

Práctica empresarial en la empresa PERALTA INGENIERÍA S.A.S en el desarrollo de un instructivo de control de calidad en la elaboración de elementos estructurales de acero

Julián Camilo Mejía Cubides

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
Escuela de Ingeniería Civil
Bucaramanga

2022

Práctica empresarial en la empresa PERALTA INGENIERÍA S.A.S en el desarrollo de un instructivo de control de calidad en la elaboración de elementos estructurales de acero

Julián Camilo Mejía Cubides

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Director:

Miguel Antonio Peralta Hernández

Magister en Ingeniería Estructural

Tutor:

Fabián Andrés Martínez Muñoz

Especialista en Ingeniería Estructural

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2022

Contenido

Introducción.....	9
1. Objetivos.....	10
1.1. Objetivo general	10
2. La empresa.....	10
3. Glosario	11
4. Generalidades de un proyecto de Fabricación.....	17
5. Proceso de planificación.....	19
5.1. Notificación de inicio	19
5.2. Recepción y revisión de documentos del proyecto	19
5.3. Definición de <i>conjuntos</i>	20
5.4. Modelado.....	20
5.5. Detallado	20
6. Corte y perforado.....	21
6.1. Corte	21
6.2. Perforado	23
6.3. Control de calidad del corte y perforado.....	23
7. Armado	23
7.1. Control de calidad de armado.....	24
8. Soldado	24
8.1. Calificación de soldadura acorde a la AWS.....	24
8.2. Ensayos no destructivos (NDE)	26
8.3. Control de calidad de soldadura	26
9. Limpieza de superficie.....	27

9.1.	Sustancias contaminantes	27
9.2.	Estándares y métodos de limpieza de superficie	27
9.3.	Perfil de anclaje	29
9.4.	Control de calidad de limpieza de superficie	31
10.	Aplicación de recubrimientos	31
10.1.	Generalidades	31
10.2.	Tipos de <i>recubrimientos</i> de aplicación líquida	34
10.3.	Métodos de aplicación de <i>recubrimientos</i>	36
10.4.	Mecanismos de <i>curado</i>	37
10.5.	Control de calidad en aplicación de recubrimientos	39
11.	Ejecución de juntas apernadas	40
12.	Control de calidad	40
12.1.	Integración del control de calidad y la metodología BIM	41
12.2.	Almacenamiento de registros físicos	45
12.3.	Plan de calidad	45
12.4.	Dossier de calidad	45
13.	Certificación de calidad de fabricación del AISC	47

Lista de figuras

Figura 1.....30
Figura 2.....33
Figura 3.....44
Figura 4.....44
Figura 5.....44
Figura 6.....44

Lista de tablas

Tabla 127
Tabla 232
Tabla 348

Resumen

Título: Práctica empresarial en la empresa PERALTA INGENIERÍA S.A.S en el desarrollo de un instructivo de control de calidad en la elaboración de elementos estructurales de acero.*

Autor: Julián Camilo Mejía Cubides**

Palabras clave: Control de calidad, Acero, Fabricación, Soldadura, Recubrimientos, Preparación de superficie, Detallado.

Descripción:

La fabricación de elementos estructurales de acero se compone de diferentes procesos a los cuales se les debe realizar un adecuado control de calidad de modo que se pueda confiar en que la estructura tendrá el comportamiento estructural requerido. Existen diferentes organizaciones que han propuesto estándares, guías y normas que dan pautas para los controles de calidad de algunos de dichos procesos, algunas de esas son la AWS, RSCS, SSPC, NACE, AISC, entre otras. El presente documento muestra el trabajo realizado durante una práctica empresarial en la empresa PERALTA INGENIERÍA S.A.S donde se realizó un instructivo para el control de calidad junto con actualización de procedimientos documentados y formatos con el objetivo de cumplir con los diferentes parámetros de calidad propuestos por aquellas organizaciones. Se desarrollaron labores de búsqueda bibliográfica relacionada con el control de calidad, labores de inspección de calidad, de elaboración de planos de taller y modelado BIM.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Miguel Antonio Peralta Hernández. Magister en Ingeniería Estructural. Tutor: Fabián Andrés Martínez Muñoz. Especialista en Ingeniería Estructural.

Abstract

Title: Business practice at PERALTA INGENIERA S.A.S developing a quality manual to produce structural steel elements*.

Author: Julián Camilo Mejía Cubides**

Key words: Quality control, Steel, Fabrication, Welding, Coating, Surface preparation, Detailing.

Description:

Structural steel element's fabrication integrates different processes to which an adequate quality control must be done so that it can be trusted that the structure will have the required structural behavior. There are different organizations that have proposed standards, guides and regulations that provide guidelines for quality controls of some of these processes, some of them are: AWS, RSCS, SSPC, NACE, AISC, among others. This document shows the work carried out during a business practice in the company PERALTA INGENIERÍA S.A.S, in which a quality manual was developed together with the updating of documented procedures and formats with the aim of complying with the different quality parameters proposed by those organizations. Bibliographic search related to quality control, quality inspections, shop drawings and BIM modeling was also made.

* Degree work

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Miguel Antonio Peralta Hernández. Magister en Ingeniería Estructural. Tutor: Fabián Andrés Martínez Muñoz. Especialista en Ingeniería Estructural.

Introducción

La necesidad de infraestructura civil (edificaciones, vías, plantas especializadas, entre otros) de la sociedad humana está en constante crecimiento, así como el surgimiento de nuevas tecnologías y técnicas que permiten mejorar la respuesta que se da a esa necesidad. A lo largo de la historia se han utilizados diferentes materiales para tal fin, siendo uno de los más populares en la actualidad el acero, hasta tal punto que, en el medio de la construcción, ingeniería civil, arquitectura y afines, se suele asignar la clasificación distintiva de “*Estructura Metálica*” a toda estructura cuyos componentes son hechos, en su mayoría, de acero estructural.

La elección de dar solución a una necesidad utilizando estructura metálica puede obedecer diferentes factores tales como estética, rendimiento en la ejecución de la obra o aprovechamiento de las propiedades mecánicas del material, tales como: su alta resistencia, su uniformidad, su elasticidad, durabilidad, ductilidad y tenacidad, entre otros. En función de que los factores anteriormente descritos sean satisfechos acorde a las especificaciones del proyecto es necesario realizar un exhaustivo *control de calidad* de los procesos de fabricación de la estructura. Dichos procesos se pueden resumir en: planificación, corte y perforado, armado, ejecución de juntas soldadas o apernadas, limpieza de superficie y aplicación de *recubrimientos*.

Una de las salidas del proceso de planificación son los *planos de taller*, los cuales brindan, principalmente, la información que el personal operativo necesita para llevar a cabo los procesos de corte, perforado, armado. En caso de que, por ejemplo, algún conjunto de perforaciones quede mal ubicado en el plano o quede identificado con un diámetro de perforación superior al realmente necesario no solo se habría perdido el tiempo y los recursos empleados al realizar dichas perforaciones, sino que también muy probablemente se perdería una porción de perfil de acero al no poderse reutilizar.

Por otro lado, en caso de que se realice una ejecución inadecuada de una junta, sea soldada o apernada, se puede llegar a ocasionar un comportamiento inadecuado de la junta e incluso, dependiendo de la relevancia estructural de esta, puede generar el fallo total de la estructura bajo sollicitaciones de servicio.

Las situaciones anteriormente descritas son producto de un ineficiente *control de calidad*. Con el objetivo de evitar que se den dichas situaciones o similares, el objetivo de la practica ha sido

encaminado en la producción de un *manual o instructivo de control de calidad* para la elaboración de elementos estructurales de acero. Con ello, la tarea formativa de la universidad rinde sus frutos en la realización de la práctica, en la cual se desarrollan *procedimientos documentados* para los principales procesos de fabricación, se actualizan los *procedimientos* existentes, se redacta la contextualización de los parámetros relevantes de cada proceso y se desarrollan o actualizan formatos y hojas de cálculo para llevar el control de dichos parámetros. Lo anterior es consignado en el presente documento producto del desempeño como auxiliar de ingeniería en el área de fabricación de la empresa PERALTA INGENIERIA S.A.S.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Apoyar al departamento de Fabricación de la empresa Peralta Ingeniería S.A.S en el *control de calidad* en la fabricación de elementos estructurales de acero para diferentes proyectos llevados a cabo por la compañía, con base en las normativas, especificaciones y recomendaciones aplicables.

1.1.1. Objetivos específicos

- Apoyar como auxiliar de ingeniería en el desarrollo de un instructivo para el *control de calidad* en la fabricación de elementos estructurales de acero.
- Apoyar como auxiliar de ingeniería en la actualización y registros de formatos de *control de calidad*.
- Apoyar como auxiliar de ingeniería en la realización de plantillas para bases de datos para los registros de *control de calidad*.

2. La empresa

PERALTA INGENIERÍA S.A.S es una empresa santandereana que se dedica a la consultoría de proyectos de obras civiles, patologías estructurales, supervisión técnica y, desde el año 2017, a la fabricación y *montaje* de estructuras de acero.

Desde su creación, la empresa se ha enfocado en el diseño de estructuras de acero para posteriormente agregar a su portafolio los servicios de fabricación y *montaje* de estas, ofreciendo así soluciones eficaces y eficientes para la generación de desarrollo sostenible con altos estándares de *calidad*.

3. Glosario

Las definiciones aquí descritas aplican para este documento y pueden no corresponder con el uso común de cada termino o con alguna otra definición en otro contexto. Los términos que se encuentran aquí definidos se identifican a lo largo del documento por estar en *letra cursiva*.

- *Acabado*: capa final de un *sistema de recubrimientos*. Su función suele ser estética principalmente. Puede ser deseable que esta capa aporte una alta resistencia a los rayos UV y a la meteorización para estructuras altamente expuesta a estos. No suele aportar mayor resistencia a la *corrosión*, en comparación con la capa de *imprimante*.
- *AISC*: Instituto Americano de la Construcción con Acero o AISC de sus siglas en inglés: *American Institute of Steel Construction*.
- *Aseguramiento de calidad*: denominado QA por sus siglas en inglés: *Quality Assurance*. Corresponde al conjunto de *procedimientos documentados* y requisitos de la organización con el objetivo de asegurar, con *evidencia objetiva*, que los objetivos de *calidad* son alcanzados. Dichos objetivos de *calidad* estarán en conformidad con las especificaciones del proyecto (establecidas en los *documentos contractuales*) y los estándares aplicados. Algunas funciones correspondientes al *aseguramiento de calidad* son: determinación de los criterios de *calidad*, establecimiento de plan de monitoreo de *calidad* y determinación de criterios de aceptación. La *evidencia objetiva* se obtiene a partir de las actividades del *control de calidad* (QC), (AISC, 2020, pág. xv).
- *ASNT*: Asociación americana de ensayos no destructivos o *ASNT* por sus siglas en inglés: *American Society for Nondestructive Testing*.
- *ASTM*: Asociación americana de ensayo de materiales o *ASTM* por sus siglas en inglés: *American Society for Testing Materials*.
- *AWS*: Sociedad americana de soldadura o *AWS* por sus siglas en inglés: *American Welding Society*.
- *Barrera*: es la segunda capa de un *sistema de recubrimientos* de tres capas. Su función usualmente es la de aportar mayor espesor de *recubrimiento*. De ser necesario, puede ser la encargada de aportar resistencia química al *sistema*.
- *Calidad (en la fabricación de estructuras de acero)*: requerimientos del proyecto o estándares aplicados que aseguran un adecuado comportamiento y desempeño de los elementos fabricados.

