.25), es decir únicamente existen dos vigas de este tipo.

No existen indicaciones de soldadura para la conexión Viga-Columna en los planos y tampoco existen planos para una junta precalificada. Por parte ingeniero estructural, la instrucción ha sido que será una conexión a corte, es decir que solamente el alma irá unida a la columna y se hará directamente.

Para diseñar la junta, se propone una junta de filete soldada por toda la altura disponible del alma a un solo lado, que luego del corte de los patines queda en 150mm, esto se muestra en la figura 4.15 tomado de los planos estructurales.



Detalle de Viga I - Tipo 1

Figura 4.15 Dimensiones de viga tipo 1, se ubica en los ejes X1 y X3 entre las dos columnas principales adyacentes en este eje de la estructura del ascensor (ver figura 4.2).

Fuente: estudio estructural

Para dimensionar el espesor del filete a cortante, se calculan en base al capítulo 14 del libro de (McCormac, 2000) , sección 14.16 soldaduras a Cortante y Flexión del mismo libro, en el cual determinan los esfuerzos que actúan en el cordón por la excentricidad de la carga ubicada en mitad de la viga como una carga puntual, con la resultante del cortante y momento calculados, se determina la garganta del filete. En caso de no lograr la resistencia requerida con los 150mm de longitud con el filete de un solo lado, se deberá recurrir a una CJP para conseguir la resistencia.

En la tabla 4.4 se presenta el resumen de los cálculos, la carga total en este punto es de 1,58[Tm] como se detalla en la tabla 4.4 del presente documento para la verificación de las cargas y resistencia de la estructura. El área inicial de soldadura se calcula con un filete de 1mm y finalmente se corrige calculando el filete que deberá ser efectuado.

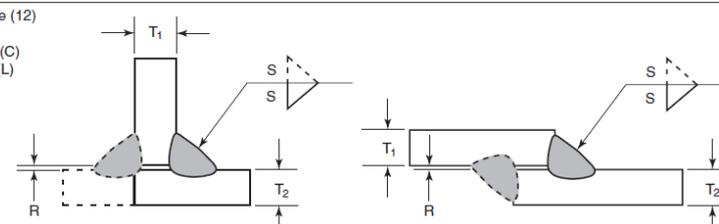
Resistencia del electrodo	F_{EXX} : 70 ksi
	482.08 [N/mm]
Carga última	P_U : 1.58[Tm] / 2 = 7742[N]
Área de soldadura	A_s : 150 [mm ²]
Longitud del cordón vertical	L : 150[mm]
Excentricidad hacia la carga	E : 500[mm]
Distancia desde el centroide al extremo del cordón	C : 75[mm]
Cantidad de cordones del alma (1: un solo lado, 2: ambos lados)	n : 1
Cortante (en el cordón)	f_v 51.61 [N/mm]
Momento flexionante (en el cordón)	f_b 1032.27 [N/mm]
Esfuerzo resultante	f_r 1033.56 [N/mm]
Garganta del filete	g 6.7[mm]

Tabla 4.4 Resumen de cálculos para dimensionar el filete, la longitud del cordón es de 150mm.

Fuente: Elaboración propia

La soldadura precalificada de filete seleccionada es la TC-F12, mostrado en la figura 4.16, tomado de las juntas precalificadas de la tabla 5.1 de la AWS de referencia. La determinación final del proceso se hará en base a los términos contractuales y la disponibilidad de los soldadores contratados.

Soldadura en filete (12)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)
 Junta traslapada (L)



Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base T_1 o T_2	Diseño/Geometría de la junta			Posiciones de soldadura permitidas	Notas
			Abertura de la raíz	Tolerancias			
				Según detalle	Según acoplamiento		
SMAW	TC-F12	< 75	$R = 0$	+2, -0	5 máx.	Todo	a, b, d
	TC-F12a	≥ 75			8 máx.		a, b, d
	L-F12	< 75			5 máx.		a, b, c
	L-F12a	≥ 75			8 máx.		a, b, c
GMAW FCAW	TC-F12-GF	< 75	$R = 0$	+2, -0	5 máx.	Todo	a, b, d
	TC-F12a-GF	≥ 75			8 máx.		a, b, d
	L-F12-GF	< 75			5 máx.		a, b, c
	L-F12a-GF	≥ 75			8 máx.		a, b, c
SAW	TC-F12-S	< 75	$R = 0$	+2, -0	5 máx.	F, H	a, b, d
	TC-F12a-S	≥ 75			8 máx.		a, b, d
	L-F12-S	< 75			5 máx.		a, b, c
	L-F12a-S	≥ 75			8 máx.		a, b, c

Notas para la Figura 5.3

^a Tamaño de la soldadura en filete ("S"). Ver en 4.4.2.8 y la Sección 7.13 los tamaños mínimos de soldadura en filete. Ver Tabla 5.1 para el tamaño máximo de pasada única.

^b Ver 7.21.1 para conocer las excepciones o requisitos del montaje de la soldadura en filete adicional.

^c Ver 4.4.2.9 para conocer el tamaño máximo de la soldadura en juntas traslapadas.

^d La perpendicularidad de los miembros debe ubicarse dentro de $\pm 10^\circ$.

Figura 5.3 (Continuación)—Detalles de la junta soldada en filete precalificada (Dimensiones en milímetros) (Ver 5.4.3)

Figura 4.16 Junta de filete precalificada para conexión Viga-Columna de la viga tipo 1 hacia las columnas principales de los ejes X1 y X3.

Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020

4.2.5 DEFINICIÓN DEL PROCESO Y VARIABLES DE SOLDADURA

El diseño de la junta ha sido definido considerando los criterios de ingeniería y estructurales, los cuales son: Estructura tubular sometida a carga cíclica. Ha sido posible obtener todos los diseños para juntas mostradas de las figuras 5.1 y 10.11 por el código AWS de referencia, siendo esta una de las condiciones para desarrollar los Procedimientos Precalificados. Adicionalmente se calculó el tango de tensiones y garantizar que las juntas van a soportar las condiciones de carga de la estructura.

Continuando con el desarrollo del WPS, se definirán las variables esenciales que deben constar y serán verificadas durante la etapa de soldadura. Las variables esenciales para WPS precalificados y están indicadas en la tabla 5.2 de la AWS de referencia, mostrado en la figura 4.17 de este documento. A continuación, se definirá cada una de las variables, teniendo en cuenta que las juntas tienen variables en común, y se indicará cuando sean distintas. Todo este conjunto posteriormente será incorporado dentro del formato propuesto por la AWS de referencia para cada una de las juntas como manda este código.

Tabla 5.2
Variables esenciales para WPS precalificadas (ver 5.2.1)

Variables que deben incluirse en una WPS precalificada	
(1) Proceso(s) de soldadura ^a	(12) Modo de transferencia (GMAW)
(2) Posición(es) de soldadura	(13) Tipo de corriente (CA o CC)
(3) Número(s) de grupo de metal base (ver Tabla 5.3)	(14) Polaridad de la corriente (CA, DCEN, DCEP)
(4) Categoría(s) de precalentamiento de metal base (ver Tabla 5.4)	(15) Velocidad de alimentación del alambre (SAW, FCAW, GMAW)
(5) Clasificación de metal de aporte (SMAW, GMAW, FCAW)	(16) Velocidad de desplazamiento
(6) Clasificación de metal de aporte/fundente (SAW)	(17) Composición nominal de gas de protección (FCAW-G, GMAW)
(7) Diámetro nominal del electrodo	(18) Caudal de gas de protección (FCAW-G, GMAW)
(8) Cantidad de Electrodos (SAW)	(19) Tipo de soldadura (filete, CJP, PJP, tapón, ranura)
(9) Espaciamiento y orientación de electrodos (SAW)	(20) Detalles de soldadura en ranura
(10) Amperaje (SAW, FCAW, GMAW)	(21) Tratamiento térmico posterior a la soldadura
(11) Voltaje (SAW, FCAW, GMAW)	
Tolerancias variables para WPS precalificadas	
Variable	Tolerancia admisible
(22) Amperaje (SAW, FCAW, GMAW)	+ o - 10 %
(23) Voltaje (SAW, FCAW, GMAW)	+ o - 15 %
(24) Velocidad de alimentación del alambre (si no se controla el amperaje) (SAW, FCAW, GMAW)	+ o - 10 %
(25) Velocidad de desplazamiento (SAW, FCAW, GMAW)	+ o - 25 %
(26) Caudal de gas de protección (FCAW-G, GMAW)	> 50 %, si aumenta o > 25 %, si disminuye
(27) Cambio en la separación longitudinal de arcos (SAW)	1/8 pulg.
(28) Espaciamiento lateral de arcos (SAW)	1/8 pulg.
(29) La orientación angular de electrodos paralelos (SAW)	+ o - 10 %
(30) El ángulo paralelo a la dirección del desplazamiento del electrodo para (SAW) mecanizada o automática	+ o - 10 %
(31) El ángulo del electrodo normal a la dirección de desplazamiento para mecanizado o automático (SAW)	+ o - 10 %

^a Se debe exigir una WPS independiente cuando se cambia esta variable.

Figura 4.17 Variables esenciales para WPSs precalificadas

Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2020, tabla 5.2

(1) Proceso de soldadura: Para todos los trabajos de soldadura, el proceso a ser usado en **FCAW**, con las siguientes justificaciones:

a) El estudio estructural en las juntas que ha presentado y en proyectos estructurales anteriores de la misma obra, los ha estado efectuando son FCAW. Se mantiene este proceso por los volúmenes de producción y las longitudes de los perfiles a ser soldados.

b) En campo se dispone de una cuadrilla de soldadores calificados para FCAW en posición 3G y 3F, si se cambia el proceso, toda la cuadrilla deberá ser reemplazada por soldadores calificados para el proceso definido.

(2) Posición de Soldadura:

Junta	Posición
Columna-Columna	2G
Fabricación HSS	1G
Columna-Placa base	2F
Viga - Columna	3F

Tabla 4.5 Posiciones de soldadura de acuerdo a la junta
Fuente: Elaboración propia

(3) Número de grupo de material base: Acero A36, Grupo I

(4) Categoría de precalentamiento de metal base: mínima 0°C.

(5) Clasificación del metal de aporte: partiendo del estudio estructural, el electrodo ya se encuentra definido como: E71T-1C, el mismo que está listado dentro del grupo de los materiales de aporte de la tabla 5.4 de la AWS referida, y además se puede usar para todas las posiciones.

(6) No aplica para FCAW

(7) Diámetro nominal del electrodo: 1.2mm

(8) No aplica para FCAW

(9) No aplica para FCAW

(10-11-15-16) Amperaje, Voltaje, Velocidad Alimentación del alambre (V.A.) y Velocidad de desplazamiento (V.D.): tomados del catálogo de un fabricante, cuya marca es comercialmente distribuido

Junta	Posc.	Raíz				Para los demás			
		Volt.	Amp.	V.A.	V.D.	Volt.	Amp.	V.A.	V.D.
Columna-Columna	2G	23-28	170-200	C.A.	C.R.	25-30	185-220	C.A.	C.R.
Fabricación HSS	1G	24-26	220-250	C.A.	C.R.	27-32	250-290	C.A.	C.R.
Columna-Placa base	2F	23-28	170-200	C.A.	C.R.	25-30	185-220	C.A.	C.R.
Viga - Columna	3F ↑	18-23	120-140	C.A.	C.R.	20-25	135-160	C.A.	C.R.