- *Capacidad de corte*: espesor máximo que puede cortar un equipo de corte, sea de oxicorte o de plasma, desde algún borde externo del elemento.
- *Capacidad de perforado*: espesor máximo que puede perforar un equipo de corte, sea de oxicorte o de plasma. Se puede también entender como el espesor máximo que es capaz de cortar un equipo de corte iniciando desde cualquier punto interno del elemento y no desde un borde.
- *Cascarilla de laminación (calamina)*: “residuo, azulado y ligeramente brillante, que se forma en la superficie del acero durante el proceso de laminado en caliente” (SSPC, 2000, pág. 12).
- *Certificado de calidad (de materia prima)*: documento que certifica que las propiedades físicas y químicas de un perfil cumplen con lo establecido por algún estándar internacional. Aporta información de la *trazabilidad*, permite hacer el seguimiento de la materia prima utilizada, deben ser suministrados por el proveedor.
- *Conjunto*: es toda *parte* o unión de *partes* que son enviadas a obra para ser montadas en la estructura final. Siempre que se realice una unión en la planta de fabricación, sea soldada o pernada, se conforma un *conjunto*. Cuando un *conjunto* está conformado por una sola *parte* el *plano de conjunto* y el *plano de parte* serán iguales.
- *Control de calidad*: denominado QC por sus siglas en inglés: *Quality Control*. Son aquellos controles e inspecciones que permiten asegurar el cumplimiento de los requerimientos del proyecto y los estándares aplicados. Provee la *evidencia objetiva* necesaria para el QA (AISC, 2020, pág. xv).
- *Control dimensional*: revisión de que un *conjunto* este cortado, perforado y armado conforme a las especificaciones del *plano de taller* de este.
- *Control*: en el contexto industrial se entiende que un proceso está “controlado” cuando se puede predecir, de manera exacta o aproximada, como dicho proceso variará en el futuro (Shewhart, 2015, pág. 6).
- *Corrosión*: “deterioración de una sustancia, usualmente metálica, debido a la reacción con el ambiente que la rodea” (NACE International, 2011, págs. 2-1). Es de gran importancia evitar que suceda ya que disminuirá las propiedades mecánicas del elemento ocasionando que este no se comporte como se consideró en la etapa de diseño estructural.

- *Curado*: proceso posterior a la aplicación del *recubrimiento* mediante el cual este pasa de su forma o estado de aplicación (líquido, fundido o en polvo) a formar una película de partículas sólidas que cubren el *sustrato* o el *recubrimiento* aplicado con anterioridad. Puede o no involucrar reacciones químicas.
- *CWI (Certified Welding Inspector)*: Inspector de soldadura certificado. Persona certificada por la *AWS* como inspector de soldadura.
- *Defecto*: cuando una *discontinuidad* no cumple los criterios de aceptación establecidos.
- *Detallado*: proceso mediante el cual se realizan los *planos de taller*, de *montaje* y de cimentación de un proyecto (AISC, 2020, pág. xii).
- *Detallador*: Persona encargada de realizar alguna parte o la totalidad de los *planos de taller*, *montaje* y cimentación de un proyecto (AISC, 2020, pág. xii).
- *Discontinuidad*: es toda interrupción en la uniformidad del material. Esta puede ser o no aceptable según los criterios acordados entre la empresa y el *cliente*.
- *Documentos contractuales*: conjunto de documentos que define las responsabilidades de las partes involucradas en la fabricación y/o *montaje* de la estructura de acero (AISC, 2020, pág. xii) .
- *Dueño (del proyecto) / Cliente*: la entidad que es identificada como tal en los documentos contractuales.
- *EPS*: por sus siglas “Espesores de Película Seca”. Es el espesor de *recubrimiento* medido desde los picos del *perfil de anclaje*.
- *Evidencia objetiva*: toda información relacionada con el *control de calidad* que es verificable y esta consignada en algún registro, formato, plantilla, entre otros. Esta información puede ser producto de observaciones, mediciones, ensayos, entre otros (AISC, 2020, pág. xiv).
- *Fabricación*: conjunto de procesos, tales como corte, perforado, armado, preparación de superficie y aplicación de *recubrimientos* necesarios para formar un *conjunto* el cual esta destinado a ser ensamblado junto con otros *conjuntos* en una estructura final.

- *Gestión total de calidad/Gestión de calidad*¹: conocido como TQM por sus siglas en inglés: “*Total Quality Management*”. Es una filosofía empresarial de *control de calidad* la cual implica que sus principios sean asimilados y aplicados en todos los niveles de la organización, desde el gerente general hasta el operario final. Cabe resaltar que para lograr un adecuado TQM es también necesario realizar adecuados procesos de QI, QC y QA.
- *Humedad relativa*: Porcentaje de la cantidad de humedad presente en el aire comparada con la cantidad que puede almacenar.
- *Imprimante*: primera capa de un *sistema de recubrimientos*. Al ser la que está en contacto con el *imprimante* se busca que brinde la principal protección contra la *corrosión*.
- *Lote*: en el contexto de preparación de superficie y aplicación de *recubrimientos*, se entenderá como lote al grupo de *conjuntos* a los cuales se les realizarán dichas actividades de forma simultánea. Usualmente, el lote de preparación de superficie es el mismo lote para la aplicación de *recubrimientos*, pero no necesariamente es de dicha forma.
- *Manual de calidad*: documento en el cual se ven consignadas las políticas de *calidad* de la empresa, el cual a su vez referencia a los *procedimientos documentados* establecidos para la ejecución de los procesos. También contiene una descripción del *sistema de gestión de calidad* (AISC, 2020, pág. xv).
- *Metal base*: “metal o aleación [...] siendo soldado” (AWS, 2010, pág. 6).
- *Metal de aporte*: metal o aleación que se va a aportar a la junta soldada durante el proceso de soldadura (AWS, 2010, pág. 17).
- *Modelado*: proceso de realizar el *modelo* tridimensional del proyecto, usualmente en el software Tekla Structures.
- *Modelador*: Persona encargada de realizar alguna parte o la totalidad del *modelo* tridimensional de un proyecto, cuando este aplique. Esta persona puede también *detallar* parte o la totalidad del proyecto.
- *Modelo*: resultado final del proceso de *modelado*.

¹ El termino comúnmente usado en el inglés es “*Total Quality Management*” cuya traducción literal al español sería “*Gestión Total de Calidad*”, sin embargo, en español es usual referirse a este concepto como solo “*Gestión de Calidad*”. Se colocan ambos términos para evitar confusiones.

- *Montaje*: proceso mediante el cual los *conjuntos* fabricados en la planta de fabricación son ensamblados en obra de tal forma que den como resultado la estructura deseada.
- *NACE (Internacional)*: Asociación nacional de ingenieros de *corrosión*, o por sus siglas en inglés: National Association of Corrosion Engineers International.
- *NDE (Nondestructive Examination)*: Exámenes no destructivos. Aquellas pruebas y ensayos que no afectan la integridad del espécimen ensayo permitiendo el aprovechamiento o uso de este.
- *Parte*: elemento de la estructura que se obtiene tras realizar solamente procesos de corte y perforado.
- *Planos de conjuntos*: planos que otorgan la información suficiente para realizar los procesos de armado, *soldado*, ejecución de juntas pernadas, preparación de superficie y esquema de *recubrimientos* de un *conjunto*.
- *Planos de montaje*: documentos digitales que muestran la ubicación de los diferentes *conjuntos* que conforman la estructura para su correcto *montaje*. Debe aportar información suficiente para realizar la unión entre dichos *conjuntos*, bien sea soldada o apernada.
- *Planos de partes*: planos que otorgan la información suficiente para realizar los procesos de corte y perforado de las *partes* de una estructura.
- *Planos de taller*: incluye *planos de partes* y *planos de conjuntos*.
- *PQR (Procedure Qualification Record)*: registro de calificación de procedimiento. “Registro de variables de soldadura usados para producir una junta soldada de prueba y los resultados de ensayos conducidos sobre el elemento soldado de prueba para calificar una WPS” (AWS, 2010, pág. 47).
- *Preparación de junta (soldada)*: preparación que se debe realizar en la cara una o de las dos *partes* siendo soldadas, usualmente de biselado. Depende del tipo de junta que se este ejecutando.
- *Procedimiento (documentado)*: documento que establece el paso a paso necesario para llevar a cabo un proceso repetitivo dentro de la empresa.
- *Procesos operativos*: procesos necesarios para llevar a cabo un proyecto de fabricación que son desarrollados por el personal operativo.

- *Punto de rocío*: temperatura a la cual la humedad presente en el aire se comienza a condensar.
- *RCSC*: Consejo de investigación de conexiones estructurales o *RCSC* por sus siglas en inglés: *Research Council on Structural Connections*.
- *Recubrimiento*: sustancia, usualmente líquida, con diferentes componentes y propiedades que provee algún beneficio al aplicarse a elementos de acero, usualmente protección contra la *corrosión*.
- *Registros de control de calidad*: documentos que reportan o resumen los resultados obtenidos del QC.
- *Sistema de gestión de calidad*: sistema que establece las políticas, objetivos, planes y recursos para dirigir y controlar una organización en búsqueda de la *calidad* (AISC, 2020, pág. xv).
- *Sistema de recubrimientos*: combinación de 2 o más capas de *recubrimientos*, usualmente 2. La primera capa se denomina *imprimante*, la segunda *barrera* (o acabado si solo hay dos capas) y la tercera *acabado*.
- *Soldado*: proceso mediante el cual se realizan todas las juntas soldadas de un *conjunto*, previo a un proceso de armado.
- *Soldador*: persona que ejecuta la junta soldada.
- *SSPC*: La Sociedad de Recubrimientos Protectores (The Society for Protective Coatings). Inicialmente, su nombre fue Consejo de Pintura de Estructuras de Acero o por sus siglas en inglés: Steel Structures Painting Council.
- *Subcontratista*: empresa que desempeña una porción del trabajo de un proyecto contratada por otra empresa y no por el *dueño* del proyecto.
- *Sustrato*: superficie de acero a la cual se le aplicará el *recubrimiento* o *sistema de recubrimientos*.
- *Temperatura de la superficie*: temperatura a la cual se encuentra la superficie de los *conjuntos* del lote al cual se le dispone aplicar el recubrimiento.
- *Tiempo de inducción*: tiempo que tarda en iniciar la reacción química de co-reacción (ver Sección 10.4.2.2) una vez mezclados los dos componentes que conforman el *recubrimiento*.

- *Trazabilidad (de materia prima)*: proceso que permite hacer seguimiento a la evolución de la materia prima desde su estado inicial hasta el producto final deseado.
- *Verificación (de planos de taller)*: revisión detallada de los *planos de taller, montaje, cimentación y modelo* tridimensional, cuando aplique, realizada por un *Verificador* diferente al *detallador* quien realizó los planos (AISC, 2020, pág. xvi).
- *Verificador*: persona que por su experiencia y habilidad puede realizar la revisión final a los *planos de taller, montaje, cimentación y modelo* tridimensional (cuando aplique) sin realizar supervisión directa.
- *Vida útil*: en el contexto de un *recubrimiento* que durante su *curado* se vea sometido a la reacción de co-reacción (ver Sección 10.4.2.2), se refiere al tiempo comprendido entre el inicio de dicha reacción química y el instante en el cual el *recubrimiento* pasa a una consistencia gelatinosa haciendo imposible su aplicación.
- *Volumen muerto*: volumen comprendido entre los picos y los valles del *perfil de anclaje*. En dicho volumen se almacenará *recubrimiento* que no será tomado en cuenta para la medición de *EPS*.
- *WPQ (Welder Performance Qualification)*: calificación de habilidad del soldador. “Demostración de la habilidad de un soldador u operario de soldadura para producir soldaduras en conformidad con la(s) norma(s) prescrita(s)” (AWS, 2010).
- *WPS (Welding Procedure Specification)*: especificación de procedimiento de soldadura. “Documento que suministra las variables de soldadura para una aplicación específica, para asegurar la repetibilidad por medio de soldadores y operadores de soldadura entrenados apropiadamente” (AWS, 2010, pág. 33).
- *ZAC*: De las siglas: Zona Afectada por Calor. Cuando se aplica calor concentrado a un elemento, bien sea debido a la ejecución de soldadura o al uso de alguna herramienta de corte, habrá una zona alrededor de la aplicación del calor que se verá afectada por este.

4. Generalidades de un proyecto de Fabricación

Un proyecto de fabricación se compone de seis procesos principales²: planificación, corte y perforado, armado, soldado, preparación de superficie y aplicación de recubrimientos. El *control*

² La ejecución de juntas apertadas en taller también corresponde un proceso importante dentro de la fabricación. Sin embargo, como estas no son muy comunes no se incluyen dentro de los principales procesos de fabricación.

de calidad es un proceso transversal que se irá ejecutando al tiempo que cada uno de estos procesos, realizando los diferentes tipos de controles que cada uno requiera. El proceso de planificación es el único, además del *control de calidad*, de los 6 previamente mencionados, que es desarrollado por la parte ingenieril de la división de Fabricación de la empresa, por ello los demás procesos se clasifican como *procesos operativos*.

Las tareas que comprende el proceso de planificación son, entre otras: recepción de documentos suministrados por el *dueño*, *modelado* del proyecto cuando se requiera, *detallado* del proyecto y todas las demás actividades necesarias para que los *procesos operativos* sean desarrollados de forma eficiente cumpliendo con los objetivos de *calidad*.

El proceso de corte y perforado se puede dividir en dos tipos: corte y perforado de platinas y corte y perforado de perfiles. Esto se debe a que, generalmente, en el primero caso el proceso es desarrollado con una mesa corte, mientras que con el segundo caso el método de corte y perforado puede variar dependiendo del tamaño del perfil.

Por otro lado, tanto el proceso de armado como el de soldado aplican solo cuando se trata de juntas soldadas. Si un *conjunto* tiene solamente juntas apernadas y ninguna junta soldada entonces ninguno de estos dos procesos sería necesario. Sin embargo, esta situación es difícil de encontrar. Un *conjunto* suele tener al menos una platina soldada. Es más, la ejecución de juntas apernadas en la planta de fabricación no es común, estas se suelen realizar durante el montaje de la estructura en obra.

Los *conjuntos* ya soldados y las *partes* ya cortadas y perforadas pueden pasar al proceso de limpieza, en el cual se limpiará la superficie del acero según el método establecido en los documentos contractuales. Los *conjuntos* y *partes* ya limpiados pasarán al proceso de aplicación de recubrimientos. Terminado este proceso, esos *conjuntos* y *partes* serán almacenados de modo que se conserve su integridad hasta que sean enviados a la obra para su montaje³.

Nótese que los seis procesos mencionados no tienen una relación fin-comienzo entre ellos. Por ejemplo, no es necesario haber realizado todos los *planos taller* de un proyecto para poder iniciar el corte y perforado de algunas *partes* de las que ya se dispongan *planos de taller*. Del mismo

³ El orden de los procesos de fabricación aquí descrito es el más común de ejecutar para proyectos de fabricación. Sin embargo, en algunas ocasiones se puede considerar ha ser modificaciones a dicho orden siempre y cuando se tengan en cuenta las implicaciones y cuidados que esto acarree.

modo, no es necesario tener todas las *partes* cortadas y perforadas para poder iniciar el armado de *conjuntos*, basta con que se disponga de algunas *partes* suficientes para armar algunos *conjuntos*, y así sucesivamente con todos los procesos. De modo, que la verdadera relación entre los procesos sería de comienzo-comienzo con un desfase. El valor de dicho desfase para cada proceso es determinado según las necesidades de cada proyecto en el proceso de planificación.

En las siguientes secciones se profundiza cada uno de los procesos mencionados, realizando una contextualización de las variables que se deben tener en cuenta, una descripción del proceso, una descripción de los *controles de calidad* necesarios y finalmente se referencia al *procedimiento*, de haberlo, y a los formatos relacionados.

5. Proceso de planificación

Como se explicó en la sección anterior, se puede resumir la descripción de este proceso como el conjunto de todas las tareas ingenieriles necesarias para que los *procesos operativos* sean ejecutados de forma eficiente cumpliendo con los estándares de *calidad*. En esta sección se mencionarán los subprocesos que, como mínimo, se deben realizar para dar por completado este proceso.

5.1. Notificación de inicio

El proyecto se dará por iniciado cuando el coordinador de proyectos notifique formalmente al director de la planta del inicio de este. Es responsabilidad de ambos guardar registro de la fecha de notificación de inicio.

5.2. Recepción y revisión de documentos del proyecto

Para la fabricación de todo proyecto se debe partir de algún documento que establezca las dimensiones y necesidades del proyecto. Usualmente esos documentos corresponden, como mínimo, a los planos estructurales del proyecto. Estos documentos pueden haber sido entregados a la división de fabricación de la empresa en la etapa de cotización del proyecto, en ese caso se deberá confirmar que desde la etapa de cotización al inicio formal del proyecto no haya habido actualizaciones en dichos documentos. La revisión de los documentos del proyecto será realizada acorde al *procedimiento* SIG-GP-PRC-011, ver Anexo 2.

5.3. Definición de *conjuntos*

Se deberán definir los *conjuntos*, aquellos elementos estructurales que salen de la planta de fabricación como un único objeto a ser montados en la estructura final. Esto se logra definiendo cuales juntas soldadas o apernadas serán realizadas en la planta de fabricación (soldaduras/pernos de taller) y cuáles serán ejecutadas en obra (soldadura/pernos de obra).

Los *conjuntos* se definen de tal forma que sus dimensiones sean lo más apropiadas posible para los procesos de fabricación, transporte y *montaje*. De ser posible, todas las juntas soldadas se realizarán en taller.

5.4. Modelado

Se recomienda realizar el *modelado* de cada proyecto que la empresa fabrique ya que este permite advertir choques, interferencias e incoherencias existentes con mayor facilidad, además de facilitar la obtención de cantidades y el *control de calidad*, entre otros. Sin embargo, puede que en ocasiones por diferentes condiciones específicas del proyecto que se esté ejecutando no se considere viable o necesario el *modelado*.

En caso de que en los documentos del proyecto se haya suministrado un *modelo* IFC, el *modelado* consistirá en adaptar el *modelo* recibido a las convenciones y configuraciones que usa la empresa para sus *modelos*.

Si el tamaño del proyecto lo permite, se realizará una revisión de la numeración de los *conjuntos* y *partes* del *modelo*, con el fin de identificar códigos de posición repetidos.

Finalmente, se deberá realizar la *verificación* del *modelo*.

5.5. Detallado

El proceso de *detallado* se realizará con el software Tekla Structures si se realizó *modelado*. Caso contrario, se realizará con el software AutoCAD.

5.5.1. Verificación del *detallado*

Un *verificador* deberá revisar el *detallado*, acorde al *procedimiento* SIG-GP-PRC-012, ver Anexo 3. Si se encuentran correcciones a realizar el *verificador* se las indicará al *detallador* quien las ejecutará y se repetirá este subproceso. De no encontrarse correcciones el *verificador* dará su aprobación para enviar el *detallado* al *cliente*.

5.5.2. Aprobación del *modelado* y *detallado*

Una vez que el *modelado* y *detallado* han sido aprobados por el *verificador* estos son enviados al *cliente* para su aprobación. Si el *cliente* presenta correcciones entonces estas serán realizadas por el *detallador* para posteriormente repetir los pasos 5.4. , 5.5.1 y 5.5.2. Caso contrario, si el *cliente* no tiene correcciones y aprueba se da por culminado este subproceso. Es responsabilidad del director de planta guardar registro de la aprobación del *cliente*.

Una vez aprobado el *detallado* este será suministrado al personal operativo para el inicio de *procesos operativos*. En general, para evitar confusiones, no se suministra la totalidad del *detallado* al personal operativo, sino que se va suministrando este a medida que se va requiriendo. Es responsabilidad del director de planta llevar un registro del *detallado* suministrado.

5.5.3. Adquisición, recepción y codificación interna de materia prima

Es responsabilidad del director de planta informar al coordinador de proyectos sobre la materia prima que se requiere comparar para realizar el proyecto, considerando que puede haber materia prima en stock en la planta de fabricación.

A su vez, será responsabilidad del coordinador de proyectos suministrar al ingeniero de calidad los *certificados de calidad* de las adquisiciones realizadas para que este pueda realizar la *trazabilidad de materia prima* cuando se requiera.

En el *procedimiento* SIG-GP-PRC-013 (ver Anexo 4) se establecen los pasos a seguir para realizar la codificación interna y la trazabilidad.

6. Corte y perforado

6.1. Corte

El proceso de corte de elementos se diferencia dependiendo de si va a cortar una platina o lámina o si se va a cortar un perfil. En la mayoría de los casos, las láminas se cortan con una mesa de corte automatizada que facilita este trabajo, mientras que los perfiles si se cortan con equipos manuales. Independiente del tipo de elemento que se esté cortando, se dispone de tres diferentes tipos de método de corte, donde cada uno presenta sus ventajas y desventajas. A continuación, se resumen las principales características de cada método de corte:

- 6.1.1. Corte con herramienta mecánica.** También conocido como disco de corte. En este método un disco con especiales características gira a altas revoluciones, de modo que al entrar en contacto con la superficie del material empieza a desbastarlo hasta finalmente cortarlo. Este método es ideal para elementos de espesor pequeño. Cuando se realice corte con plasma o con oxicorte manual se deberá perfeccionar el acabado de estos mediante las herramientas mecánicas.
- 6.1.2. Corte con plasma.** Consiste en elevar la temperatura del elemento, de forma localizada, a una temperatura extremadamente alta (por encima de los 20.000 °C). Lo anterior se consigue inyectando a presión un gas, el cual debido a la alta temperatura se encuentra en estado de plasma. Gracias a que la aplicación del calor sobre el elemento se da de forma muy localizada la ZAC que se genera es muy pequeña comparada con el método de oxicorte. Presenta un mayor rendimiento y exactitud que el oxicorte. Además, a diferencia del oxicorte, su uso no se limita a aceros de aleación de hierro y carbono. La *capacidad de corte* y la *capacidad de perforado* de este método depende del equipo que se esté empleando, sin embargo, suelen ser considerablemente menores que las del oxicorte. En general, los equipos manuales que dispone la empresa para este tipo de corte tienen una *capacidad de corte* de una pulgada y la *capacidad de perforado* de cinco octavos de pulgada. En todo caso, dichas capacidades deberán estar constatadas en la ficha técnica de los equipos y deberán tenerse en consideración al momento de realizar los cortes.
- 6.1.3. Corte por oxicorte.** Este método de corte consiste en precalentar el material y posteriormente mediante la aplicación de oxígeno generar una reacción química que genera la oxidación del hierro presente en el metal, generando finalmente el corte. Debido a lo anterior, este método se limita al corte de aceros de aleación con hierro. Si bien este método presenta menores rendimientos y mayores desperdicios que el método de corte por plasma, presenta la ventaja de tener *capacidades de corte* y *capacidades de perforado* considerablemente mayores, alcanzando valores hasta de 30 centímetros. Al igual que con el corte con plasma estas dos *capacidades* dependen del equipo que se emplee, las cuales deberán estar constatadas en las fichas técnicas de estos y ser tenidas en cuenta al momento de realizar el corte.

6.2. Perforado

Para el perforado se dispone de dos métodos, perforado con broca sólida o perforado con broca hueca. La diferencia es que, con broca sólida no se puede perforar directamente el tamaño de agujero deseado, sino que se debe iniciar por una perforación pequeña e ir aumentando el tamaño de la broca hasta alcanzar el tamaño objetivo, de modo que este método es más demorado. Por otro lado, el método de broca hueca permite la perforación del tamaño objetivo directamente, pero es más costoso ya que este tipo de broca presenta un mayor costo en el mercado. Para términos de la *calidad* de la perforación ambos métodos se pueden usar indistintamente, dependerá de criterios de costos o tiempos de ejecución la elección del método, o la combinación de estos, a usar.

En todo caso, previo a la perforación, el personal operativo encargado de esta deberá tomar cuidadosamente las medidas al centro de la perforación y dejar estas indicadas sobre la superficie del elemento con líneas guías, de modo que se facilite el posterior *control dimensional*.

6.3. Control de calidad del corte y perforado

El *control de calidad* de este proceso consiste en realizar un *control dimensional* de los cortes y perforaciones realizadas. Es decir, confirmar que las medidas dispuestas en los *planos de taller* corresponden a las medidas reales de la *parte*. Además, se deberá corroborar que la superficie del corte cumpla con los requisitos estéticos del proyecto. En caso de que no, se deberá realizar un mecanizado sobre dicha superficie para eliminar imperfecciones causadas por el corte o perforado. El *control dimensional* se deberá realizar conforme a lo establecido en el *procedimiento* SIG-GP-PRC-014, ver Anexo 5.