Tabla 4.6 Posiciones de soldadura de acuerdo a la junta.
C.A. Controlado por amperaje; C.R. Como se requiera
Fuente: Elaboración propia

(12) No aplica para FCAW

(13) Tipo de corriente: CC

(14) Polaridad de la corriente: Electrodo al positivo. DCEP

(17) Composición del gas de protección: 100% CO₂

(18) Caudal de protección: 12-20L/min

(19) Tipo de soldadura:

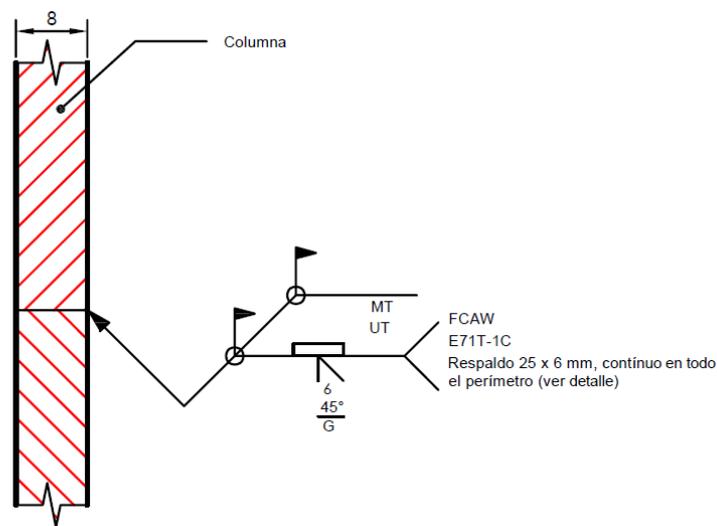
Junta	Tipo
Columna-Columna	CJP
Fabricación HSS	CJP
Columna-Placa base	CJP
Viga - Columna	Filete

Tabla 4.7 Tipos de junta

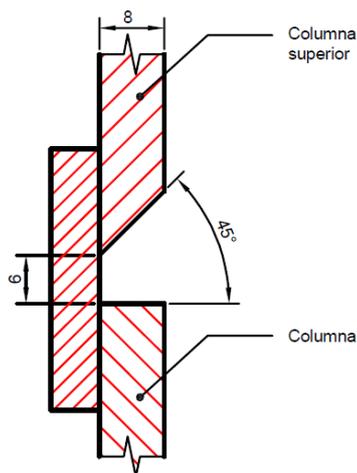
Fuente: Elaboración propia

(21) Tratamiento térmico post soldadura (PWHT): No aplica

(20) Detalles de soldadura en ranura: figuras 4.27, 4.28 y 4.29



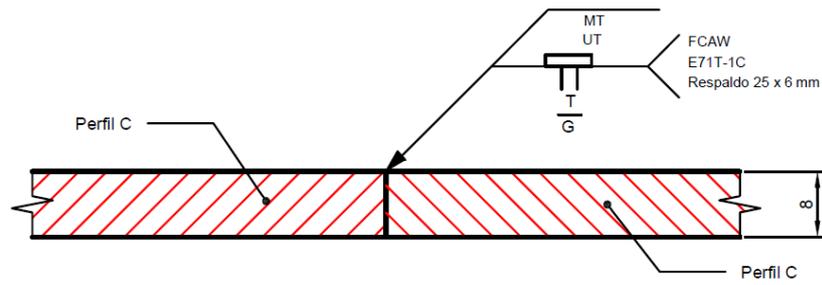
a) Representación simbólica



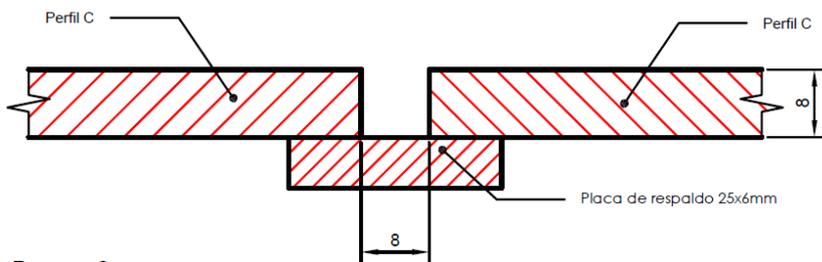
b) Detalle constructivo

Figura 4.18 Junta Columna-Columna

Fuente: Elaboración propia



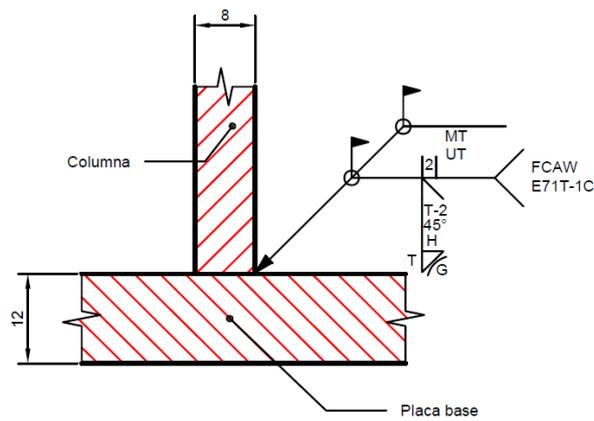
a) Representación simbólica



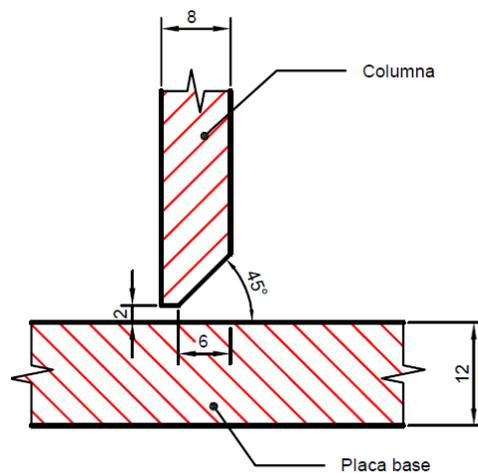
b) Detalle constructivo

Figura 4.19 Junta de fabricación de columnas HSS

Fuente: Elaboración propia



a) Representación simbólica

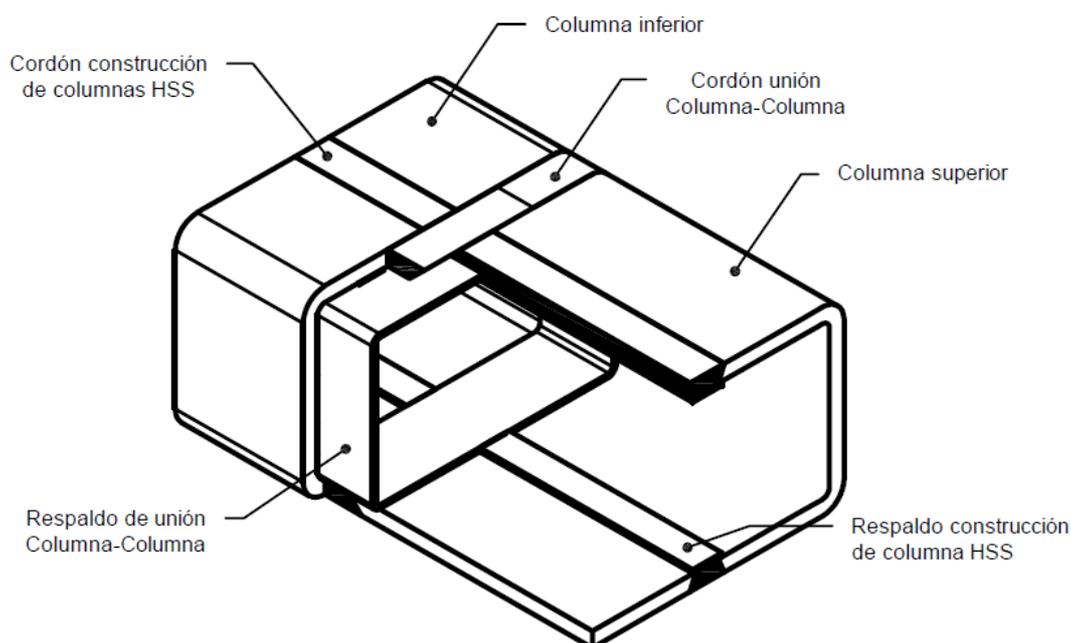


b) Detalle constructivo

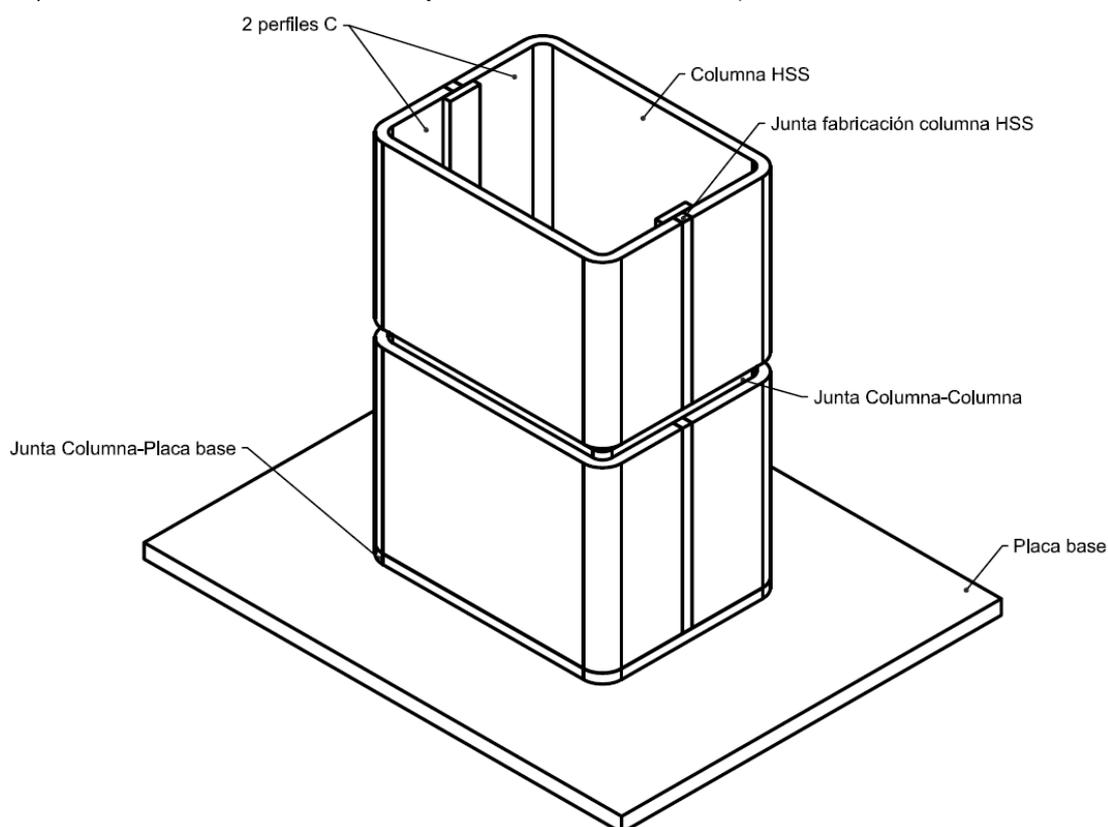
Figura 4.20 Junta Columna-Placa base

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.21 y 4.22, se muestra el detalle de montaje de la unión Columna-Columna y e fabricación de las columnas. Y en la figura 4.23 las tres juntas detalladas con la simbología bajo norma.

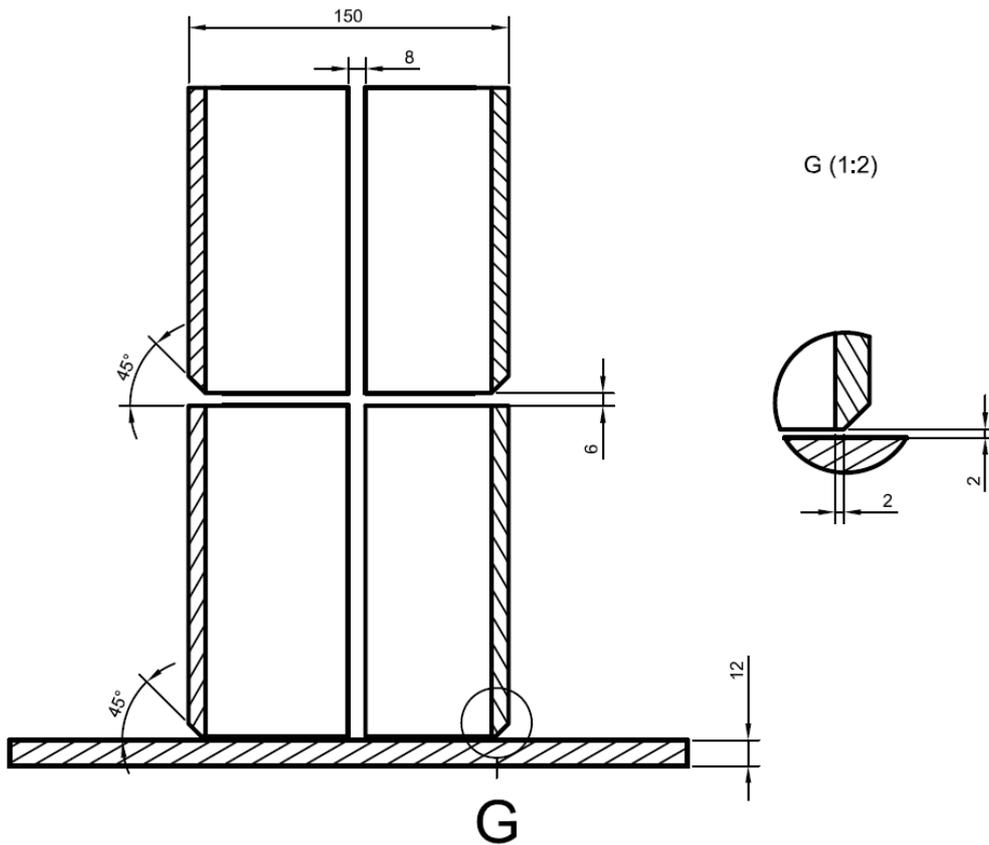


a) Vista isométrica seccionada de juntas Columna-Columna y fabricación de columnas HSS

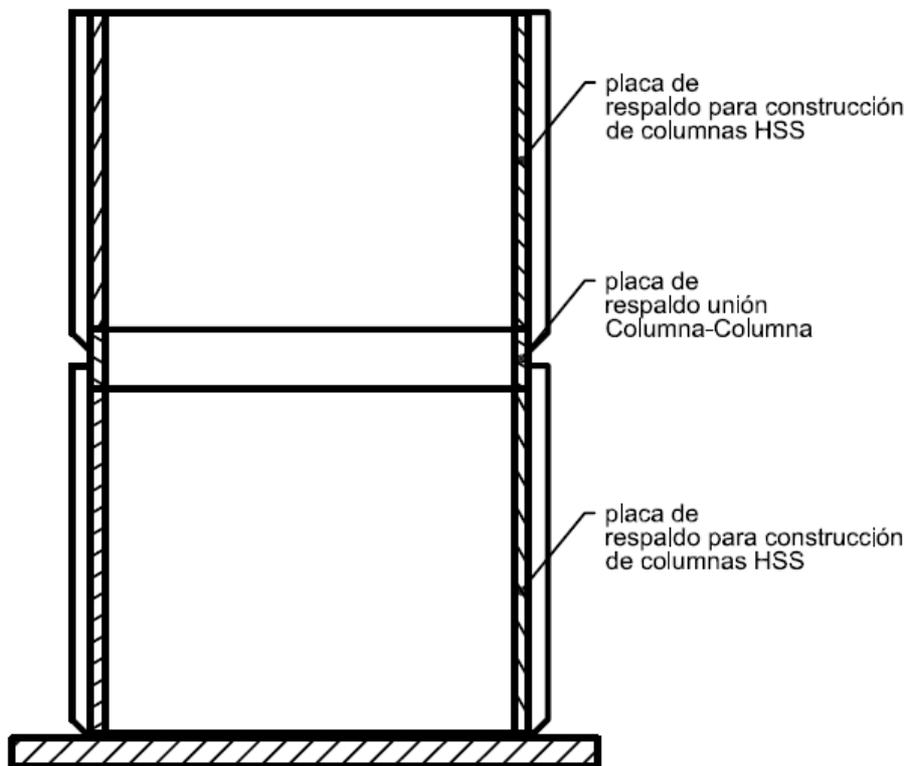


b) Armado y montaje de columna principal de la estructura.