7. Armado

Cuando un *conjunto* tiene más de una *parte* se debe realizar el proceso de armado, el cual consisten en unir, de forma preliminar, las *partes* de dicho *conjunto*. Sin embargo, esta unión no se realiza por completo hasta no efectuar el *control dimensional*; si la junta es apornada, entonces los pernos se apretarán levemente, y si es soldada, no se efectuará la soldadura completa, sino que solo se aplicarán algunos puntos de soldadura. El objetivo de la unión preliminar es poder hacer fácilmente modificaciones que se requieran del *control dimensional*. También se debe asegurar de que la unión realizada mantenga unidas las *partes* al *conjunto* ante cargas de peso propio producidas durante la manipulación.

7.1. Control de calidad de armado

El *control de calidad* de este proceso se da por satisfecho hecho el *control dimensional* del 100% de los *conjuntos* del proyecto. Este control debe ser realizado tanto por el ingeniero de calidad como por el jefe de personal operativo, jefe de planta. Este control se debe realizar acorde al *procedimiento SIG-GP-PRC-014*, ver Anexo 5.

Cuando un *conjunto* cumpla con el control realizado se informará al personal operativo para que procedan con la ejecución completa de las juntas que lo conforman. En ninguna circunstancia se podrá realizar por completo las juntas de un *conjunto* si este no ha sido aprobado.

Los criterios de aceptación para el *control dimensional* dependerán de las tolerancias que se dispongan para el *montaje* y son propias de cada *conjunto* y de cada proyecto. Incluso, puede que se pueda aceptar cierta cantidad de *conjuntos* con alguna dimensión desfasada más no todos, dependiendo de la tolerancia que se disponga de los *conjuntos* a los cuales se conecta.

En todo caso, aún si las tolerancias del *montaje* permiten la aceptación de un *conjunto* se debe cumplir con los criterios dimensionales estipulados en la sección 6 de la NTC 5832.

8. Soldado

Para llevar a cabo el proceso de soldado primero se debe verificar que se dispone de las calificaciones necesarias para asegurar una adecuada ejecución de la junta soldada, de modo que tenga el comportamiento estructural esperado.

Dichas calificaciones se pueden obtener mediante diferentes organizaciones que dispongan de códigos y estándares para tales fines. La *AWS* (American Welding Society) es uno de los principales organismos internacionales que se ha puesto en la tarea de estudiar y estandarizar todo lo relacionado con el diseño y ejecución de juntas soldadas. Las calificaciones requeridas para la ejecución de la junta soldada deberán estar realizadas acorde a los requisitos establecidos por el código aplicable de la *AWS*, a excepción de que en los *documentos contractuales* se establezca alguna otra organización como normativa de referencia para tales fines.

8.1. Calificación de soldadura acorde a la AWS

La *AWS* establece dos calificaciones mínimas necesarias para la ejecución de una junta soldada son la WPS (Welding Procedure Specification) y el WPQ (Welder Performance Qualification).

La WPS es un documento que establece el paso a paso necesario para la ejecución de la junta soldada y los rangos o límites de las variables que afectan la soldadura. Las principales variables que se pueden⁴ ver controladas en la WPS son:

- Proceso de soldadura⁵.
- Posición de soldadura.
- Metal base o grupo de este.
- Requisitos de precalentamiento.
- Metal de aporte o clasificación de este.
- Diámetro nominal del electrodo.
- Amperaje.
- Voltaje.
- Tratamiento térmico posterior a la soldadura.
- Tipo de corriente.
- Polaridad de la corriente.
- Velocidad de alimentación del alambre.
- Velocidad de desplazamiento.
- Composición nominal del gas de protección.
- Caudal de gas de protección.
- Tipo de unión soldada⁶.
- Detalles de soldadura en ranura.

Existen dos formas de que una WPS se considere calificada, acorde a la AWS. Que esta cumpla con todos los requisitos establecidos por el capítulo de WPS precalificadas del código del AWS aplicable⁷ o que se califique mediante pruebas y ensayos establecidos por el capítulo de calificación del código aplicable. En el segundo caso, se requiere de un documento denominado PQR (Procedure Qualification Record), el cual es un registro de los resultados de los ensayos realizados. En ambos casos (WPS precalificada o calificada mediante ensayos) tanto la WPS como el PQR, de haberlo, deben ir firmados por un CWI (Certified Welding Inspector) y aprobados por el ingeniero de calidad.

Por otro lado, además de la calificación del procedimiento la AWS exige también la calificación de habilidad del soldador. Este documento se denomina WPQ (Welder Performance Qualification) y establece, para cierto soldador específico, los tipos de WPS, posiciones y demás variables pertinentes, que dicho soldador se encuentra calificado para ejecutar.

⁴ No siempre se deben controlar todas las variables mencionadas. Algunas variables, como el proceso de soldadura, establecen si se requiere o no controlar otras variables.

⁵ Proceso mediante el cual se genera la fusión de los metales base y del metal de aporte, cuanto este aplique.

⁶ Dependiendo de la geometría de las partes siendo soldadas, su disposición, la preparación de junta, entre otros, se clasifica la junta soldada.

⁷ Existen diferentes códigos o estándares del AWS cuando se trata del diseño y ejecución de soldaduras, ver SIG-GP-PRC-015.

8.2. Ensayos no destructivos (NDE)

Los NDE para soldadura son:

- Inspección visual (VT)
- Líquidos penetrantes (PT)
- Partículas magnéticas (MT)
- Ensayo de pérdidas o fugas (LT)
- Radiografía (RT)
- Ultrasonido (UT)
- Electromagnético (ET)

Estos deberán ser efectuados por un inspector calificado para el respectivo ensayo, con nivel 2 de calificación otorgado por la ASNT. En caso de requerirse la ejecución de algunos de estos ensayos como *evidencia objetiva* de la *calidad* de las juntas soldadas esto deberá estar establecido en los *documentos contractuales*, así como la cantidad requerida de cada uno. De lo contrario se entiende que no es necesaria su ejecución.

8.3. Control de calidad de soldadura

8.3.1. Antes de ejecución. El ingeniero de calidad deberá realizar una revisión de las especificaciones del proyecto referentes a las soldaduras y verificar si se dispone de las WPS (calificada o precalificada) y de los WPQ necesarios, en caso de que no sea así se deberá gestionar su adquisición. Finalmente, deberá corroborar que la *preparación de junta*, cuando esta sea necesaria, se realice acorde a las especificaciones de esta. Ver Anexo 6, *procedimiento* SIG-GP-PRC-015.

8.3.2. Durante la ejecución. El ingeniero de calidad deberá supervisar la apropiada ejecución de la junta soldada verificando el cumplimiento de los parámetros establecidos en la WPS correspondiente. Ver Anexo 6, *procedimiento* SIG-GP-PRC-015.

8.3.3. Después de la ejecución. Se deberán ejecutar los NDE en la cantidad especificada en los *documentos contractuales* por inspectores calificados para tales fines. En caso de que los *documentos contractuales* no especifiquen requisitos relacionados con los NDE se entenderá que el *cliente* no los requiere y por consiguiente no es necesaria su ejecución. Sin embargo, en este último escenario, el ingeniero de calidad realizará los ensayos de VT y PT para control interno de la empresa de la *calidad* de la junta soldada, en ninguna circunstancia dichos ensayos reemplazarán los realizados por un inspector calificado. Para la ejecución del ensayo de VT, ver Anexo 7, *procedimiento* SIG-GP-PRC-016 y para la ejecución del ensayo PT seguir los lineamientos expuestos en el estándar ASTM-E165-18.

9. Preparación de superficie

Para la correcta adhesión de los *recubrimientos* (ver Sección 10 para más información sobre estos) es necesario realizar una limpieza a la superficie del acero, la cual debe asegurar la eliminación de sustancias contaminantes y generar un adecuado perfil de anclaje. En las siguientes subsecciones se profundiza sobre cada una de estas.

9.1. Sustancias contaminantes

Estas pueden ser aceites y grasas, *cascarilla de laminación (calamina)*, suciedad y polvo, humedad, recubrimientos anteriores o residuos de estos, entre otros. En caso de que estas no sean retiradas del *sustrato* se incrementará la probabilidad de que se presenten fallas prematuras en el sistema de recubrimientos.

Se debe prestar especial atención a la *calamina* ya que esta presenta una fuerte adherencia a la superficie del acero, pero luego de un tiempo se desprenderá causando el fallo del *recubrimiento* o del *sistema de recubrimientos*, según corresponda, y esto dejará el *sustrato* susceptible a la *corrosión*.

9.2. Estándares y métodos de limpieza de superficie

Existen diferentes métodos de limpieza y grados de limpieza. A su vez, existen diversos estándares para la correcta ejecución de los métodos para alcanzar el grado de limpieza deseado. En la Tabla 1 se en listas los estándares para limpieza consignados por la SSPC y su correspondiente estándar *NACE* o *ISO*, de existir. Los más utilizados en la industria son: SP 3, SP 5, SP 6 y SP 10. En caso de que se use un método de limpieza que no genere perfil de anclaje se deberá usar un *recubrimiento* “tolerante con la superficie”, los cuales garantizan una adecuada adherencia a pesar de no haber perfil de anclaje, como primera capa. Sin embargo, en todos los casos siempre será más recomendable generar perfil de anclaje.

Tabla 1

Resumen estándares de limpieza.

Tipo	Estándar			Descripción	Resultados	Genera perfil de anclaje
	SSPC	NACE	ISO			

Químico	SP 1			Limpiado sencillo con solventes orgánicos.	Remueve grasa, aceite, polvo, tierra y componentes orgánicos similares. No remueve componentes inorgánicos como sulfatos, cloruros, óxido o <i>calamina</i> .	No
Manual	SP 2		St 2	Limpieza con herramientas manuales.	Remueve óxido, pintura y <i>calamina</i> sueltos, pero no en su totalidad. Ideal para áreas limitadas previo a mantenimiento. Requiere previa limpieza SP 1.	No
Manual	SP 3		St 3	Limpieza con herramientas manuales mecánicas.	Remueve óxido, pintura y <i>calamina</i> sueltos, pero no en su totalidad. Es más eficiente que la limpieza con herramientas manuales. Requiere previa limpieza SP 1.	No
Chorro abrasivo	SP 5	No 1	Sa 3	Limpieza con chorro abrasivo, grado metal blanco.	Completa remoción de óxido, <i>calamina</i> y cualquier otro contaminante del sustrato. Ideal para ambientes altamente corrosivos.	Si
Chorro abrasivo	SP 6	No 3	Sa 2	Limpieza con chorro abrasivo, grado comercial	Remueve todo óxido, <i>calamina</i> u otro agente nocivo de la superficie del sustrato, pero permitirá una buena cantidad de manchas de óxido, <i>calamina</i> o recubrimientos anteriores.	Si
Chorro abrasivo	SP 7	No 4	Sa 1	Chorro abrasivo, grado cepillado	Remueve óxido, pintura y <i>calamina</i> sueltos. No remueve óxido integrado en la superficie del sustrato. Ideal para ambientes suaves.	Si
Químico	SP 8			Decapado químico	Remueve óxido y <i>calamina</i> . Su uso es adecuado siempre que se justifique su costo. Usualmente usado para pintura galvanizada en caliente.	No
Chorro abrasivo	SP 10	No 2	Sa 2 ½	Limpieza con chorro abrasivo, grado casi metal blanco	Punto intermedio entre grado comercial y metal blanco. Ideal para ambientes corrosivos pero que no justifican el alto costo de una limpieza grado metal blanco.	Si
Manual	SP 11			Limpieza con herramientas manuales mecánicas, grado metal desnudo.	Remueve óxido, <i>calamina</i> y otros contaminantes que están ligeramente adheridos, a diferencia de la limpieza con herramientas manuales mecánicas que solo remueven contaminantes sueltos.	Si

Chorro de agua	SP 12	No 5		Chorro de agua a alta y ultra alta presión.	Se puede usar para obtener diferentes grados de limpieza. Útil cuando el uso de chorro abrasivo no es posible. No genera perfil de anclaje, pero si está ya existía permite recuperarlo.	No
Chorro abrasivo	SP 14	No 8		Chorro abrasivo grado industrial.	Grado de limpieza superior al grado cepillado pero inferior al grado comercial. El grado cepillado permite mantener la mayor parte de recubrimiento existente mientras que este grado busca eliminar en la mayor medida posible el recubrimiento existente.	Si

Nota. Tabla adaptada a partir del SSPC (SSPC, 2000).

9.3. Perfil de anclaje

Si se observase una superficie con el suficiente grado de aumento se vería que esta está formada por picos y valles, ver Figura 1, los cuales determinan la rugosidad de dicha superficie. A medida que la variación entre esos picos y valles es mayor se dice que la superficie es más rugosa. El perfil de anclaje usualmente se mide a partir de R_{max} , el cual corresponde a la distancia entre el pico más alto y el valle más bajo, realizando esta medición en diferentes puntos para finalmente promediar los resultados. Sus unidades de medida suelen ser los mils⁸ o micrómetros.

Es muy importante controlar esta variable ya que de tener un perfil de anclaje muy bajo el *recubrimiento* no tendría una adecuada adherencia al *sustrato*, fallando prematuramente. Por otro lado, si bien un mayor perfil de anclaje asegurará, en la mayoría de los casos⁹, una mejor adherencia también generará que se requiera una mayor cantidad de *recubrimiento* para cubrir una misma área ya que se incrementa el *volumen muerto*, ocasionando sobrecostos innecesarios. Adicionalmente, un perfil de anclaje muy alto puede ocasionar que algunos picos no queden cubiertos adecuadamente por el *recubrimiento*, dejando el *sustrato* expuesto a la *corrosión* en esos puntos. Una buena práctica consiste en aplicar dos capas de recubrimiento sobre superficies limpiadas mediante chorro abrasivo (ver Sección 9.2. para más información) para asegurar que el perfil de anclaje es cubierto en su completitud (NACE International, 2011, págs. 10-64).

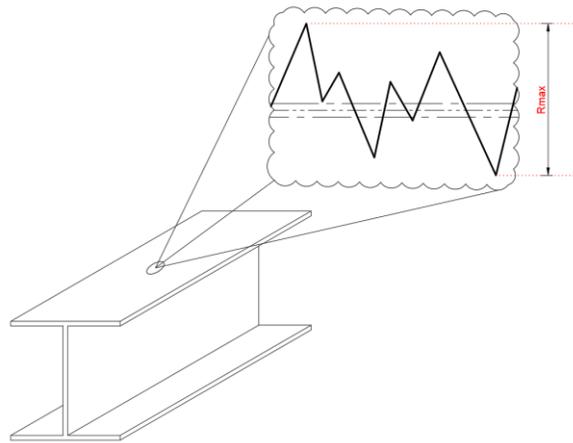
⁸ 1 mils corresponde a 25.4 micrómetros.

⁹ Algunos *recubrimientos*, como el silicato de zinc inorgánico, pueden perder cohesión cuando el perfil de anclaje supera los 2.5 mils.

Si los *documentos contractuales* no exigen un perfil de anclaje para el proyecto en ejecución entonces se adoptará el recomendado por la ficha técnica del *recubrimiento* aplicado en la primera capa. Finalmente, si dicha ficha técnica no incluye especificaciones para el perfil de anclaje se adoptará, mediante juicio de expertos de los ingenieros del área de fabricación relacionados con el tema, un rango acorde a la ficha técnica del *imprimante*.

Figura 1

Perfil de anclaje



9.3.1. Medición de perfil de anclaje. Existen tres métodos principales para la medición del perfil de anclaje, detallados en el estándar *ASTM D 4417*. El método de cinta replica es también detallado en el estándar *NACE Standard RP0287* al ser este el más usado en el sector. A continuación, se resumen dichos métodos:

9.3.1.1. Método A, comparación visual. Consiste en realizar una comparación visual entre la superficie evaluada y plantillas predefinidas con un perfil de anclaje nominal previamente determinado con otro método más sofisticado. La comparación se puede realizar o no con un aumento de la capacidad visual del inspector del 5-10%. Las plantillas deben haber sido tratadas con el mismo tipo de abrasivo (ver Sección 9.2. para más información) que la superficie evaluada ya que cada tipo de abrasivo genera diferentes apariencias en el perfil de anclaje (*ASTM*, 2011, pág. 1).

9.3.1.2. Método B, micrómetro medidor de profundidad. Dicho dispositivo es usado para medir el perfil de anclaje estableciendo el medidor en cero usando una lámina de vidrio flotado¹⁰ para posteriormente tomar las mediciones en la superficie preparada (ASTM, 2011, págs. 1-2).

9.3.1.3. Método C, cinta replica. Se usa una cinta (cinta replica) la cual tiene una espuma que, al comprimirse, genera una réplica reversa del perfil de anclaje la cual es medida posteriormente con un micrómetro con resorte o uno digital (NACE International, 2002, pág. 1).

9.4. Control de calidad de limpieza de superficie

Se deberá llevar registro de los elementos limpiados para control de avance y de rendimientos. Una vez culminada la limpieza se deberá realizar una inspección visual para corroborar que el grado de limpieza obtenido es igual o superior al especificado en los *documentos contractuales*, haciendo uso de la guía SSPC-VIS correspondiente. En caso de aprobarse la inspección visual se procederá a realizar los ensayos de perfil de anclaje, método C. Si la cantidad de ensayos necesarios para caracterizar el perfil de anclaje de un lote de limpieza no es especificada en los *documentos contractuales* se adoptará un factor de 5 ensayos por cada 100 m² limpiados. En el *procedimiento SIG-GP-PRC-018* se establecen los pasos para una adecuada limpieza de superficie y los controles y registros que se deben efectuar, ver Anexo 9.

10. Aplicación de recubrimientos

10.1. Generalidades

Uno de los principales retos que acarrea el uso de la estructura metálica es el de proteger el metal de los agentes nocivos del ambiente en el cual la estructura va a entrar en servicio. Para dar solución a este problema se emplean los *recubrimientos*. Estos están afectados por diferentes variables que hay que considerar para la apropiada ejecución de cada proyecto. En la Tabla 2 se resumen las principales propiedades de un *recubrimiento* que se deben analizar. Puede que no todas las propiedades mencionadas sean relevantes para todos los proyectos o para todos los tipos de *recubrimientos*.

¹⁰ Láminas de vidrio obtenidas al hacer flotar el vidrio sobre una capa de estaño fundido. Este método genera una superficie con rugosidad prácticamente nula.

Tabla 2

Propiedades relevantes en los recubrimientos (NACE International, 2011, págs. 7-1-7-2).

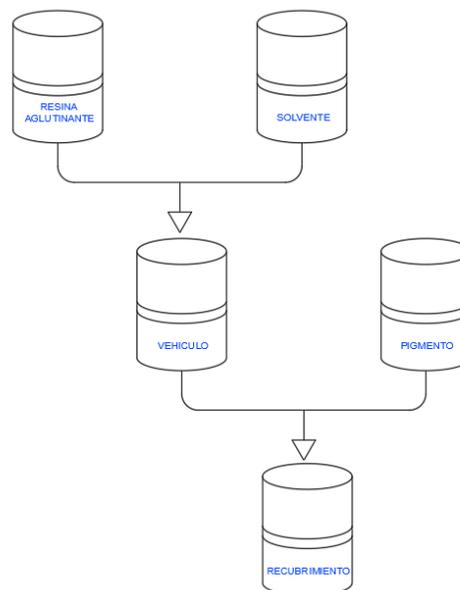
Propiedad	Descripción
Resistencia química	El <i>recubrimiento</i> escogido o aplicado en un proyecto debe ser capaz de soportar las condiciones ambientales a las cuales será expuesta la estructura sin descomponerse.
Resistencia al agua	Entre mayor sea la resistencia al agua del <i>recubrimiento</i> mayor será la protección que este brinde ante la <i>corrosión</i> del <i>sustrato</i> .
Facilidad de aplicación	La facilidad de aplicación de un recubrimiento puede ser una variable muy importante para controlar en algunos proyectos de difícil acceso, cuando el recubrimiento será aplicado a la estructura ya existente o ensamblada. Entre más difícil sea la aplicación más probable es que existan zonas de la superficie del sustrato que no queden protegidas adecuadamente, generando un fallo prematuro del recubrimiento.
Adhesión	Es importante asegurar una adecuada adhesión entre la superficie del sustrato y el recubrimiento. Dependiendo del tipo de recubrimiento aplicado puede que este asegure mayor o menor adhesión al sustrato. Se debe ser cuidadoso de no aplicar un recubrimiento de baja adhesión a una estructura destinada a un ambiente altamente agresivo.
Fuerza de cohesión	Durante el proceso del <i>curado</i> del recubrimiento este se verá sometido a esfuerzos generados por los cambios de temperatura (propios del ambiente o generados por el proceso de <i>curado</i>), así como a cambios de humedad en el ambiente. El recubrimiento debe ser capaz de soportar dichos cambios sin comprometer su futuro comportamiento.
Deformabilidad	En algunas circunstancias puede que el acero se vea sometido a constantes elongaciones y acortamientos (deformaciones). Si el recubrimiento no es capaz de deformarse junto con el acero, o al menos de forma similar, este terminará fallando prematuramente.

Resistencia al impacto	En algunas circunstancias la estructura puede verse sometida de forma constante a fuerzas de impacto. De modo que el recubrimiento debe ser capaz de soportarlas.
Resistencia a la abrasión	En algunas circunstancias, puede la estructura verse sometida a fuertes efectos abrasivos. De modo que el recubrimiento debe ser capaz de soportarlos.
Resistencia a la temperatura	El recubrimiento puede verse sometido a altas variaciones de temperatura las cuales deberá poder resistir.
Fuerza dieléctrica	Si la superficie del sustrato no presenta iones libres esta no entrará en <i>corrosión</i> , aún si entra en contacto con agua y oxígeno.
Orgánico/Inorgánico	Un recubrimiento puede estar hecho en base a un aglutinante orgánico o inorgánico. La principal diferencia es que los recubrimientos orgánicos presentan menor resistencia al calor.

10.1.1. Composición de un recubrimiento de aplicación líquida. Los *recubrimientos* de aplicación líquida están conformados, principalmente por: el vehículo (formado por la resina y el solvente) y el pigmento; ver Figura 2.

Figura 2

Esquema de composición de un recubrimiento.



10.1.1.1. Resina. También conocida como aglutinante. Es la principal encargada de dar estabilidad al *recubrimiento*. Debe pasar de estado líquido a sólido, a ese cambio de estado se le denomina *curado*. Usualmente, los recubrimientos reciben su nombre acorde a la resina en base a la cual están hechos, como, por ejemplo: recubrimiento epóxido, recubrimiento alquídico, recubrimiento acrílico, etc (*NACE International, 2011, págs. 7-2*).

10.1.1.2. Solvente. Dado que la mayoría de las resinas se encuentran en estado sólido a temperatura ambiental es necesario combinarlas con un solvente que las mantenga en estado líquido. Dicho solvente, deberá evaporarse durante el proceso de *curado*. Si se aplica una segunda capa de recubrimiento se debe cuidar que el solvente de dicha capa, de haberlo, no afecte la integridad de la capa previamente aplicada (*NACE International, 2011, págs. 7-3*).

10.1.1.3. Pigmento. Son partículas sólidas de pequeño tamaño que no se disuelven en la mezcla. Su función es aportar diferentes tipos de propiedades al *recubrimiento*.

10.1.1.4. Aditivos. Al recubrimiento final (ver Figura 2) se le pueden adicionar sustancias (*aditivos*) para modificar a voluntad algunas propiedades del recubrimiento.

10.2. Tipos de *recubrimientos de aplicación líquida*

En esta sección se mencionan los tipos más comunes de recubrimientos y se mencionan algunas de sus principales características.