Figura 4.21 Armado de Columnas y sus conexiones
Fuente: Elaboración propia



a) Armado de columna, sin respaldos (unidades en mm)



b) Ubicación de los respaldos

Figura 4.22. Detalle constructivo de la junta y ubicación de las placas de respaldo

Fuente: Elaboración propia

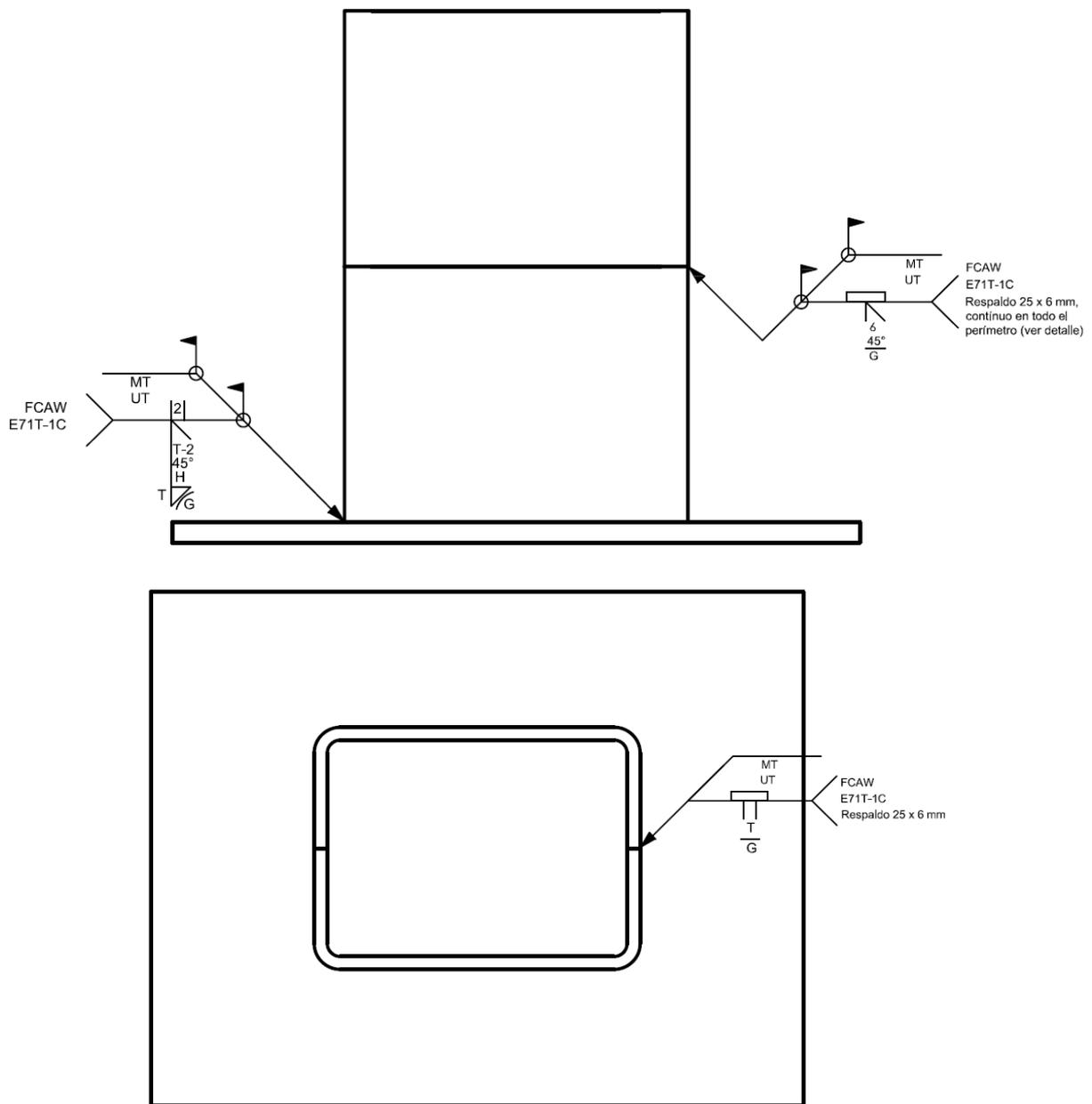


Figura 4.23 Armado de columnas representado con la simbología normalizada
Fuente: Elaboración propia

4.3 INFORME DE RESULTADOS DE LAS INSPECCIONES

Como entregable final, se elabora el informe en el cual se van verificando todos ítems y su Cumplimiento o su No Conformidad, y en caso de este presentarse este último, cuál ha sido la remediación que se ha tomado y mantener la confiabilidad de los trabajos efectuados.

4.3.1.1 RESULTADOS PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA INSPECCIONES REALIZADAS EN CONJUNTO CON LA AUTORIDAD CONTROLADORA O FISCALIZACIÓN (ÍTEM 1)

4.3.1.2 ETAPA PREVIA A FABRICACIÓN

a. Revisión y aprobación de estudios estructurales

La revisión es un paso en el cual se espera que los resultados presentados en el estudio sean replicados en una verificación, su ejecución no debe tomar tiempo prolongado, pues solamente se redibujaría el modelo y aplicar las cargas bajo las cuales la estructura va a trabajar.

Normalmente este paso se consideraría una redundancia, por otro lado, si existen dudas del diseño es conveniente tomar este paso y realizar las correcciones que se consideren técnicamente apropiadas por estar aun ha tiempo, y no se ha adquirido material y tampoco se ha iniciado ninguna obra.

Sin omitir ningún paso del plan QA/QC planteado, se inicia con la verificación completa del diseño estructural, el cual se detalla cada uno de los pasos a continuación:

- **Verificación de cargas para condiciones de carga cíclica**

Todo el estudio estructural, debe haber tomado las cargas tanto verticales como las cargas horizontales que actúan por acción de los momentos ejercidos en la cabina por las distintas posiciones de sus ocupantes como se vio en la sección 3.1.1.2. Estas cargas son indicadas por el fabricante del ascensor, las cuales son entregadas junto con toda la documentación técnica y contractual.

De acuerdo a la tipología del elevador definido en la ASME A17.1/CSA B44-13 (sección 3.1), el ascensor será clasificado como:

Clase	A
Capacidad de carga	1000
Impulsión	Motor eléctrico
Plantas	5 plantas
	- 1 subsuelo
	- 1 planta baja
	- 3 plantas altas

Tabla 4.7 Tipología y prestaciones del ascensor
Fuente: Elaboración propia

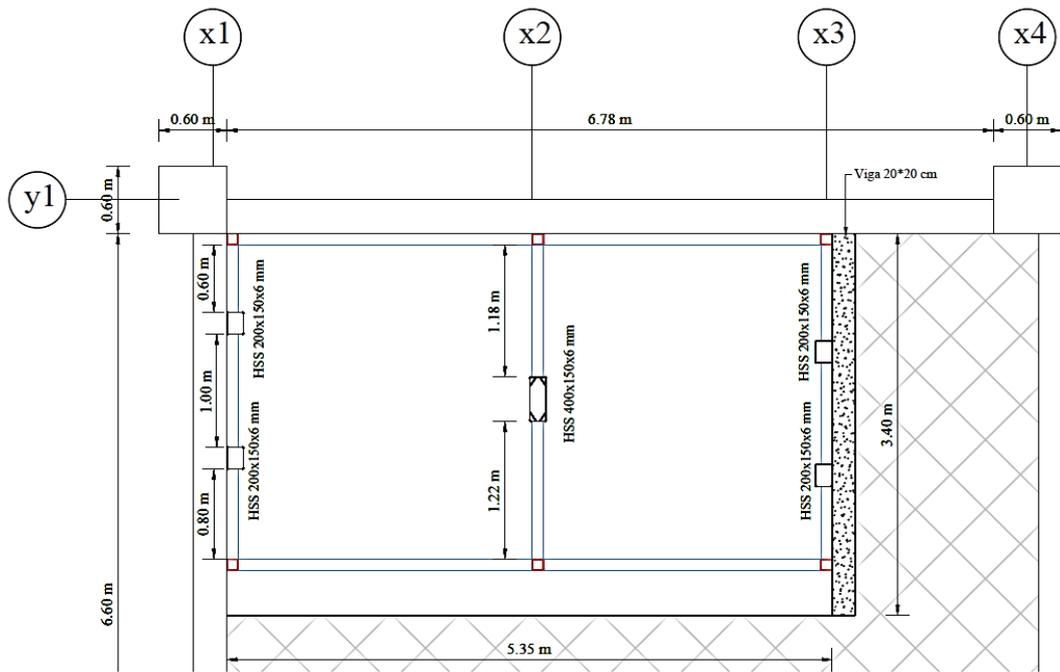
En la figura 4.24 se muestra un plano con las dimensiones de la cabina de un ascensor camillero, y en la tabla 4.8 los valores de las cargas laterales tomados de un fragmento de los planos entregados por el fabricante de los ascensores, en el mismo plano en la tabla del lado derecho presenta las especificaciones, dato relevante es la capacidad de carga que será los 1000kg, para el diseño estructural se tomó el 100% de capacidad como carga viva. Los ascensores montacamillas son del tipo dúplex, es decir que son dos ascensores juntos y que comparten la estructura.

Eje	kN	Ton
FAX	67,6	6,9
FAY	45,8	4,67
FBX	-22,0	-2,24
FBY	151,0	15,41

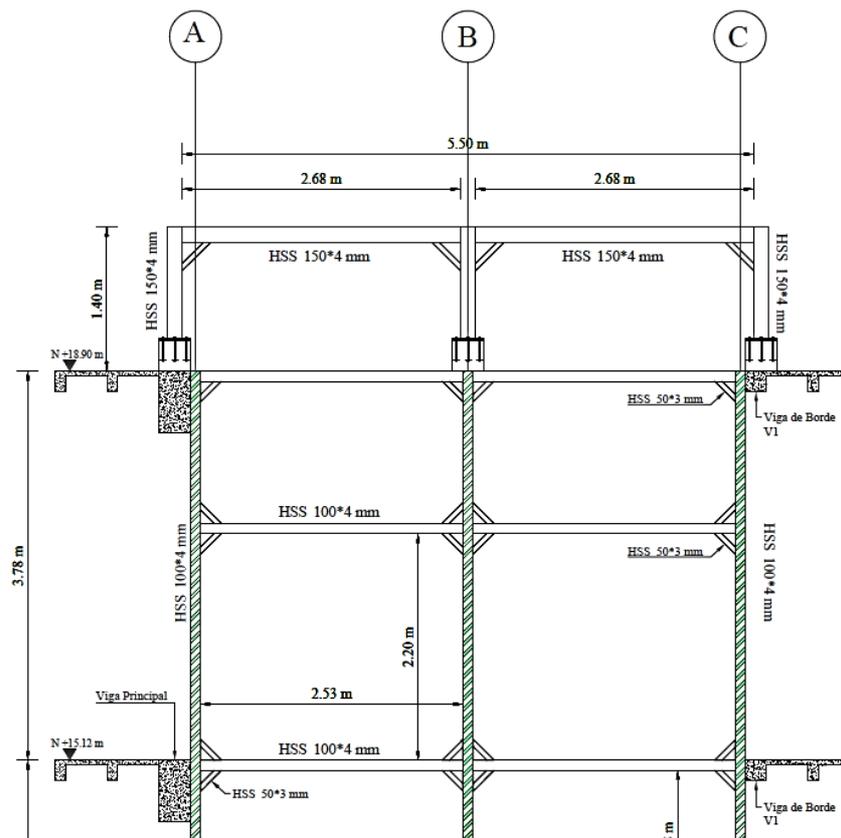
Tabla 4.8 Solicitaciones horizontales
Fuente: Fabricante ascensor

En la figura 4.25, tomado del plano del estudio estructural, en la figura 4.25a) se presenta la vista en planta con los espacios solicitados para cada cabina junto con las columnas principales, y en la figura 4.25b) las secciones de las columnas y viguetas secundarias. Entre todo este ensamble se formará la estructura de soporte y guiado.