10.2.1. Recubrimiento acrílico. Hecho en base a una resina acrílica. Presentan una alta resistencia a la meteorización y a los efectos de los raios UV, debido a esto son usualmente combinadas con otras resinas para agregar dichas propiedades al *recubrimiento*. Este tipo de *recubrimiento* es utilizado principalmente por razones estéticas, como *acabado*, ya que no presentaba mayores beneficios a la protección contra la *corrosión*. Sin embargo, se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten la producción de *recubrimientos* acrílicos que brindan una buena protección a la *corrosión*. Se debe ser cuidado de no exponer este *recubrimiento* a temperaturas menores a 0 °C ya que esto podría dañar la integridad de este (*NACE International, 2011, págs. 8-5*).

10.2.2. Recubrimiento alquídico. Usualmente están compuestos de una mezcla de aceites secantes¹¹ y resinas sintéticas. Presentan una gran ventaja en la facilidad de aplicación ya que están compuestos por un solo componente. Sin embargo, tienen un elevado tiempo de *curado*. Una importante variación de este tipo de *recubrimiento* son los alquídicos de uretano los cuales presentan una mejora en su resistencia a la abrasión y a la exposición química. A un *recubrimiento* alquídico se le puede adicionar o bien sea una resina epóxica o una silicona, en pequeñas cantidades, para mejorar algunas de sus propiedades según se requiera (NACE International, 2011, págs. 8-6).

10.2.3. Recubrimiento epóxico. Este recubrimiento está conformado por dos componentes. El componente A contiene la resina epóxica y el componente B contiene el convertidor, la sustancia que iniciará la reacción química que generará el *curado*. Este tipo de recubrimiento no posee mucha resistencia a los efectos de los rayos UV por lo que no se suelen usar como *acabados* a no ser que la solicitación a este efecto en la estructura vaya a ser poca. Por otro lado, gracias a su alta resistencia química y excelente adherencia son los más usados como *imprimantes* o *barreras* (NACE International, 2011, págs. 8-7).

10.2.4. Recubrimiento poliuretano. Existen dos tipos de *recubrimientos* poliuretanos, alifáticos y aromáticos. Por un lado, los alifáticos presentan una gran resistencia a los rayos UV, teniendo una excelente retención del color y el brillo. Suelen usarse como *acabados*. Por otro lado, los aromáticos presentan una alta resistencia química pero baja resistencia a los rayos UV (NACE International, 2011, págs. 8-10).

10.2.5. Galvanizado en caliente. Consiste en sumergir los elementos en Zinc fundido. Se caracteriza por brindar altos *EPS*, larga duración y alta protección contra la *corrosión*.

Existen otros tipos de recubrimientos, tales como: uránico, emulsión de látex, fenólico, entre otros. Sin embargo, estos corresponden a aplicaciones más específicas que no son tan usuales.

¹¹ Un aceite secante es un tipo de aceite que al entrar en contacto con el aire se solidifica.

10.3. Métodos de aplicación de *recubrimientos*

10.3.1. Aplicación manual. Esta aplicación se hace mediante herramientas manuales tales como pinceles, brochas y rodillos. Su principal ventaja es que permite el acceso a zonas donde los otros métodos o bien no podrían acceder o se requeriría un gasto excesivo de *recubrimiento* para hacerlo. Sin embargo, este método presenta bajos rendimientos y un acabado poco estético.

10.3.2. Aplicación con chorro de aire. Esta aplicación se hace mediante un equipo que suministra un caudal de aire a presión junto con el *recubrimiento*. Presenta un rendimiento intermedio y genera *espesores de película seca (EPS)* bajos. Por otro lado, presenta el mejor acabado estético, por lo que se suele usar para la capa de *acabado*.

10.3.3. Aplicación con “*airless*”¹². Esta aplicación se hace mediante un equipo que pulveriza el *recubrimiento* sin suministrar caudal de aire, haciendo pasar el fluido a una alta presión por una boquilla de salida de tamaño reducido. Presenta un alto rendimiento de aplicación, altos *EPS* y un acabado estético regular. Ideal para capas de *imprimante* y *barrera*.

10.3.4. Inmersión. Este método es muy común cuando se trata del galvanizado en caliente. En la industria de la fabricación de estructura de acero no es usual con *recubrimientos* convencionales.

10.3.5. Recubrimiento en polvo. En este método el *recubrimiento* se encuentra en forma de polvo, a diferencia de los anteriormente descritos que se encuentra en forma de fluido. Dicho polvo, es suministrado mediante un compresor de aire y se adhiere a la superficie del acero mediante una reacción electromagnética. Posteriormente, el elemento es llevado a un horno donde el polvo es fundido mediante calor. Este método de aplicación de *recubrimiento* presenta múltiples ventajas como por ejemplo una mayor dureza y flexibilidad. Sin embargo, dichas ventajas son usualmente más deseadas en la industria automotriz o similares, de modo que no es común su uso en estructuras metálicas.

¹² Anglicismo. Indica carencia o ausencia de aire.

10.4. Mecanismos de *curado*

Existen diferentes tipos de mecanismos de *curado* y un *recubrimiento* puede verse sometido a uno o varios de estos. Es importante conocer algunas características básicas de dichos mecanismos ya que cada uno puede acarrear diferentes consideraciones durante o posterior al *curado*.

En el caso del galvanizado en caliente (ver Sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) el *curado* se realiza enfriando el elemento previamente sumergido en el zinc fundido. Dicho enfriamiento se puede conseguir sumergiendo el elemento en alguna solución, en agua o simplemente dejándolo al aire libre.

Por otro lado, cuando el *recubrimiento* es aplicado en polvo (ver Sección 10.3.5) el proceso de *curado* se realiza calentando el elemento, junto con el polvo previamente aplicado, en un horno a cierta temperatura y durante cierto tiempo, ambas variables indicadas para el polvo aplicado.

Finalmente, cuando se trata de un recubrimiento de aplicación líquida se pueden tener diversos tipos de *curado*, los cuales se explican a continuación.

10.4.1. Curado no convertible. También conocido como curado termoplástico, se presenta cuando no hay cambios químicos en la resina, es decir, el *curado* se da solamente mediante evaporación del solvente. Se debe tener especial cuidado con los recubrimientos que presentan este mecanismo de *curado* ya que se pueden volver a disolver al entrar en contacto con el solvente original o alguno similar, por lo que no es recomendable aplicar una segunda capa del mismo *recubrimiento*. Los *recubrimientos* con este tipo de *curado* suelen arrojar *EPS* bajos, tener tiempos de secado cortos y requerir de un área ventilada para su *curado* (NACE International, 2011, págs. 8-1).

10.4.2. Curado convertible. También conocido como *curado* termoestable, se presenta cuando hay cambios químicos en la resina, de modo que esta no puede volver a ser disuelta por el solvente original ni similares. Lo anterior no implica que la evaporación del solvente no vaya a presentarse (NACE International, 2011, págs. 8-2). Las reacciones químicas más comunes que se presentan en este mecanismo de *curado* son:

10.4.2.1. Oxidación. El *recubrimiento* reacciona con el oxígeno presente en el aire generando una polimerización. Esto se logra por la presencia de aceites secantes en la resina. Es usual este tipo de reacción en *recubrimientos* alquídicos. Algunas implicaciones de este tipo de reacción son (NACE International, 2011, págs. 8-3):

- Se debe tener cuidado de no aplicar recubrimiento en cantidades excesivas ya que esto podría ocasionar una ineficiente transmisión de la molécula de oxígeno de la superficie a la interfaz entre el *recubrimiento* y el *sustrato* o el *recubrimiento* aplicado con anterioridad. Arrugas en la superficie del *recubrimiento* pueden ser resultado de este inconveniente.
- Presenta un comportamiento inadecuado para la aplicación por inmersión (ver Sección 10.3.4).
- Se debe evitar que se de esta reacción en un ambiente alcalino ya que afecta la integridad de la resina.
- No es adecuado el uso de *recubrimientos* con este tipo de reacción para una capa de *recubrimiento* posterior a un galvanizado en caliente (ver Sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) o una capa de *recubrimientos* inorgánicos de zinc.

10.4.2.2. Co-reacción. Se genera una polimerización¹³ (también conocida como reticulación) entre dos o más entidades químicas. Algunos tipos de *recubrimientos* que suelen presentar este tipo de reacción son epóxicos y poliuretanos (ver Sección 10.2.). Usualmente, estos *recubrimientos* están conformados por dos componentes. Es importante cuidar que la aplicación del *recubrimiento* se realice después del *tiempo de inducción* y no demore más que la *vida útil* de este, ambos periodos de tiempo deben ser indicados en la ficha técnica del *recubrimiento*. Será responsabilidad del ingeniero de calidad velar por que se cumplan dichos periodos de tiempo (NACE International, 2011, págs. 8-3).

¹³ Unión de cadenas de polímeros.

10.4.2.3. Hidratación. Algunos *recubrimientos* requieren cierta cantidad de agua para completar su *curado*, en algunos casos es suficiente con cierto porcentaje de humedad en el aire y en otros el producto contiene el agua necesaria para la reacción. Se debe tener cuidado de no exceder el *EPS* especificado ya que podría afectar la *calidad* del *curado*. Este tipo de reacción puede tener una apariencia seca al poco tiempo de haber aplicado el *recubrimiento* más esto no indica que el *curado* haya finalizado, se debe dejar reposar la reacción antes de aplicar una nueva capa (NACE International, 2011, págs. 8-4).

10.4.2.4. Fusión. Se genera una polimerización del *recubrimiento* mediante la aplicación de calor. Se puede dar tanto con *recubrimientos* de un solo componente como de dos.

10.5. Control de calidad en aplicación de recubrimientos

10.5.1. Planeación del sistema de recubrimientos. Los *documentos contractuales* deben establecer las especificaciones del *sistema de recubrimientos*. En algunas ocasiones, puede que el *cliente* no haya elegido un *sistema de recubrimientos*, de modo que será responsabilidad del ingeniero de calidad ofrecer las opciones disponibles acorde a las condiciones ambientales y la durabilidad deseada. Esto lo puede hacer en base a las recomendaciones del estándar UNE-EN ISO 12944-5 y en la guía 5 del ICCA. Cuando los *documentos contractuales* si especifiquen un *sistema de recubrimientos* el ingeniero de calidad deberá revisar que este cumpla con las expectativas del *cliente* o en caso contrario hacer las observaciones pertinentes. En el *procedimiento* SIG-GP-PRC-019 se describe el paso a paso a realizar para la planificación de la aplicación de los *recubrimientos*, ver Anexo 10.

10.5.2. Aplicación. Para la aplicación de un *lote* de recubrimientos es necesario corroborar si las condiciones ambientales que se tienen en la planta de fabricación son aptas para la aplicación. Adicionalmente, se deberá determinar la cantidad de *recubrimiento* a preparar, en especial si es un *recubrimiento* de reacción tipo co-reacción, para evitar excedentes no recuperables una vez finalizada la aplicación. Adicionalmente, se deben considerar las precauciones, de haberlas, específicas del recubrimiento a aplicar identificadas en la Planeación del sistema de recubrimientos. En el *procedimiento* SIG-GP-PRC-017 se describe el paso a paso a realizar para la aplicación de los *recubrimientos*, ver Anexo 8.

10.5.3. Revisión. Se deberá realizar la revisión o inspección del recubrimiento una vez este haya culminado su *curado*. Los ensayos por realizar se determinaron en el paso de Planeación del sistema de recubrimientos.

11. Ejecución de juntas apernadas

Para la adecuada ejecución de juntas apernadas, independiente de si son realizadas en obra o en taller, se debe identificar el tipo de junta (unión simplemente apertada, unión pretensionada o unión a deslizamiento crítico), el diámetro de los pernos y demás criterios necesarios para la fabricación de estas. Dicha información se deberá encontrar en los *documentos contractuales*, de lo contrario deberá ser solicitada al *cliente*.