En la figura 4.26 se muestran las secciones de las columnas principales. Las viguetas y columnas secundarias son perfiles tubulares de sección cuadrada de 100x100x4mm.



a) Vista en planta de la estructura del ascensor montacamillas tipo dúplex, se indican las columnas principales y espacios libres para cada cabina.



b) Vista en elevación de la última planta accesible (Planta alta 3) detallando columnas secundarias y viguetas de entepiso, y el espacio de alojamiento de los equipos a nivel de la terraza del hospital (N +18.90).

Figura 4.25 Fragmento del plano del estudio estructural que indica la ubicación y denominación de columnas principales, secundarias y las viguetas de entepiso.

Fuente: Estudio estructural del ascensor

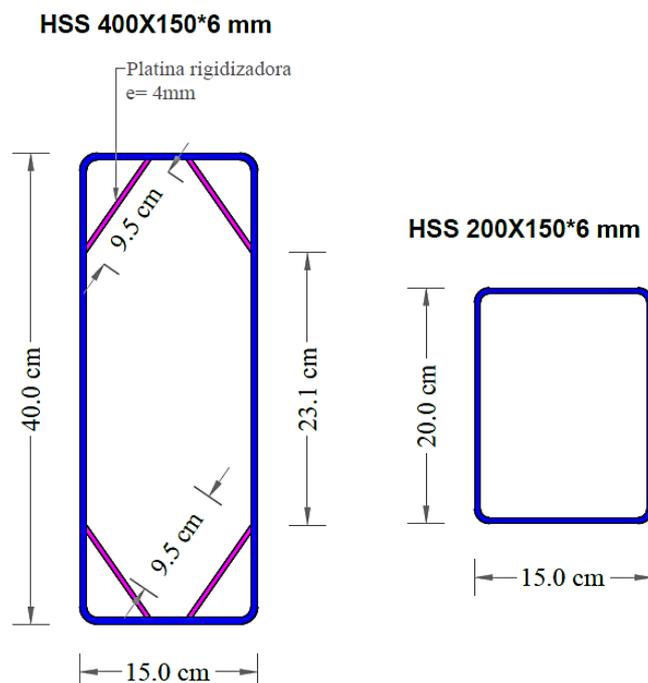


Figura 4.26 Secciones de las columnas principales, la HSS 400x150x6mm es usada en el eje x2, y la sección HSS 200x150x6mm en los ejes x1 y x3.

Fuente: Estudio estructural del ascensor

Con toda esta información, se verificará de forma independiente que se cumpla con el rango de tensiones y se estimará la vida a fatiga de la estructura.

- Verificación preliminar

En la figura 4.27 se presentan las solicitaciones de las columnas principales presentados en el estudio estructural final, las columnas descritas en las 2 últimas filas de la tabla corresponden a los ascensores montacamillas, en base a esto, se solicita al ingeniero estructural que reduzca la solicitación D/C a menos de 0.66, para de esta manera cumplir con lo recomendado por la AISC 360-22 de que el esfuerzo permisible sea del 66% del límite de fluencia. Como resultado, para cumplir lo mencionado se suben los espesores de pared de ambas columnas de 6mm a 8mm.

Con esta modificación se efectúa la verificación independiente para que fiscalización apruebe los planos entregados y se proceda con la fabricación.

Designación	Capacidad		Demanda		D/C
	Mux	Vu	Mux	Vu	
	Tm-m	Tn	Tm-m	Tn	
HSS 200x150x6	4.23	14.19	2.08	6.76	0.30
HSS 150x200x6	3.64	9.86	2.08	4.58	0.38
HSS 400x150x6	11.73	31.50	8.33	30.2	0.73
HSS 150x400x6	5.34	9.86	4.22	2.2	0.67

Figura 4.27 Tabla de resultados de la Demanda/Capacidad (D/C) de las columnas principales. Se solicitó que la D/C de máxima sea de 0.66

Fuente: Estudio estructural del ascensor

- Cálculo y Asignación de Cargas en Modelo Redibujado

Con toda la información presentada en planos y las condiciones de carga solicitados por el fabricante del ascensor, se realiza la verificación para asegurar que la estructura haya sido correctamente diseñada y que fiscalización pueda aprobar el estudio y se proceda con la fabricación de la estructura de soporte y guiado del ascensor.

Al ser el ascensor montacamillas del tipo dúplex, significa que comparte las cabinas comparten la estructura, pero no sus componentes. Es así como cada uno dispone de sus componentes y funcionan de forma independiente. En términos estructurales y como indicación del fabricante, se identifican cuatro componentes y estos tienen sus cargas que incorporan accesorios, bases, cables o cualquier otro elemento que aporte peso al ascensor.

También el fabricante ha solicitado que, en los costados, es decir ejes X1 y X3 se dispongan dos columnas y en la parte superior una viga apoyada entre las dos sobre la cual se montará el gobernador y las guías del contrapeso, y en el eje X2 la columna central sobre la cual se montarán los dos motores.

Para asignar las cargas, se toman los valores totales indicados por el fabricante del ascensor y estos se muestran en la parte izquierda de la tabla 4.10, y los porcentajes de asignación de la carga total en la tabla 4.9.

Componente	Motores	Contrapesos	Gobernadores	Cabinas
Columnas eje X1		50%	50%	25%
Columna eje X2	100%			50%
Columnas eje X3		50%	50%	25%

Tabla 4.9 Asignación de cargas totales en los ejes de la estructura

Fuente: Elaboración propia

La asignación en el software de las cargas verticales muertas y vivas se muestran en las figuras 4.29a y 4.29b respectivamente.

Ascensor Duplex. Cargas Verticales totales de las dos cabinas

Carga de las dos cabinas	kg	Ton		Eje X1	Eje X2	Eje X3	unidades
Motores	500	0,5			500		kg
Contrapesos	1400	1,4		700		700	kg
Gobernadores	250	0,25		125		125	kg
Cabinas	1000	1		250	500	250	kg
Carga Muerta			Total	1075	1000	1075	kg
				1,08	1,00	1,08	Ton
Carga Viva	2000	2	Total	500	1000	500	kg
				0,5	1	0,5	Ton

Tabla 4.10 Asignación de carga muerta y viva en los ejes de la estructura
Fuente: Elaboración propia

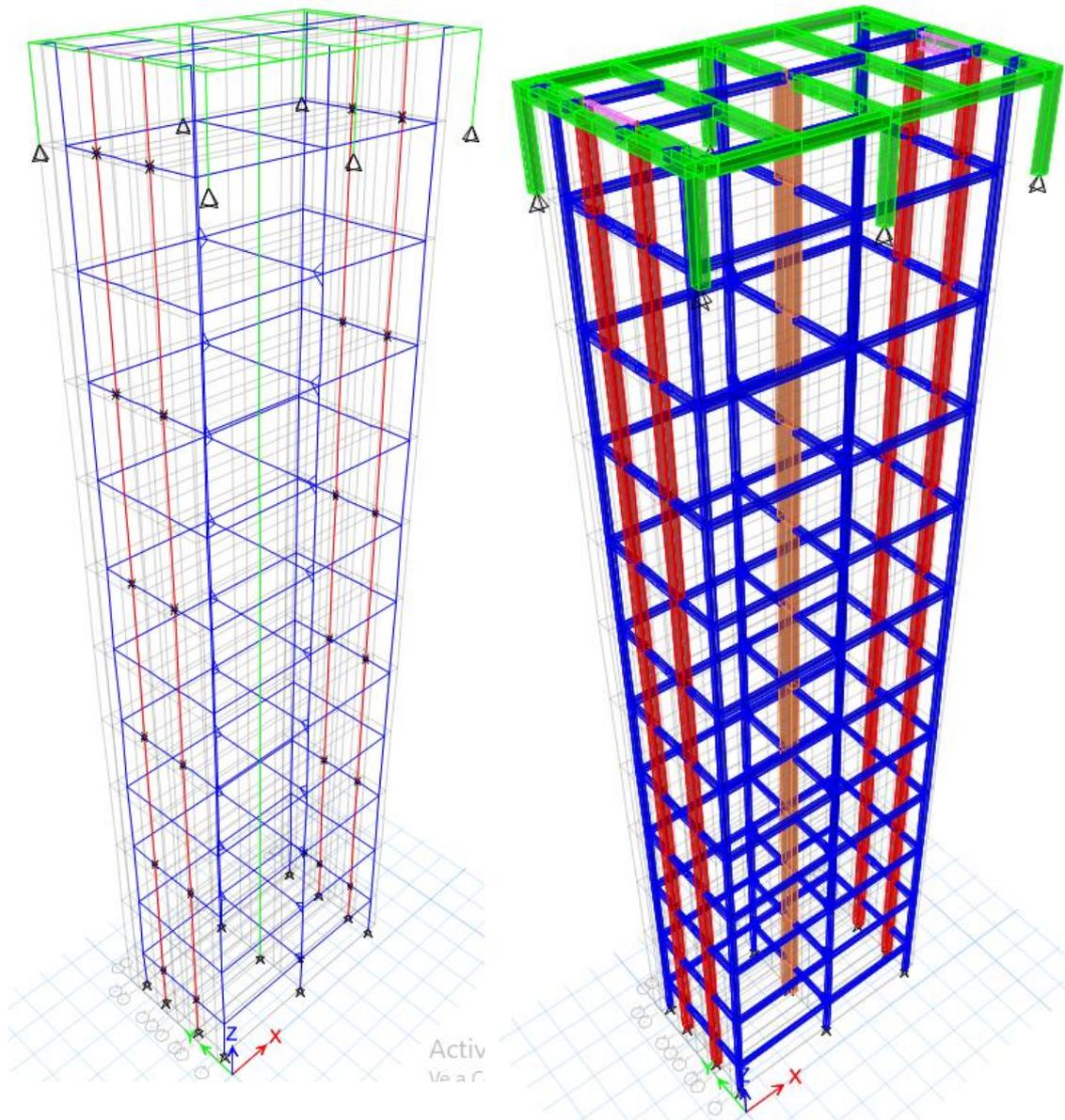
Para asignar las cargas laterales, al tener varias alternativas de ubicación de las cabinas, se toman las condiciones más críticas, resultado ser una cabina en el entrepiso de la segunda y tercera planta alta y la segunda cabina en el entrepiso del sub suelo y planta baja, los cálculos de la distribución de las cargas laterales se muestran en la tabla 4.11 y en el software en la figura 4.29c.

Cargas laterales

Cabina	Cargas laterales	kN	kg	Ton	Apoyos libres de las guías	Distribución	Eje en plano	Entrepiso
1	FAY	67,6	6897,96	6,90	4	1,72	X1	Planta alta 3/ Planta alta 2
	FAX	45,8	4673,47	4,67		1,17	X1	
	FBY	151	15408,16	15,41	2	7,70	X2	
	FBX	-22	-2244,90	-2,24		-1,12	X2	
2	FAY	67,6	6897,96	6,90	4	1,72	X3	Planta baja/ Subsuelo
	FAX	-45,8	-4673,47	-4,67		-1,17	X3	
	FBY	151	15408,16	15,41	2	7,70	X2	
	FBX	22	2244,90	2,24		1,12	X2	

Tabla 4.11 Asignación de carga laterales en los distintos apoyos libres de las guías
Fuente: Elaboración propia

En las figuras 4.28 a y b, se presenta el modelo de la estructura completa, fiel representación de la propuesta final recibida por fiscalización.



a) Modelo de la estructura, redibujada de acuerdo a la propuesta del estudio estructural

b) Presentación del modelo redibujado, con secciones indicadas en el estudio estructural

Figura 4.28 Modelo de la estructura del ascensor redibujado de acuerdo a los planos y especificaciones del estudio estructural

Fuente: Elaboración propia

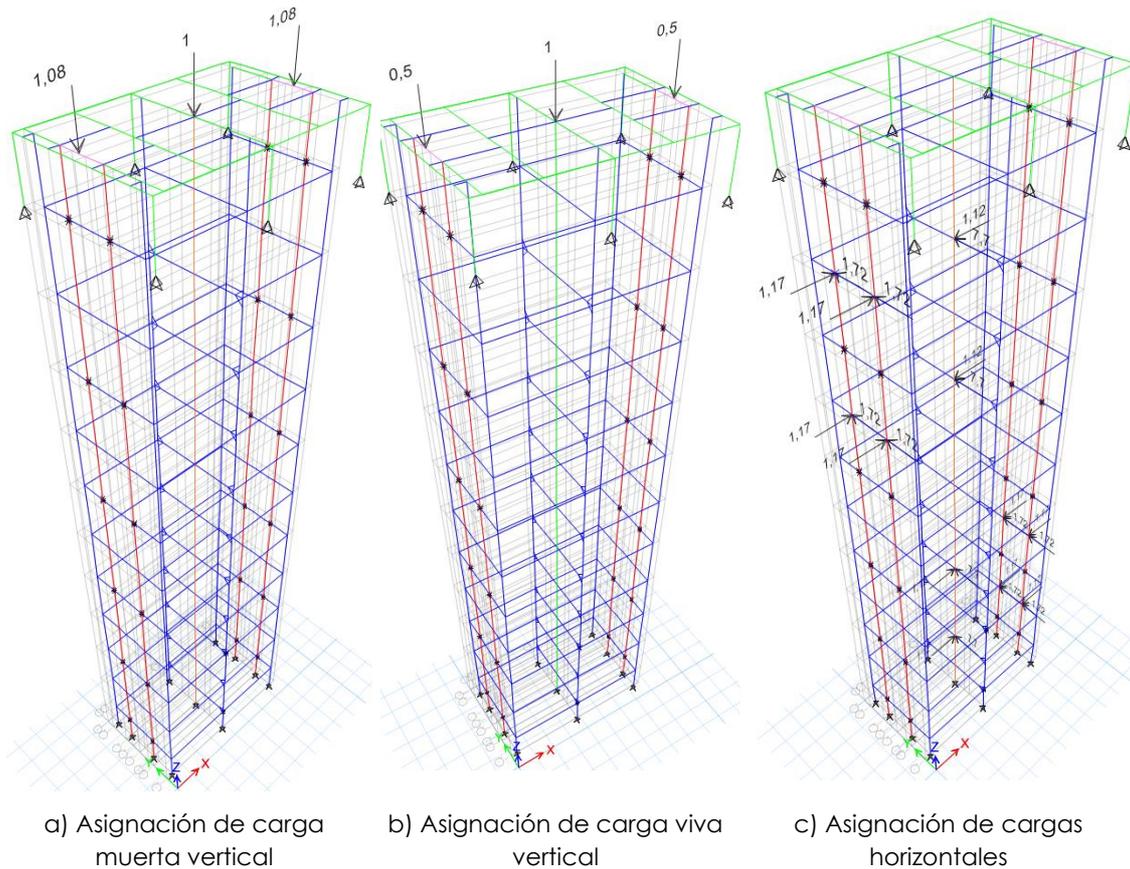


Figura 4.29 Asignación de las cargas verticales y laterales determinadas en las tablas 4.4 y 4.5
Fuente: Elaboración propia

- **Resultados de Demanda/Capacidad (D/C) y estimación de Vida de acuerdo a diseño por fatiga**

Una vez que se ha configurado y cargado la estructura de acuerdo lo definido en la sección anterior, los resultados se muestran en las figuras 4.30 y 4.31.

La D/C en las columnas principales está entre 0.02 y 0.56, siendo la columna central del eje X2 el de mayor demanda. Con este valor se calcula el esfuerzo al que está sometida la columna y será este valor como referencia para determinar el tiempo de vida de la estructura del ascensor si siempre estuviera cargado con el 100% de su capacidad, es decir con 1000kg.

La demanda capacidad se define como la relación entre el esfuerzo real y el esfuerzo permisible, el software toma como esfuerzo permisible el límite de fluencia del material, para este caso es Acero ASTM A36 con un límite de fluencia $F_y = 250\text{MPa}$. Es decir que si la D/C en los resultados fuera de 1.00, el miembro está al 100% de su capacidad y si tiene alguna carga adicional empezará a pasar del rango elástico al rango plástico (también conocido como inelástico) con deformaciones permanentes.

De los resultados en la figura 4.31, la D/C mayor es de 0.56, con esto se puede determinar el esfuerzo al que está sometida la columna. Tomando inicialmente como Esfuerzo permisible el 100% del F_y , despejando el σ_{real} se tiene:

$$D/C = \frac{\sigma_{real}}{F_y}$$

Ec.4.1
Demanda/Capacidad
Fuente: Elaboración propia

$$\begin{aligned}\sigma_{real} &= D/C(F_y) \\ &= 0.56(250MPa)\end{aligned}$$

Ec.4.2 Esfuerzo real de acuerdo a la D/C al que está sometida la columna
Fuente: Elaboración propia

$$\sigma_{real} = \mathbf{140MPa}$$

Como se había descrito en la sección de verificación preliminar, le D/C máxima recomendada por la AISC 360-22 para condiciones de diseño por fatiga de $0.66F_y$, este valor se está cumpliendo y por ahora se continua con la estimación de los rangos de tensión y la vida esperada de la estructura.

De la tabla A-3.1M de la norma referida (figura 3.6), y habiendo ya definido las juntas soldadas que se van a usar, resultando ser la junta crítica la Columna-Columna y, para ello se toma el caso 5.5, la misma que constructivamente deberá ser cumplida, y calculando el rango de tensiones F_{SR} con la ecuación 4.3, se tienen los resultados en la tabla 4.12.

$$F_{SR} = 6900 \left(\frac{C_f}{n_{SR}} \right)^{0.333} \geq F_{TH}$$

Ec.4.3 Rango de tensiones
Fuente: AISC 360-22, A-3.1M

262800 (2.6E10+5) ciclos (6 ascensos o
n_{SR} = descensos por hora, 24 horas al día, durante 10 años)
Categoría: D (Figura 3.6)
C_f = 2.2 (Figura 3.6)
F_{TH} = 48 MPa (Figura 3.6)
F_{SR} = 140,65 MPa > σ_{real}

Tabla 4.12 Resultados del número de ciclos esperado de acuerdo a la D/C crítica de la columna en el eje X2.
Fuente: Elaboración propia

Es decir que, bajo las condiciones de carga críticas, funcionando las dos cabinas al mismo tiempo en su máxima capacidad, con 6 descensos o ascensos por hora durante las 24 horas al día, se espera una duración de 10 años. Esta es la interpretación de que el valor del rango de tensiones F_{SR} sea mayor al esfuerzo real σ_{real} , es decir que, para conseguir la vida en ciclos calculada se debe estar dentro de ese rango de tensiones calculados, de lo contrario la vida se verá reducida.

Si bien este método es conservador, la vida podría ser mucho más larga, pero se pueden realizar monitoreos periódicos anuales en busca de fisuras en las juntas Columna-Columna con NDT de partículas magnéticas, y en el caso de detectar alguna fisura se pueden proceder a realizar reparaciones simples con soldadura para eliminar la fisura detectada. También se podrían usar miembros más robustos para bajar aún más al D/C para construir la estructura, pero esto incrementaría los costos, y resulta más conveniente disponer de un plan de inspecciones y mantenimiento que confíe en un funcionamiento confiable y al 100% de este bien.

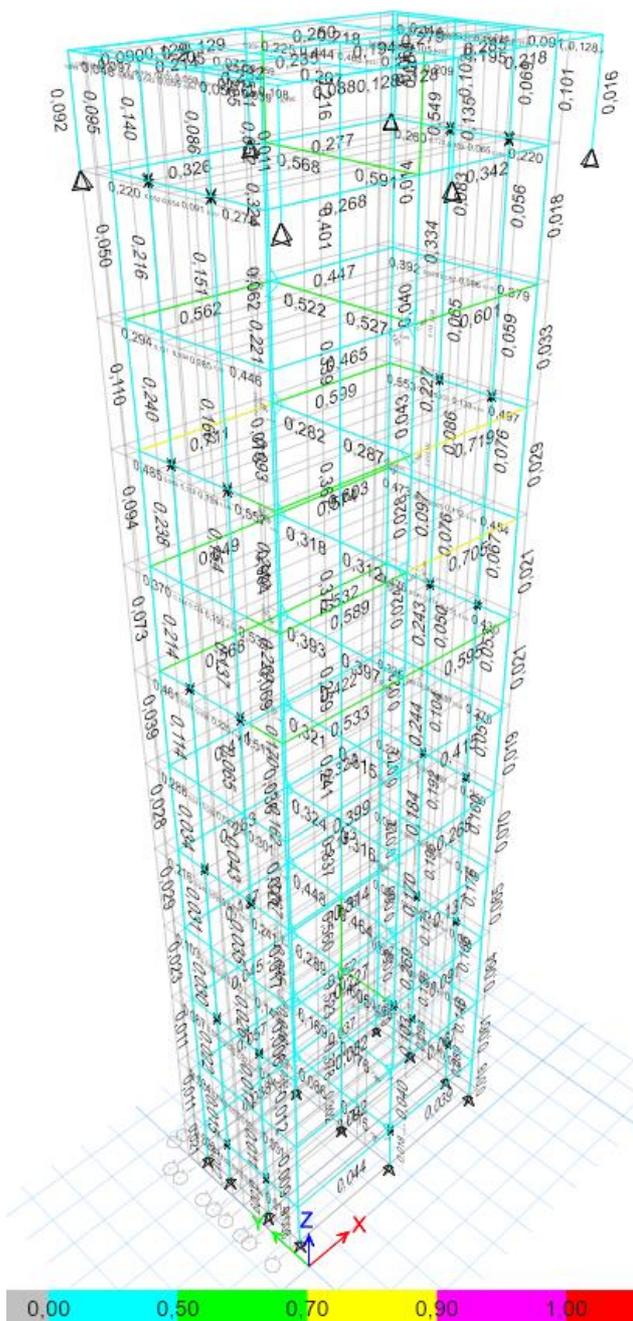


Figura 4.30 Resultados de D/C de la estructura del ascensor

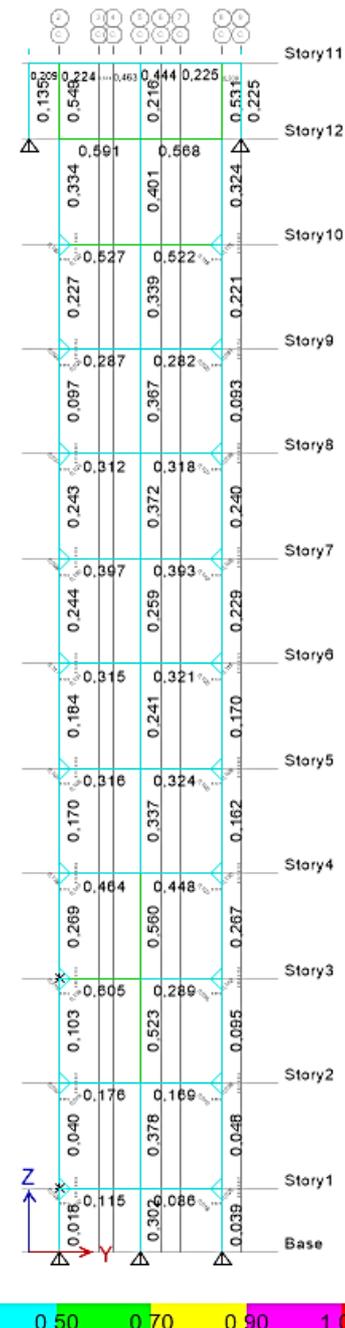


Figura 4.31 Condiciones críticas de D/C en el eje X2 en la columna central.

b. Revisión y aprobación de planos de taller

El fabricante no entrega planos de taller. Solamente existen planos del estudio estructural. Se seguirán los planos de taller generados por la autoridad controladora

c. Revisión y aprobación de planos de montaje

No se reciben planos de montaje por parte del fabricante. Se seguirán los planos de montaje generados por la autoridad controladora

d. Revisión y aprobación de procedimientos de soldadura

No se reciben procedimientos de soldadura por parte del fabricante.

e. Revisión y aprobación de procedimientos de inspección NDT

El fabricante presentó los Procedimientos inspección firmados por un inspector certificado Nivel III (ASNT-TC-1A) los cuales serán efectuados por un tercero que cumple con las certificaciones nivel II de la misma norma. Se solicita al inspector que las inspecciones sean efectuadas bajo el criterio de estructuras tubulares en condiciones de carga cíclica indicados por el código AWS D1.1/D1.1M:2020.

f. Verificación de calificación de personal para la ejecución de la fabricación.

El fabricante entrega calificación de varios soldadores, los cuales tienen su calificación como se enumera: 2 soldadores para GMAW 1G, 4 soldadores para SMAW 1G y 2 soldadores FCAW. De este 1 soldador FCAW 3G y 1 Soldador FCAW 3F. Se rechazan los soldadores GMAW y SMAW y se autoriza a los dos soldadores FCAW para los trabajos de soldadura. Una calificación se encuentra anexa.

g. Obras de readecuación y coordinación con las otras ingenierías

La estructura del ascensor, no fue presentado en los estudios de consultoría al inicio del proyecto, es decir, existían los estudios eléctricos y electrónicos, sistemas mecánicos, civiles, arquitectónicos y otras estructuras, pero la estructura del ascensor no formaba parte de la consultoría inicial, sin embargo, existía como un rubro. Por tal motivo, su diseño de inició conforme la obra avanzaba, teniendo que hacer varias adecuaciones, tanto a la estructura existente del hospital como de ajuste con las otras ingenierías.

Como partida, se debió asegurar que el ducto del ascensor esté libre tanto en sentido vertical como en sus dimensiones de ancho y alto. Sorteando las primeras dificultades al estar dentro de la ruta de los ductos de

acondicionamiento de aire y extracción, y la necesidad de expandir el ducto del ascensor hasta conseguir las dimensiones especificadas por el fabricante del ascensor.