Una vez obtenidos los parámetros para la ejecución de la junta apernada se debe identificar el método de ajuste de los pernos¹⁴. Este será seleccionado por la empresa a conveniencia de esta, a menos que los *documentos contractuales* especifiquen el método de ajuste a emplear. Teniendo el método de ajuste a emplear se deberá establecer el estándar o la especificación que determinará los criterios de ejecución e inspección de dicho método. Por defecto, la empresa se acogerá a lo establecido por la *RCSC*, a menos que los *documentos contractuales* especifiquen lo contrario.

Durante la ejecución de la junta, si esta es ejecutada en la planta de fabricación, el ingeniero de calidad deberá supervisar que se cumplan los parámetros establecidos. En caso de que la junta sea ejecutada en obra esta responsabilidad recaerá en el ingeniero residente de esta. En ambos casos, se debe seguir el procedimiento SIG-GP-PRC-023, ver Anexo 14, y diligenciar el Formato SIG-GP-F-217.

12. Control de calidad

En las secciones anteriores se han descrito y contextualizado los diferentes parámetros que afectan la *calidad* de cada uno de los procesos de fabricación. En la presente sección se presentan requisitos generales del *control de calidad* que afectan a más de un proceso de fabricación, a todos o a ninguno al tratarse de requisitos administrativos.

¹⁴ Nótese que puede usarse diferentes métodos de ajuste para las diferentes juntas apernadas de un mismo proyecto.

12.1. Integración del control de calidad y la metodología BIM

Cuando se realice el *modelado* del proyecto, se integrará el *control de calidad* con el software Tekla. Para ello se programaron unos atributos definidos por usuario (ADU) para *partes*, pernos y soldaduras. Los cuales se deberán emplear como sigue:

12.1.1. ADUs para partes. El cuadro de dialogo de estos ADU se observa en la Figura 3.

12.1.1.1. Estado {1}. Campo tipo lista que permite establecer en qué estado de fabricación se encuentra la *parte*, con el objetivo de llevar un seguimiento del avance de los *procesos operativos* y estado actual del proyecto. Los estados programados son: NoIniciado, Cortado, Perforado, Armado, Soldado¹⁵, Pintado1 (*imprimante*), Pintado2 (*barrera*), Pintado3 (*acabado*) y Entregado (enviado a obra, *conjunto* ya no disponible en taller). Finalmente, se configura una Representación de vista basada en este ADU de modo que se pueda tener una rápida representación visual del avance del proyecto, en la Figura 6 se observa la relación entre los estados configurados y los colores que los representan.

12.1.1.2. Detallado {2}. Este ADU permite llevar un control de avances al *detallado* del *modelo*. Solo dispone de dos opciones: Si y No; para establecer si una *parte* o *conjunto* fue ya *detallado* o no.

12.1.1.3. Prep. Superficie {3}. Permite, para cada *parte*, establecer la preparación de superficie que, acorde a los *documentos contractuales*, esta requiere. Este ADU está configurado según los estándares de preparación de superficie del SSPC, ya que estos son los más comunes. En caso de que en algún proyecto se realice la preparación de superficie en base a algún otro estándar se tendrá que configurar este en el ADU.

12.1.1.4. Imprimante {4}, Barrera {6}, Acabado {8}. Estos ADUs están pensados para ser campos de texto donde se coloque el nombre del *recubrimiento* empleado para cada una de las respectivas capas del *sistema de recubrimientos*.

¹⁵ Debido a que las juntas soldadas son mas comunes en taller ese campo se nombro de esa manera. Pero de manera general se puede tomar el campo como “unión ejecutada”, es decir, que ya ha sido aprobado el armado y por consiguiente la junta, soldada o apernada, fue realizada en su completitud.

12.1.1.5. R. Imprimando {5}, R. Barrera {7}, R. Acabado {9}. Campos numéricos donde se coloca el rendimiento real¹⁶ de cada uno de los *recubrimientos* empleados para cada una de las respectivas capas del *sistema de recubrimientos*. Nótese, que a cada *parte* se les puede colocar un rendimiento diferente, a pesar de que se les aplique el mismo *recubrimiento*, esto se debe a que en algunos casos el factor de eficiencia varía para diferentes elementos dentro de un mismo proyecto.

12.1.1.6. Código interno {10}. Campo de texto en el cual se puede almacenar el código interno del elemento. Se deberá digitar en este campo tanto el prefijo del código interno como el número de este. Por ejemplo, si la *parte* es un perfil, lo que se deberá almacenar en este campo es algo como: “PF-003”. Si es una lámina o platina se sigue la misma filosofía cambiando el prefijo por “LM”, acorde a lo establecido en el *procedimiento* SIG-GP-PRC-013, ver Anexo 4.

12.1.2. ADUs para tornillos. El cuadro de dialogo de estos atributos se observa en la Figura 4.

12.1.2.1. Num. Cod. Int. Perno/Tuerca/Arandela TOR- {1} / {2} / {3}. Estos ADUs son campos numéricos para colocar el número del código interno de los pernos, tuercas y arandelas respectivamente. Es decir, no se debe colocar el prefijo del código interno, por ejemplo, si un lote de pernos tiene como código interno “TOR-005” el valor a ingresar es “005”. En caso de que un conjunto de pernos no requiera arandela en el campo correspondiente se deberá colocar “000”.

12.1.2.2. Tipo de ajuste {4}. Este ADU permite seleccionar el tipo de ajuste que requiere la unión apernada, permite seleccionar entre: “Simple”, “Pretencionado” y “Deslizamiento crítico”.

¹⁶ Los *recubrimientos* tienen un rendimiento teórico el cual depende del porcentaje de sólidos del *recubrimiento* y del *EPS* requerido. Sin embargo, estos rendimientos teóricos se deben afectar por un factor de eficiencia (F_{ef}) el cual dependerá de diferentes variables tales como el método de aplicación del *recubrimiento*, condiciones ambientales, tamaño de elementos, entre otros. El ADU está pensado para que en el se coloque el rendimiento teórico afectado por el factor de eficiencia, entendiéndose esta cantidad como el rendimiento real.

12.1.2.3. Parámetros tipo de ajuste. Es un campo de texto destinado a colocar información resumida de los parámetros del tipo y método de ajuste de la unión apernada. Por ejemplo, si el método de ajuste es giro de tuerca, entonces en este campo se deberá ingresar el giro de tuerca que se debe generar más allá de la condición simplemente apretada, siendo esto algo como: “1/3 de giro”. Se debe procurar llevar la misma convención para este campo en un mismo *modelo*.

12.1.3. ADUs para soldaduras. El cuadro de dialogo para estos atributos se observa en la Figura 5.

12.1.3.1. Num. Cod. Int. Electrodo/Gas Prot. SOL- {1}/ {2}. Campos numéricos para colocar el número del código interno del electrodo y gas de protección usados en la soldadura, respectivamente. No se debe colocar el prefijo del código interno, por ejemplo, si un electrodo tiene como código interno “SOL-012” entonces el valor a ingresar en este campo es “012”.

12.1.3.2. Fecha de ejecución {3}. Campo de fecha simple, dispuesto para ingresar la fecha de ejecución de la soldadura.

12.1.3.3. Cod. WPS {4}. Campo de texto destinado a almacenar el código interno de identificación de la WPS a partir de la cual se elaboró la junta soldada.

12.1.3.4. Metal de aporte {5}. Campo de texto destinado a almacenar la especificación del metal de aporte usado.

12.1.3.5. Numero de pases {6}. Campo numérico destinado a almacenar el número de pases que ejecuto el soldador para realizar la junta soldada.

12.1.3.6. Estampe de soldador {7}. Campo de texto destinado a almacenar el código interno o estampe asignado a cada soldador que lo relaciona con su respectivo WPQ.

Figura 3

ADU para partes

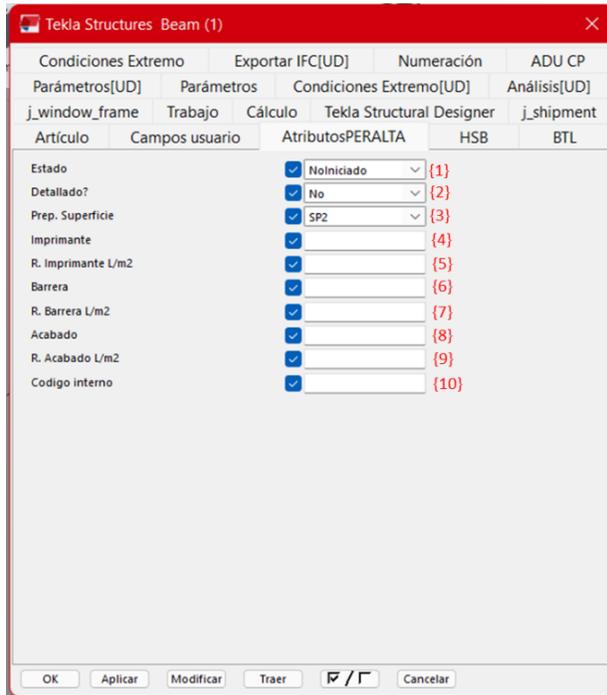


Figura 4

ADU para tornillos

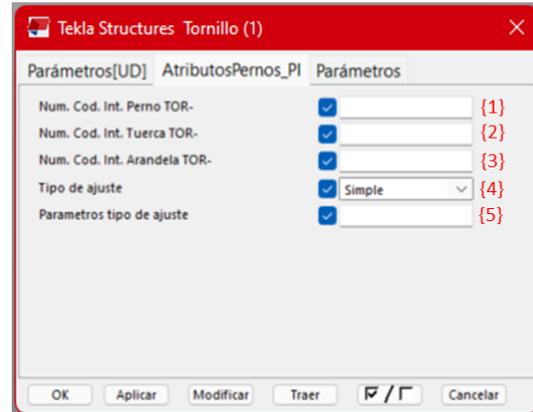


Figura 5

ADU para soldaduras

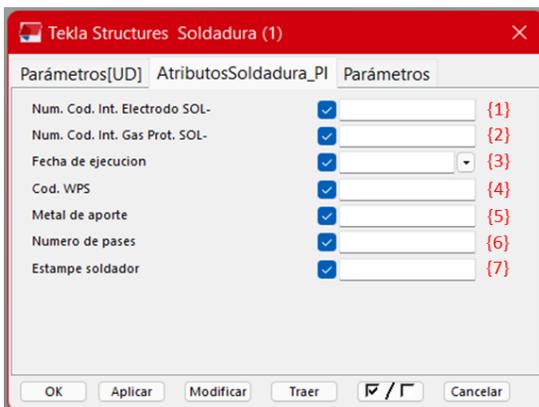


Figura 6

Representación de Estado por color

No	ESTADO	REPRESENTACIÓN
0	No iniciado	
1	Corte	
2	Perforación	
3	Armado	
4	Resoldado	
5	Pintado 1	
6	Pintado 2	
7	Pintado 3	
8	Entregado	

12.2. Almacenamiento de registros físicos

Todo registro o documento físico que se disponga relacionado al *control de calidad* deberá ser almacenado en una carpeta agrupados por el proyecto al que correspondan.

12.3. Plan de calidad

Cuando el *cliente* lo solicite, se debe suministrar un plan de calidad. Este documento debe especificar por etapas de construcción que controles se van a realizar y con que frecuencia o cantidad y la *evidencia objetiva* que se obtendrá y suministrará de cada uno de estos. Deberá ser revisado, aprobado y firmado por el *cliente* y la interventoría, cuando esta aplique. Deberá contener, como mínimo:

- Alcance del documento
- Objetivos del documento
- Compromiso de la empresa
- Responsables
- Descripción y alcance del proyecto
- Protocolo de inspección
- Control de cambios del documento

12.4. Dossier de calidad

El Dossier (de calidad) es el conjunto de documentos, adecuadamente organizados, relacionados con el *control de calidad* de la fabricación que son suministrados por la empresa al *cliente*. Estos documentos servirán como *evidencia objetiva* de los controles realizados por la empresa. Este deberá contener, como mínimo, lo que sigue:

12.4.1. *Control de calidad de materiales.* Comprende, como mínimo:

12.4.1.1. *Recepción de materia prima.* Debe contener el Formato SIG-GP-F-206, diligenciado en formato PDF.