Algunos tramos de las losas de entrepiso debieron ser demolidas, el problema radica en mantener la continuidad del acero de refuerzo y las nervaduras que la sustentan, por lo que inicialmente se planificó reforzar las vigas, columnas y losas de la estructura de la edificación para no comprometer su integridad.

Se debe además recalcar, que la estructura del ascensor funciona de forma independiente de la estructura de la edificación, es decir, que no compartirán cargas verticales, y las cargas laterales de la operación del ascensor tampoco serán transmitidas hacia la edificación.

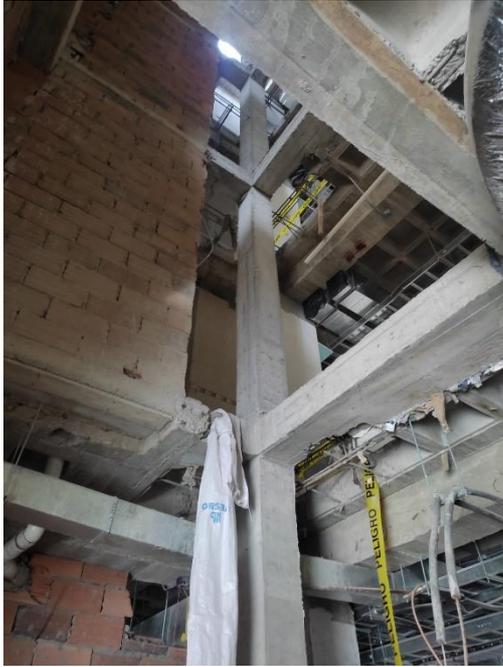
En las siguientes figuras, se resumen algunos trabajos complementarios para la adecuación del espacio, que debieron ser realizados con criterio de ingeniería estructural para no afectar la estructura de la edificación. Todo este reforzamiento se efectuó con hormigón armado para no complicar las uniones o conexiones con un reforzamiento de columnas de acero.



a) Rutas de ductos de ventilación y acondicionamiento de aire que debieron ser movidas ser movidas



b) Tramos de losas de entrepiso en estado de demolición, el acero de los nervios no se ha cortado hasta soportar la losa con una nueva columna



c) Nueva columna levantada desde la cimentación, su función será soportar los volados de losas que debieron ser demolidas



d) Demolición de remates de losas para expandir el ducto del ascensor dúplex.



e) Durante la excavación de la cimentación se encontró material pétreo imposible de sacar en un solo pedazo por el espacio limitado al interior de la edificación.



f) Se usa mortero expansivo para dividir el material en fragmentos y poderlos desalojar.

Figura 4.32 Resumen de obras previas para adecuación del espacio para el ascensor y coordinación con las otras ingenierías.

Fuente: Elaboración propia

Cumplida la etapa previa a la fabricación, en donde se ha revisado, aprobado y documentado toda la información de ingeniería, construcción y procedimientos de soldadura e inspección, teniendo claro cómo se avanzará durante la fabricación de la estructura, pero además se coordinaron y ejecutaron todos los trabajos previos para así no tener contratiempos durante el izaje y cumplir con todas las especificaciones del fabricante, se continúa a la etapa de fabricación.

4.3.1.3 ETAPA DE FABRICACIÓN (RESULTADOS DE APLICACIÓN DE ÍTEM 2 Y 3)

a. Verificación de materiales y condiciones de recepción.



a) Perfiles tubulares de estructura secundaria



b) Verificación de espesores de HSS 100x100x4mm



c) placas base



d) Perfiles C para la fabricación de columnas HSS

Figura 4.33 Recepción de materiales. HSS 100x100x4mm.

Fuente: Elaboración propia

- Grado de oxidación: Grado A, para todos los perfiles HSS, C y platinas.
- Espesores: dentro de la tolerancia para todos los casos
- Cortes: El material tiene cortes con mejor calidad la muestra 4 de la AWS C4.1-77, es decir mejor que el mínimo exigido de la muestra 3.

- Abolladuras: No se detectan
- Ranuras accidentales profundas: No se detectan
- Fisuras: No se detectan
- Delaminación: No se detecta
- Notas adicionales, se contabiliza el total de material estimado para la construcción de la estructura completa

Esta información de recepción de materiales se ha registrado en las fichas que se han elaborado para tal fin, cada miembro estructural tendrá su ficha que formará parte de todos los ítems de verificación.

b. Verificación de consumibles de soldadura

El consumible especificado en los procedimientos: E71T-1C que ha sido presentado por la autoridad controladora, tiene la siguiente identificación comercial:

Marca: Golden Bridge

Identificación: JQ-YJ501-1

Identificación AWS: A5.20 E71T-1C

Diámetro: 1.2mm

Lote: 22100231

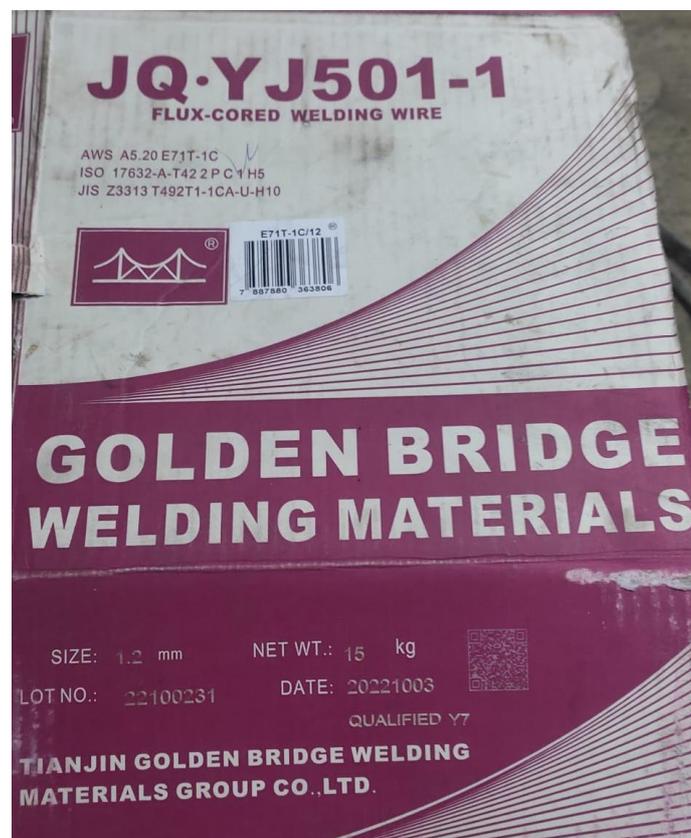


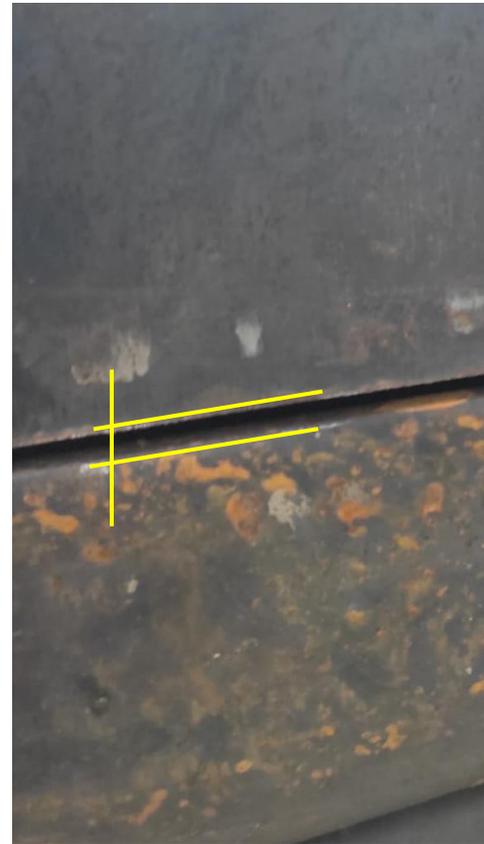
Figura 4.34 Material de aporte verificado de acuerdo al procedimiento
Fuente: Elaboración propia

c. Verificación de preparación de juntas y cortes

Esta verificación es muy relevante para cumplir con el diseño y desempeño esperado de la junta, si alguna dimensión o variable no se cumple, todo el desarrollo del WPS deja de tener su valor y se convierte en una junta soldada común sin precalificación la cual baja su confiabilidad de resistencia.



a) biselado de columna HSS para conexión Columna-Placa base se muestra con la flecha roja. Un bisel sin preparar se muestra con la flecha amarilla



b) Separación entre los perfiles C en la junta para el armado de las columnas HSS.



c) Preparación de la conexión Columna-Columna con la placa de respaldo.



d) Biselado de la conexión Columna-Columna



e) Vista ampliada del respaldo, esta placa debe ser continua sin interrupciones en las esquinas.



f) Existencia del radio en el extremo de la viga a ser conectada con la columna.

Figura 4.35 Verificaciones de la preparación de las juntas de acuerdo al diseño planteado en el WPS.
Fuente: Elaboración propia

d. Verificación de trabajo de soldadura junto con los procedimientos

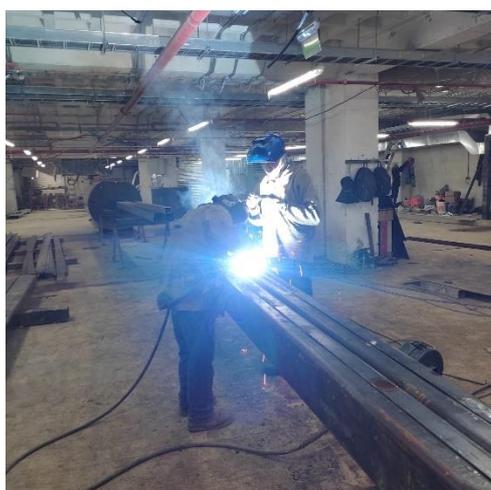
Variables que deben ser verificadas son las variables eléctricas y del flujo del gas de protección. Estos deben estar dentro de los rangos de acuerdo a la junta que se esté efectuando. En las figuras se muestra además la construcción de las cajas que debe ser en posición 1G.



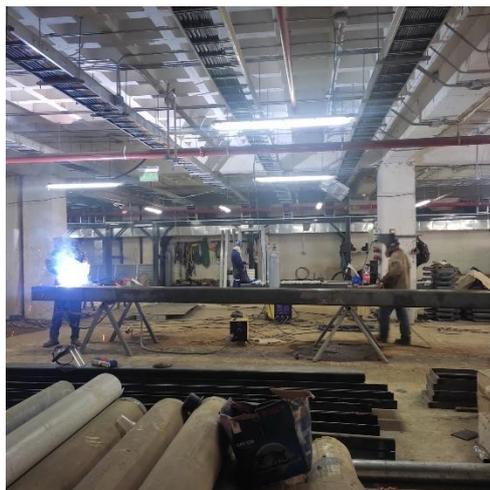
a) Flujo de CO2 dentro del rango. 12-20L/min



b) Verificación de parámetros eléctricos para junta de fabricación de columnas HSS.
Voltaje 24-26. Amperaje: 220-250



c) Armado de columnas HSS en posición 1G



e) Armado de columnas en taller

Figura 4.36 Verificación de ejecución de trabajos y variables de la WPS

Fuente: Elaboración propia

e. Verificación de la ejecución de todas las juntas de acuerdo a los planos

Esta verificación se pone en evidencia con las figuras 4.37, con la preparación de las juntas, cuyo diseño se presenta en la sección 4.2 del presente documento.

f. Inspecciones VT para la liberación de miembros estructurales

Para continuar con la siguiente etapa, todos los miembros estructurales deben haber sido liberados con VT. Tanto la inspección como las reparaciones serán efectuadas en taller por todas las facilidades y comodidad que se dispone



a) Medición de altura máxima de refuerzo. Para este caso el refuerzo es de 0mm



b) Dentro del cordón se marca cómo deben quedar idealmente todos los cordones



c) Se marcan las reparaciones que se deben efectuar



d) Marcado de puntos que deben ser pulidos

Figura 4.37 VT del armado de las columnas para ser liberadas. Las reparaciones que se deben efectuar son solamente de pulido para cumplir con la altura máxima del cordón.

Fuente: Elaboración propia

h. Inspección básica de preparación superficial para aplicación de pintura

Por lo indicado en la sección 3.2.12, existen especificaciones mínimas verificables y deben ser cumplidas por el fabricante de la estructura. El procedimiento de preparación superficial y aplicación del recubrimiento básica está descrito en el ítem 5, para lo cual se muestra su evidencia en la figura 4.39.



a) Superficie con proyecciones de soldadura. Deben ser removidos



b) Superficie con óxido y polvo, debe ser removido



c) Superficie preparada para aplicación de recubrimiento



d) Verificación de condiciones ambientales. El último valor mostrado debe ser >3.0 para la aplicación del recubrimiento



e) aplicación de una primera capa de recubrimiento, con un EPS de 0.5mil, con la capa final debe cumplir 1mil



f) Se recubre el respaldo de la conexión Columna-Columna por las condiciones en las que se va a almacenar. Previo a los trabajos de soldadura el recubrimiento debe ser removido de esta zona.

Figura 4.38 Preparación superficial y aplicación de una primera capa de recubrimiento. Se muestran los controles efectuados de condiciones ambientales y de EPS.

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.4 ETAPA DE MONTAJE (RESULTADOS DE APLICACIÓN DE ÍTEM 4)

- a. Verificación de placas base niveladas, asentadas y en posición de acuerdo a planos, tanto para la cimentación en el subsuelo como en la terraza.



a) Ubicación y nivelado de placa base para columna centra HSS400x150x8 en el subsuelo de la edificación



b) Ubicación y nivelado de placas base de columnas HSS200x150x8 en el eje X1.



c) Dado en nueva cimentación de estructura de hormigón de la edificación.



d) Ubicación y nivelado de la placa de anclaje para estructura que será instalada en la terraza. Se usa grout autonivelante para su instalación y asentamiento uniforme

Figura 4.39 Ubicación de placas de anclaje para estructura principal y auxiliar en la terraza
Fuente: Elaboración propia

b. Izaje y armado de estructura de la terraza, secundaria y principal.

Se planifica iniciar el montaje de la estructura en la terraza, esto con el fin de poder usar esta estructura para elevar todos los miembros estructurales y continuar con el montaje de la estructura secundaria desde el subsuelo hasta llegar a la terraza. Finalmente se monta la estructura principal.



a) Izaje de miembros estructurales a la terraza



b) Armado de la estructura de la terraza, vista desde la planta inferior



c) Estructura de la terraza armada.



d) Estructura secundaria armada y lista para el montaje de la estructura principal



e) Adecuaciones de los muros antiguos para el montaje de las columnas en los ejes X1 y X2. La columna central está posicionada.



f) Columnas principales en eje X3 posicionada. El nivel freático se hace evidente en el subsuelo.

Figura 4.40 Montaje de estructuras secundarias y principales
Fuente: Elaboración propia

c. Verificación de cumplimiento de niveles, perpendicularidad y espacios libres



a) Tomas de niveles para verificar la perpendicularidad y espacios libres solicitados



b) Verificación de perpendicularidad de columnas

Figura 4.41 Cumplimiento de niveles, perpendicularidad y espacios disponibles
Fuente: Elaboración propia

d. Trabajos finales de soldadura



a) Soldadura de conexión Columna-Columna, sin pulido de cordón



b) Conexión Columna-Columna con el cordón pulido. Las dos viguetas que están conectadas no deben estar cerca a la conexión. Por lo tanto fueron desplazadas



c) Conexión Columna-Placa base



d) Pulido del cordón de conexión Columna-Placa base para conseguir perfil cóncavo

Figura 4.42 Trabajos finales de soldadura
Fuente: Elaboración propia

e. Inspecciones VT, MT y UT con informe de aprobación

Todos los informes de las inspecciones realizadas bajo los procedimientos de inspección aprobados, fueron emitidos por la empresa NDTSmart, cuyos procedimientos fueron firmados por el Ing. Oscar Cevallos con certificación ASNT Nivel III N° 183145, y las inspecciones se efectuaron por Alexander Suntaxi, de la empresa NDT Plus.

Se presentan los resultados de las inspecciones junto con la firma de responsabilidad. La inspección se realiza el 100% de las juntas de la estructura principal.

	Fecha: 18/08/2023	Rep: HUC-REF-ASCENSOR 1-MT.	Hoja 5 de 7	
	REPORTE DE INSPECCIÓN DE SOLDADURA. MÉTODO: PARTICULAS MAGNÉTICAS.			
	Proyecto: HOSPITAL DE ESPECIALIDADES URBANO DE AZOGUES. Ubicación: AZOGUES-CAÑAR			

REPORTE DE INSPECCIÓN DE SOLDADURA. MÉTODO, PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

1.- GENERAL											
LUGAR Y FECHA	AZOGUEZ, 18/08/2023			COD. SOLDADURA:	AWS D1.1			NOMENCLATURA:			
REPORTE N°	HUC-REF-ASCENSOR 1-MT.			MATERIAL BASE:	ASTM – A36			(UC) MORDEDURA			
PROYECTO:	HOSPITAL DE AZOGUES.			ORIGEN:	OBRA/MONTAJE			(P) POROS (S.I) SOLDAD. INCOMPLETA			
2.- MEDIOS DE INSPECCIÓN.											
ILUMINACIÓN: LUZ UV.				EQUIPO: AC/DC YOKE.				TIPO DE PARTICULA: FLUORECENTE.			
TEMPERATURA: AMBIENTE				MAGNETIZACION: DIRECTA/RESID.				MARCA COMERCIAL: MET-L-CHEK			
LIMPIEZA: GRATEADO				DESMAGNETIZACION: N/A				PINTURA DE CONTRASTE: -			
3.- DETALLE DE JUNTAS INSPECCIONADAS.											
UNIÓN VIGA PRINCIPAL-COLUMNA. JUNTA EN T, PJP						TIPO DE JUNTA INSPECCIONADA. SOLDADURA DE FILETE					
4.- REGISTRO DE INSPECCIÓN											
JUNTAS TOMADAS EN OBRA.											
IDENTIFICACIÓN				INSPECCIÓN				REINSPECCIÓN			
EJE	NIVEL	JUNTA	WELDER	DEFECTO		RESULTADO		FECHA	RESULTADO		OBSERVACIÓN
				TIPO	LONG	ACEP	RECH		ACEP	RECH	
C-1'	+7,56	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
C-2'	+7,56	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
A-1'	+7,56	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
B-1'	+11,34	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
A-1'	+11,34	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
A-2'	+ 11,34	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
C-1'	+11,34	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
C-2'	+11,34	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
C-2'	+15,12	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
B-1'	+15,12	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
A-2'	+15,12	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
C-1'	+15,12	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
A-1'	+15,12	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
C-1'	+18,90	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
B-1'	+18,90	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado
A-1'	+18,90	Viga-Col	-	-	-	X	-	-	-	-	Aprobado

5.- RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN.											
<ul style="list-style-type: none"> - Se inspeccionó las juntas (Viga-Columna) - No se encontraron defectos de soldadura. <p style="text-align: center;"><u>Todas las juntas de soldadura inspeccionadas, evaluadas y reportadas en este documento se encuentran de acuerdo a los criterios de aceptación establecidos en el procedimiento NDT-PLUS-MT-01.</u></p>											

6.- FIRMAS DE RESPONSABILIDAD											
INSPECCIONADO POR:				SOLICITADO POR:				APROBADO POR:			
											
TEC: ALEXANDER SUNTAXI. INSPECTOR NDT.				ING.SEBASTIAN RIBADENEIRA. CONSORCIO HOSPITAL DE AZOGUES				ING. GLORIA CORTE. CONSORCIO FISCA HUC.			

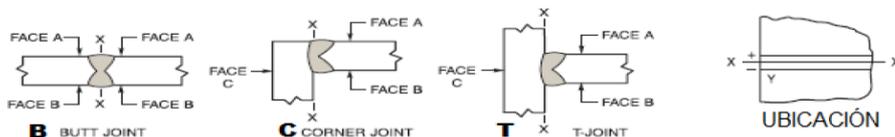
Figura 4.43 Informe de resultados de Inspección Partículas Magnéticas, todas las juntas resultan aprobadas

Fuente: Informe MT del inspector NDT

 <p>Consorcio Fisca Huc especialistas en fiscalización</p>	Fecha: 18/08/2023	Rep: HUC-REF-ASCENSOR 1-UT.	Hoja: 1 de 6	 <p>Inspección de Soldadura & Suministros</p>
	REPORTE DE INSPECCIÓN DE SOLDADURA.			
	MÉTODO: ULTRASONIDO INDUSTRIAL.			
	Proyecto: HOSPITAL DE ESPECIALIDADES U [REDACTED] DE AZOGUES. Ubicación: AZOGUES-CAÑAR			

**REPORTE DE INSPECCIÓN DE ESTRUCTURAS SOLDADAS.
MÉTODO ULTRASONIDO, HAZ ANGULAR.**

1.- GENERAL				
LUGAR Y FECHA:	AZOGUES, 18/08/2023.	CÓDIGO SOLDADURA:	AWS D1.1	NOMENCLATURA:
REPORTE N°	HUC-REF-ASCENSOR 1-UT.	MATERIAL BASE:	ASTM A-36	ACEP: ACEPTADO RECH: RECHAZADO
PROYECTO:	HOSPITAL U [REDACTED] DE AZOGUES.	ORIGEN:	MONTAJE	
		PROCEDIMIENTO	NDT-PLUS-UT-01	
2.- MEDIOS DE INSPECCIÓN.				
EQUIPO: SIUI-SMARTOR.	ZAPATA: PANAMETRICS ABWS 70° STEEL.	BLOQUE CAL: IIV, TIPO 1.	TRANSDUCTOR: PANAMETRICS – NDT C432	TIPO: PULSO-ECO
SERIE: M06320220157R.	ACOPLANTE: CARBOMETIL CELULÓSICO	FRECUENCIA: 2,25 MHZ		TÉCNICA: CONVENCIONAL
3.- DETALLE DE JUNTAS INSPECCIONADAS.				
JUNTA TIPO "T"; JUNTA A TOPE, CJP.				



4.- DATOS DE INSPECCIÓN.														
INSPECCIÓN														
IDENTIFICACIÓN DE JUNTA						UBICACIÓN DE LA DISCONTINUIDAD			EVALUACIÓN DISCONTINUIDAD			REINSPECCIÓN		
EJE	NIVEL	JUNTA.	LONGITUD (mm)	ESPOR (mm)	SOLDADOR	D= PROFUNDIDAD (mm)	LONGITUD (mm)	DESDE CARA	PIERNA (UT)	INDICACIÓN LIMITE (db)	LEVEL	RESULTADO	FECHA	RESULTADO
JUNTAS TOMADAS EN OBRA /VIGA PRINCIPAL– COLUMNA.														
A-2'	-1,72	J. Pb-Col	-	8	-	-	-	A-B	I Y II	-	-	ACEP	-	-
A-1'	-1,72	J. Pb-Col	-	8	-	-	-	A-B	I Y II	-	-	ACEP	-	-
B-1'	-1,72	J. Pb-Col	-	8	-	-	-	A-B	I Y II	-	-	ACEP	-	-
C-1'	-1,72	J. Pb-Col	-	8	-	-	-	A-B	I Y II	-	-	ACEP	-	-
C-2'	-1,72	J. Pb-Col	-	8	-	-	-	A-B	I Y II	-	-	ACEP	-	-
B-1'	+0,00	Columna	-	8	-	-	-	A-B	I Y II	-	-	ACEP	-	-
A-1'	+7,56	Columna	-	8	-	-	-	A-B	I Y II	-	-	ACEP	-	-
B-1'	+7,56	Columna	-	8	-	-	-	A-B	I Y II	-	-	ACEP	-	-
A-2'	+7,56	Columna	-	8	-	-	-	A-B	I Y II	-	-	ACEP	-	-
A-1'	+11,34	Columna	-	8	-	-	-	A-B	I Y II	-	-	ACEP	-	-
A-2'	+11,34	Columna	-	8	-	-	-	A-B	I Y II	-	-	ACEP	-	-
C-2'	+11,64	Columna	-	8	-	5	350	A-B	I Y II	-1	1	RECH	30/08	ACEP
C-2'	+15,12	Columna	-	8	-	5	350	A-B	I Y II	-1	1	RECH	30/08	ACEP
A-1'	+18,90	Columna	-	8	-	-	-	A-B	I Y II	-	-	ACEP	-	-

Figura 4.44 Informe de Inspección Ultrasonido Convencional, se rechaza una conexión Columna-Columna y se procede con la reparación para reinspección.

Fuente: Informe UT del inspector NDT

 <p>Consorcio Fisca Huc especialistas en fiscalización</p>	Fecha: 18/08/2023	Rep: HUC-REF-ASCENSOR 1-UT.	Hoja: 1 de 6	 <p>Inspección de Soldadura & Suministros</p>
	REPORTE DE INSPECCIÓN DE SOLDADURA. MÉTODO: ULTRASONIDO INDUSTRIAL.			
	Proyecto: HOSPITAL DE ESPECIALIDADES [REDACTED] DE AZOGUES.			
Ubicación: AZOGUES-CAÑAR				

5.- RESULTADO DE INSPECCIÓN.
<ul style="list-style-type: none"> - Se inspeccionó 5 juntas Placa base-Columna en el nivel -1,72 - Se inspeccionó 1 junta Columna-Columna en el nivel +0,00 - Se inspeccionó 3 juntas Columna-Columna en el nivel +7,56 - Se inspeccionó 2 juntas Columna-Columna en el nivel +11,34 - Se inspeccionó 1 junta Columna-Columna en el nivel +18,90 - Se encontró defectos volumétricos de soldadura. - La soldadura es reparada y reinspeccionada. - La soldadura es aceptada y liberada. <p><u>Todas las juntas de soldadura inspeccionadas, evaluadas y reportadas en este documento se encuentran de acuerdo a los criterios de aceptación establecidos en el procedimiento NDT-PLUS-UT-01.</u></p>

6.- FIRMAS DE RESPONSABILIDAD.		
INSPECCIONADO POR:	SOLICITADO POR:	APROBADO POR:
 <small>firmado digitalmente por</small> WILLIAM ALEXANDER SUNTAXI PAUCAR		
TEC: ALEXANDER SUNTAXI.	ING. SEBASTIAN RIBADENEIRA.	ING. GLORIA CORTE.
INSPECTOR NDT.	CONSORCIO HOSPITAL DE AZOGUES.	CONSORCIO FISCA HUC.