12.4.1.2. Certificados de calidad de materiales. Debe contener los *certificados de calidad de la materia prima* adquirida para el proyecto. Estos deberán estar organizados de modo que en cada carpeta se disponga de los certificados con el mismo prefijo de código interno acorde al *Procedimiento SIG-GP-PRC-013*, ver Anexo 4. Finalmente, cada certificado debe estar en formato PDF y su nombre debe ser el código interno de la materia prima a la cual hace referencia.

12.4.1.3. Trazabilidad de materia prima. Debe contener un informe de la *trazabilidad de la materia prima*.

12.4.2. Control dimensional. Debe contener el Formato SIG-GP-F-207, del *control dimensional*, diligenciado y en formato PDF. Así mismo, debe contener los *planos de taller* que fueron aprobados por el *cliente*.

12.4.3. Control de calidad de juntas soldadas. Comprende, como mínimo:

12.4.3.1. WPS. Contiene todas las WPS utilizadas para la ejecución de las juntas soldadas del proyecto.

12.4.3.2. PQR. Contiene todos los PQR necesarios para la calificación de las WPS, que lo requieran, utilizadas en el proyecto.

12.4.3.3. WPQ. Debe contener todos los WPQ utilizados para la ejecución del proyecto.

12.4.3.4. Control de ejecución de juntas soldadas. Debe contener los Formatos SIG-GP-F-216, del control de ejecución de soldadura, diligenciados y en PDF.

12.4.3.5. Informes de NDE. Debe contener informes de los resultados de los NDE realizados, en formato PDF.

12.4.3.6. Certificados de inspectores. En caso de que los NDE hayan sido realizados por un inspector calificado para tales fines la certificación de este deberá ir incluida, así como su hoja de vida.

12.4.4. Control de calidad de recubrimientos. En esta carpeta se incluye todo lo relacionado con limpieza de superficie y aplicación de *recubrimientos*. Comprende, como mínimo:

12.4.4.1. Formato de ejecución de recubrimientos. Debe contener el Formato SIG-GP-F-213, de la ejecución de *recubrimientos*. Este incluye la información de la medición de perfil de anclaje, *EPS* y ejecución de prueba de adherencia. Si los *documentos contractuales* solicitan algún otro ensayo deberá contener el informe de resultados de este.

12.4.4.2. Evidencia fotográfica. Debe contener evidencia fotográfica de la limpieza de superficie, de la aplicación de *recubrimientos*, de la medición del perfil de anclaje, de la medición de *EPS* y de ejecución de ensayos de adherencia. Si los *documentos contractuales* exigen algún otro ensayo o control se deberá suministrar evidencia fotográfica de este. La evidencia fotográfica no debe ser del 100% de los ensayos realizados.

12.4.4.3. Certificación de inspector. Debe contener la certificación del inspector de recubrimientos, si los *documentos contractuales* así lo solicitan.

12.4.5. Procedimientos. Debe contener los *procedimientos* documentados a partir de los cuales se ejecutaron los procesos de fabricación y los controles relacionados.

12.4.6. Plan de calidad. Debe contener el plan de calidad del proyecto, cuando este sea solicitado por el *cliente*, aprobado y firmado por el *cliente* y la interventoría, cuando esta aplique.

13. Certificación de calidad de fabricación del AISC

El AISC dispone de varios programas de certificación de calidad para fabricantes, dependiendo del tipo de estructura o componentes, algunos de esos son:

- Certificación de calidad en fabricación de edificios.
- Certificación de calidad en fabricación de puentes sencillos.
- Certificación de calidad en fabricación de puentes intermedios.
- Certificación de calidad en fabricación de puentes avanzados.
- Certificación de calidad en montaje.

Dichos programas están regidos por lo establecido en el “Estándar para programas de certificación” (Standard for Certification Programs) del AISC. En dicho documento se dispone de requisitos

generales para todos los programas de certificación en el primer capítulo y posteriormente, se mencionan los requisitos específicos de cada programa de certificación en cada capítulo.

En el primer capítulo se encuentran los requisitos generales que debe cumplir el *sistema de gestión de calidad* de la empresa, así como los requisitos para al *aseguramiento de calidad* (QA) y para el *control de calidad* (QC). Además, dispone de los diferentes *procedimientos documentados* que, como mínimo, debe disponer la empresa para cualquier certificación. En la Tabla 3 se lista el resumen de dichos *procedimientos* mencionados, cuales tiene desarrollados la empresa y su respectivo código; y cuales hacen falta por desarrollar.

Adicionalmente, dicho capítulo establece que la empresa debe tener un *manual de calidad* el cual debe contener la política de *calidad* de la empresa, describir el *sistema de gestión de calidad* y referenciar, como anexos, los diferentes *procedimientos documentados* con los cuales cuente la empresa. El presente documento, si bien no cumple con la totalidad de requisitos del *manual de calidad* descrito en el estándar del AISC, si representa las bases para el desarrollo de este a futuro.

Tabla 3

Resumen de *procedimientos* capítulo 1 del estándar de programas de calificación.

PROCEDIMIENTO	SECCIÓN	REALIZADO	FALTANTE	PROCEDIMIENTO
REVISIÓN DE DOCUMENTOS CONTRACTUALES	1.6.	X		SIG-GP-PRC-011
ESTÁNDAR DE DETALLADO	1.7.1		X	
DOCUMENTACIÓN DIGITAL PRODUCIDA	1.7.1.1		X	
CHEQUEO DE DETALLADO	1.7.2	X		SIG-GP-PRC-012
APROBACIÓN DEL CLIENTE DEL DETALLADO	1.7.3		X	
REVISIÓN DE DETALLADO EXTERNO	1.7.4		X	

GESTIÓN DE DOCUMENTOS DE SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD	1.8.1		X	
REVISIÓN Y APROBACIÓN DE DOCUMENTOS DE SISTEMA DE CALIDAD	1.8.1.2		X	
GESTIÓN DE DOCUMENTOS DEL PROYECTO	1.8.2		X	
REVISIÓN Y APROBACIÓN DE DOCUMENTOS DEL PROYECTO	1.8.2.2		X	
REGISTROS DE CALIDAD	1.9.		X	
RETENCIÓN DE CALIDAD	1.9.1		X	
GESTIÓN DE ADQUISICIONES	1.10.	X		SIG-GP-PRC-013
SELECCIÓN DE SUBCONTRATISTAS Y PROVEEDORES	1.10.2		X	
CONTROL DE ADQUISICIONES	1.10.3		X	
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL	1.11.	X		SIG-GP-PRC-013
CONTROL DE PROCESOS	1.12.		X	
PROCESO DE SOLDADURA	1.12.1	X		SIG-GP-PRC-015
INSTALACIÓN DE PERNOS	1.12.2	X		SIG-GP-PRC-09
LIMPIEZA DE SUPERFICIE	1.12.3	X		SIG-GP-PRC-018
APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS	1.12.4	X		SIG-GP-PRC-019 SIG-GP-PRC-020

MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	1.12.5	X
INSPECCIONES Y ENSAYOS	1.13.	X
CALIBRACIÓN DE EQUIPO DE INSPECCIÓN. MEDICIÓN Y ENSAYADO.	1.14.	X
CONTROL DE SALIDAS NO CONFORMES	1.15.	X
ACCIONES CORRECTIVAS	1.16.	X
MANEJO. ALMACENAMIENTO Y ENTREGA DE MATERIALES. TRABAJO FABRICADO Y COMPONENTES	1.17.	X
ENTRENAMIENTO	1.18.	X
AUDITORIA INTERNA	1.19.	X

Conclusiones

Es indispensable realizar un adecuado control de calidad a los diferentes procesos de *fabricación*, de los elementos que componen una estructura metálica, de modo que se pueda asegurar que esta tendrá el comportamiento estructural, térmico y estético, entre otros, esperado. En el presente documento dichos procesos de fabricación se clasificaron en procesos de planificación, corte y perforado, armado, soldado, preparación de superficie, aplicación de recubrimientos, ejecución de juntas apernadas y, como proceso adyacente a los anteriormente mencionados, el control de calidad.

Los procesos de planificación juegan un papel muy importante en la fabricación ya que, entre otras cosas, definen como esta será realizada. El principal objetivo de estos procesos es el de asegurar que la comunicación entre la empresa y el *cliente* ha sido efectiva, que la primera ha entendido las necesidades del segundo y este, a su vez, ha expresado la totalidad de requerimientos necesarios para satisfacer sus necesidades. Lo anterior se consigue mediante una adecuada revisión de los *documentos contractuales*, del *modelado* y del *detallado*. Dándose por terminada dicha revisión al recibir la aprobación del *cliente* conforme al *detallado*.

Cumplido el proceso de planificación, se pueden iniciar los *procesos operativos*. No existe un orden específico para dichos procesos, este dependerá de las necesidades de cada proyecto. Sin embargo, lo más usual es que se inicie con el corte y perforado, se siga con el armado, la ejecución de juntas (usualmente soldadas), la preparación de superficie y la aplicación de *recubrimientos*.

Los procesos de corte, perforado y armado están relacionados con la geometría esperada de la estructura. Dicha geometría se ve plasmada en los *planos de taller* los cuales darán las pautas para realizar dichos procesos. Debido a lo anterior, el único control necesario para estos procesos es el *control dimensional*, el cual corresponderá a una exhaustiva revisión de la geometría de las *partes* y *conjuntos*, con el objetivo de verificar que esta coincide con lo consignado en los *planos de taller*.

La ejecución de juntas, unión entre dos o más *partes* formando un *conjunto*, se divide en dos clases, juntas soldadas y juntas apernadas, siendo más usual de realizar en taller de fabricación la primera. Independiente del tipo de junta, es muy importante tener certeza de que esta fue realizada adecuadamente, ya que de lo contrario podría llegar incluso a generar el fallo de la estructura. Por esto, existen diferentes guías, estándares y normativas que establecen los requisitos mínimos para

asegurar la calidad de la junta. Los más utilizados son los establecidos por la *AWS* y por la *RSCS*, para juntas soldadas y apernadas, respectivamente.

Adicionalmente, debido a que el acero es un material muy susceptible a las condiciones ambientales en las que se encuentra es necesario brindarle una adecuada protección para así aumentar su durabilidad. Para esto, se realizan los procesos de preparación de superficie y aplicación de *recubrimientos*, donde el primero permite remover impurezas y suciedades presentes en la superficie del material y, dependiendo del estándar de preparación usado, generar un perfil de anclaje que permitirá una adecuada adherencia del *recubrimiento*. El segundo, suministrará a la superficie del material capas protectoras, de modo que no solo la superficie ya no estará en contacto con el ambiente, sino que también dichas capas generarán protección extra, gracias a sus diferentes propiedades.

En el presente documento, se establecieron los diferentes controles que la empresa PERALTA INGENIERÍA S.A.S realiza para cada uno de estos procesos y así poder asegurar la calidad de su *fabricación*. Cada uno de los controles que se realizan fueron relacionados con sus respectivos *procedimientos* que presentan las pautas necesarias para realizar adecuadamente cada control.

Finalmente, en la sección de control de calidad, se mencionan los requisitos administrativos y procesamiento de datos de los diferentes registros obtenidos en los diferentes controles realizados en función de poder entregar al *cliente evidencia objetiva* de que se cumplieron los objetivos de calidad.

Bibliografía

AISC. (2020). Standard for Certification Programs.

ASTM. (2011). *Standard Test Methods for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel*.

AWS. (2010). *Standard Welding Terms and Definitions*.

Dahlgaard, J. J., Kristensen, K., & Kanji, G. K. (1998). *Fundamentals of Total Quality Management*. London: Taylor & Francis.

ICONTEC. (2021). *NTC 5832*.

NACE International. (2002). *Field Measurement of Surface Profile of Blaste Cleaned Steel, Replica Tape*.

NACE International. (2011). Coating Inspector Program, Level 1. Student Manual.

Shewhart, W. (2015). *Economic Control of Manufactured Product*. Eastford: Martino Fine Books.

SSPC. (2000). *Painting manual, Volume 2. Systems and Specifications*. Pittsburgh.