Figura 4.45 Resultados de Inspección Ultrasonido Convencional. La estructura se libera luego de las inspecciones realizadas
 Fuente: Informe UT del inspector NDT

f. Liberación de estructura para montaje de ascensor.

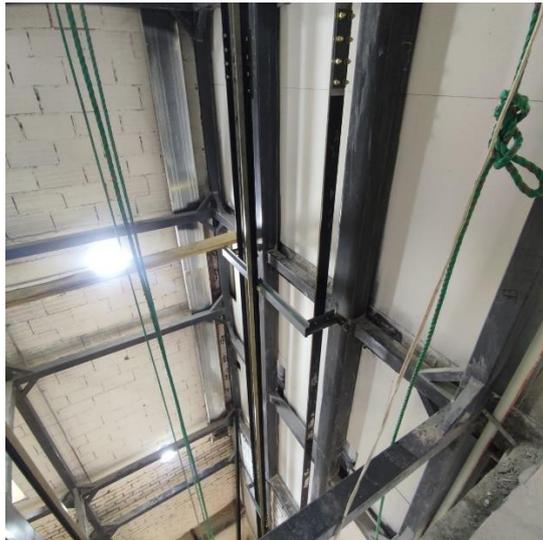
Finalmente, luego de las inspecciones NDT aprobadas, las inspecciones finales de recubrimiento con un espesor de 0.9mil (dentro de la tolerancia, mínimo 0.85) y los espacios solicitados por el fabricante del ascensor, se libera la estructura para que se inicie con el montaje.



4.46 Vista interna de la estructura principal y auxiliar de la estructura
Fuente: Elaboración propia



4.47 Estructura de la terraza finalizada y cubierta.
Fuente: Elaboración propia



a) Instalación de soportes y guías



b) Soporte de guía de contrapeso y guías en eje X3.



c) Instalación de Soporte y guía de contrapeso y cabina en eje X1

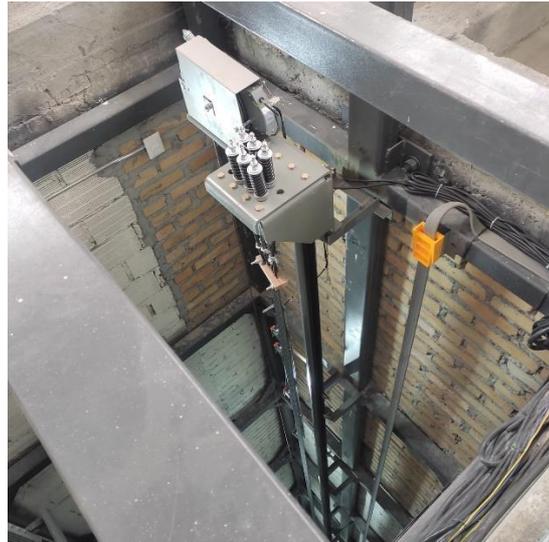


d) Instalación de soportes y guías de cabina en columna central del eje X2.

Figura 4.48 Montaje de soportes y guías del ascensor en la estructura.
Fuente: Elaboración propia



a) Motor montado en la estructura



b) Gobernador montado y calibrado



c) Cabinas montadas en los ductos



d) Puerta de una cabina, se están ejecutando obras al interior previo a su liberación.

Se ha culminado con la obra de la construcción de la estructura para soporte y guiado para el ascensor de uso hospitalario, cumpliendo con todo el plan de aseguramiento y control de calidad planteado. No se tuvo una importante tasa de rechazos durante las inspecciones NDT considerando el total de las tasas inspeccionadas fue de 30 y apenas dos juntas se debieron reparar resultando en 7%. Mucho tiene que ver los controles VT que se mantuvieron durante la obra, teniendo la documentación en los que la VT se puedan sustentar y no caer en subjetividad que normalmente dejan "cabos sueltos", teniendo un mapa de las tareas que se deben realizar al contar con el plan de QA/QC y los WPS para los trabajos de soldadura.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proyecto de la construcción de la estructura de guiado, soporte y elevación para el ascensor de uso hospitalario, pudo haber sido efectuado sin la necesidad de un plan QA/QC, sin embargo, en cada uno de los puntos que se ha intervenido con el plan propuestos, ha sido posible controlar y evitar errores por falta de la información suficientemente definida que dejan espacio para suposiciones u otras subjetividades que pueden no llevar a la mejor alternativa.

El plan que se planteó, ha sido resultado de tomar en gran parte lo sugerido por la AISC 360-22 y I NEC-SE-AC en sus capítulos de control de calidad, junto con un estudio del caso desde el punto de vista de ingeniería se fueron complementando los pasos adicionales, como por ejemplo, la verificación del estudio estructural, solicitando que la D/C esté por debajo del 0.66 de acuerdo a lo sugerido por la AISC 360-22 en su anexo de Diseño por Fatiga, esto incrementa los costos de la estructura, pero asegura una vida prolongada de la estructura por las cargas cíclicas, la misma que fue estimada para una vida segura de 10 años con funcionamiento 24/7 6 ascensos/descensor por hora, con la ecuación propuesta por la misma norma AISC referida.

En cuanto a los WPS, para el diseño de las juntas seleccionado se han tomado de la norma AWS D1.1/D1.1M:2020, dos de las cuales son específicamente indicadas para estructuras tubulares de la cláusula 10, estas son las juntas para conexión Columna-Columna y Columna-Placa base, pudiendo así usar juntas precalificadas para todos los casos, de tal forma que se puede asegurar un buen desempeño de la junta que pueda cumplir la vida esperada.

Por último, el plan QA/QC planteado demostró la verificación completa igualando o superando las recomendaciones de la propuesta de la AISC 360-22. Superando en el sentido de que se efectuaron controles muy específicos para la obra, que fue desarrollado para este caso en específico, pero podría aplicarse para otras obras de funcionamiento similar. No se deberían aplicar los criterios planteados en este proyecto para estructuras con cargas estáticas, pues para el caso de cargas cíclicas se debe sobredimensionar la estructura para conseguir una $D/C < 0.66F_y$, no es ese el criterio más económico para carga estáticas, ni tampoco aplicar los criterios de inspección para cargas cíclicas por ser más riguroso y exigente, todo esto tiene impacto directo en el costo. Por otro lado, se debería usar la junta diseñada para Columna-Placa base, precalificada por la AWS

cuando se requiere una junta CJP para estructura tubular, independientemente de que sea o no carga cíclica, y si se usa una junta de filete precalificada, de igual manera se deben tomar las recomendaciones de la misma cláusula para una junta precalificada, si no existe dentro de las opciones, no es una junta precalificada.

La recomendación para el promotor de la obra, es efectuar inspecciones anuales de las conexiones Columna-Columna, que son las más críticas, para monitorear la existencia de fisuras que se podrían generar por las cargas cíclicas del ascensor. En caso de presentarse, es posible repararla y continuar la operación.

6. CONCLUSIONES

- Se Desarrolló un plan de Aseguramiento y Control de la calidad para una estructura tubular sometida a carga cíclica, se tenía en claro que la estructura sería de soporte, elevación y guiado, pero al iniciar el desarrollo del plan, se identificó la particularidad de carga cíclica, por lo que se incluyó dentro de los criterios.
- La carga cíclica provoca fallos por fatiga, que es un mecanismo de falla con cargas por debajo del límite de fluencia y de forma repentina sin mostrar deformaciones evidentes. Existen criterios de diseño para solventar y estimar la vida en función de los esfuerzos, sin embargo, tanto la norma AISC 360-22 como la AWS D1.1/D1.1M:2020 disponen de información desarrollada y detallada para estructuras, relativamente fácil de aplicar, pero no deja de lado la dificultad de entender las fallas por fatiga para comprender su mecanismo y cómo evitarla.
- La norma AISC 360-22 y NEC-SE-AC cuentan también con un plan de aseguramiento y control de la calidad, el mismo que de igual manera se refiere a otras normas de la misma AISC y AWS, trabajando en conjunto para conseguir un comportamiento apropiado de la estructura. El plan de la AISC se tomó como una referencia y junto con los criterios de ingeniería y del diseño de la estructura se incluyeron nuevos puntos a ser inspeccionados que resultan críticos para garantizar una correcta construcción y confianza en un correcto desempeño de la estructura.
- Las WPS que se presentan en este proyecto, de igual manera fueron desarrolladas para carga cíclicas y estructuras tubulares, basando el diseño de las juntas en las indicaciones de la AWS D1.1/D1.1M:2020 que presenta directamente juntas precalificadas para conseguir el buen desempeño de la junta.
- Se aplicó el plan QA/QC junto con sus ítems, en la obra en campo, demostrando solventar cualquier dificultad y eliminar los errores que suelen ser cometidos por el fabricante, no por falta de experiencia, sino por falta de información o claridad de la misma.

REFERENCIAS

- 14:00-17:00. (s. f.). *ISO 8503-3:2012*. ISO. Recuperado 10 de enero de 2024, de <https://www.iso.org/standard/51981.html>
- A17.1/CSA B44 *Handbook on Safety Codes for Elevator and Escalators*—ASME. (s. f.). Recuperado 18 de julio de 2022, de <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/a17-1-csa-b44-handbook-safety-code-elevators-escalators>
- ANSI/AISC 360-22 *Specification for Structural Steel Buildings*. (2016). 680.
- AWS D1.1/D1.1M:2020. (s. f.). Recuperado 18 de julio de 2022, de https://www.techstreet.com/standards/aws-d1-1-d1-1m-2020?gclid=Cj0KCQjwidSWBhDdARIsAlotVb3N-PJTdrgFxBNDNQ1HFovt1F98U9POhEHwbcocGyWZW2EVfS_Eej0aAiOCEALw_wcB&product_id=2098571
- Curso preparacion de superficies con abrasivos | PPT*. (s. f.). Recuperado 29 de diciembre de 2023, de <https://es.slideshare.net/GertrudisGutierrez/curso-preparacion-de-superficies-con-abrasivos>
- ELECTRIC ELEVATORS. (2001). En *Building Design and Construction Handbook, Sixth Edition*. McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780070419995/toc-chapter/chapter16/section/section38>
- Funcionamiento de un ascensor eléctrico—Ascensores y otros elevadores*. (2021, octubre 7). <https://ascensoresinfo.com/funcionamiento-de-un-ascensor-electrico/>
- Gibson, G. W. (s. f.). *ELEVATOR HOISTWAY EQUIPMENT: Mechanical and Structural Design, Part I*.
- Inelsa-Zener. (2021, junio 16). ¿Para qué sirve el contrapeso de un ascensor? *Inelsa Zener Ascensores*. <https://inelsazener.com/para-que-sirve-el-contrapeso-de-un-ascensor/>
- ISO 8503-1:2012(en), Preparation of steel substrates before application of paints and related products—Surface roughness characteristics of blast-cleaned steel substrates—Part 1: Specifications and definitions for ISO surface profile comparators for the assessment of abrasive blast-cleaned surfaces*. (s. f.). Recuperado 10 de enero de 2024, de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8503:-1:ed-2:v1:en>
- McCormac, J. C. (2000). *Diseño de estructuras de acero*. Alfaomega Grupo Editor.
- Norton, R. L. (1999). *Diseño de máquinas*. Pearson educación, Prentice Hall. *Publications: FEMA 353, Recommended Specifications and Quality Assurance Guidelines for Steel Moment-Frame Construction for Seismic Applications—Applied Technology Council Online Store*. (s. f.). Recuperado 18 de julio de 2022, de https://store.atcouncil.org/index.php?dispatch=products.view&product_

id=94

Shigley's Mechanical Engineering Design. (2019).

<https://www.mheducation.com/highered/product/shigley-s-mechanical-engineering-design-budynas-nisbett/M9780073398211.html>

SSPC-SP 1-2016, Solvent Cleaning. (s. f.). AMPP Store. Recuperado 10 de enero de 2024, de <https://store.ampp.org/solvent-cleaning>

SSPC-SP 2-2018, Hand Tool Cleaning. (s. f.). AMPP Store. Recuperado 10 de enero de 2024, de <https://store.ampp.org/hand-tool-cleaning>

ANEXOS

1. Certificado de aceptación del Plan por parte de la fiscalización de la obra
2. Formatos de registro de Materiales y composición de los perfiles
3. Planos Constructivos
4. Procedimientos de Soldadura WPS
5. Soldador calificado para FCAW

1. CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DEL PLAN POR PARTE DE LA FISCALIZACIÓN DE LA OBRA

2. FORMATOS DE RECEPCIÓN DE MATERIALES Y COMPOSICIÓN DE LOS PERFILES

3. PLANOS CONSTRUCTIVOS

4. PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA WPS

5. SOLDADOR CALIFICADO FCAW 3G