



CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS EN LA ESTRUCTURA DE AUTOBUSES

MODALIDAD DE TITULACIÓN:

“TESINA”

NOMBRE DEL ALUMNO: ALEJANDRO CÉSAR CISNEROS

NÚMERO DE CUENTA: 302045727

CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL

ASESOR: ANN GODELIEVE WELLENS PURNAL

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTOS

A mi alma máter la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de aprender en sus aulas y proporcionarme las herramientas necesarias para enfrentar los retos profesionales dentro de la industria.

A mi querida facultad, quien junto con sus profesores, asesores, personal de laboratorios y especialistas, fortalecieron valores importantes en mí como la responsabilidad social, ética profesional, honestidad, solidaridad y trabajo en equipo.

A mi directora de tesis Ann Godelieve Wellens Purnal, quien con su paciencia, conocimiento y humildad hizo posible la finalización de este trabajo; Al equipo de sinodales, que sin sus consejos y observaciones no hubiera culminado el trabajo que ahora presento.

Gracias UNAM, siempre representare de la mejor manera la calidad de institución que tienes.

¡¡MÉXICO, PUMAS, UNIVERSIDAD!!!!

¡GOYA! ¡GOYA!

¡CACHUN, CACHUN, RA, RA!

¡CACHUN, CACHUN, RA, RA!

¡GOYA!

¡¡UNIVERSIDAD!!

DEDICATORIAS

Con todo mi cariño para mis padres Angélica Cisneros Reyes y Anselmo César Ayala, por confiar en mí, guiarme al éxito y estar pendiente de cada etapa de mi vida, los amo mucho.

A mis hermanas Elizabeth y Norma Angélica, que siempre estuvieron orgullosas de mí, me apoyaron y dieron ánimos, las amo.

A mis abuelos Margarita Ayala y Vicente César, por sus palabras de aliento y cariño a lo largo de mi vida, gracias por consentirme siempre los amo.

Agradezco a mis tíos paternos y maternos, por siempre estar pendiente de mi trayectoria, servirme de ejemplo y alentarme en todo momento.

A mis amigos de primer semestre de carrera, siempre recordare todo lo que pasamos juntos, gracias, Alejandro, José, Erick, Jorge, Fernanda Jonathan y sobre todo a mi mejor amigo Alan.

A mis amigos del famoso grupo “La patrulla B”, excelentes personas, Alejandro (Zoeck), Daniel (Tacho), Víctor (Pulks), Eduardo (Blest), Eduardo (Cometa), Aldo, Julio, Miguel (Mike) y los que faltan, muchas gracias siempre ha sido un honor conocerles.

Me resta darle las gracias al amor de mi vida Nelly Irais, por siempre ser mi apoyo, mi ejemplo y mi guía; eres mi razón de ser y mi motivación para triunfar en cada paso que doy, gracias por compartir y ser parte de este paso en mi carrera, TE AMO, MI SIRENITA.

Índice

INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVO	7
CAPÍTULO I: VOLVO BUSES DE MEXICO	8
1.1 <i>Historia y mercado</i>	8
1.2 <i>Visión estratégica</i>	9
1.3 <i>Organización de la empresa y el departamento de calidad</i>	9
1.4 <i>Trayectoria en Volvo</i>	12
1.5 <i>Conocimientos aplicados en la empresa</i>	14
CAPÍTULO II: ÁREA DE ESTRUCTURAS	16
2.1 <i>Estructuras</i>	16
2.2 <i>Situación inicial</i>	17
2.3 <i>El costo del incumplimiento</i>	19
CAPITULO III: ESTABLECIENDO UN SISTEMA DE MEJORA EN EL PROCESO DE SOLDADURA	22
3.1 <i>Control de defectos</i>	22
3.2 <i>Organización y acuerdos</i>	25
3.3 <i>Medir y estratificar</i>	26
3.4 <i>Análisis de las estaciones de trabajo</i>	29
3.5 <i>Estudiando los tipos de defectos</i>	30
3.6 <i>Análisis de las causas del chisporroteo</i>	32
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LAS CAUSAS PARA LA NO CONFORMIDAD	34
4.1 <i>Los materiales como causa principal del chisporroteo</i>	34
4.1.1 <i>Materiales de aporte</i>	35
4.1.2 <i>Combinación de materiales base</i>	36
4.2 <i>Los métodos como causa principal del chisporroteo</i>	43
4.2.1 <i>Técnicas de soldeo</i>	43
4.2.2 <i>Información técnica para el proceso</i>	45
4.3 <i>La maquinaria como causa principal del chisporroteo</i>	47
4.4 <i>La mano de obra como causa principal del chisporroteo</i>	49
4.4.1 <i>Falta de capacitación al soldador en Volvo</i>	49

<i>4.4.2 Proceso de selección</i>	50
<i>4.5 Las medidas como causa principal del chisporroteo</i>	51
<i>4.6 El medio ambiente como causa principal del chisporroteo</i>	53
CAPÍTULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACION Y ESTUDIO	55
<i>5.1 La administración de los defectos</i>	55
<i>5.2 Análisis del resultado de las causas estudiadas</i>	56
CONCLUSIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	60

INTRODUCCIÓN

La competencia por ofrecer servicios y productos que satisfagan las necesidades de cualquier mercado, hoy en día ha requerido de las empresas inversiones en tecnología y personal más calificado; sin embargo, invertir en un capital humano calificado y tecnología de vanguardia no es una fórmula garantizada de éxito, porque las empresas no solamente constan de personal y tecnología, sino también de objetivos administrativos, especificaciones técnicas, procesos productivos y de inspección, materia prima y el servicio post-venta. Sin tomar en cuenta estos otros factores, ninguna empresa podrá funcionar eficientemente.

Las empresas automotrices en la actualidad cuentan con la tecnología y procesos más avanzados en el ámbito productivo, esto para asegurar al cliente la rentabilidad del producto que obtiene. Las nuevas implementaciones en los métodos productivos y administrativos no tendrán impacto en el producto si no se mide la efectividad de los mismos. Esto en ocasiones representa el principal problema de los sistemas productivos y llega a ser frustrante para los encargados.

Un área productiva con necesidades especiales es la de los autobuses; por un lado tienen un costo de adquisición considerable para los clientes ocasionales (por ejemplo empresas de transporte de personal, estudiantil o turismo), y por otro lado es un producto que se manufactura de forma artesanal, porque su relativamente bajo volumen de venta no justifica la adquisición de equipo automatizado para su producción. Cuando se me presentó la oportunidad de complementar mis estudios de ingeniería con una estancia como practicante en Volvo, que es uno de las tres mayores productores de autobuses en México, y después de conocer más a fondo los procesos y ver que varias fallas se debían a una inadecuada organización dentro de la planta, me surgió la inquietud de desarrollar la mejora de algunos de los procesos para evaluar el tipo y la magnitud de los defectos observados, y así proponer posibles soluciones. Considerando que los procesos artesanales generan altos costos de producción es importante reducir o eliminar los retrabajos durante el proceso, para asegurar un margen de utilidad.

Considerando que el área de soldadura ha recibido históricamente más quejas por parte de los clientes, este trabajo se enfocará en realizar un análisis de los defectos identificados en este proceso; se delimitarán las áreas de mayor impacto y se propondrán soluciones a las posibles causas de los defectos. Esto con el propósito de reducir los retrabajos correspondientes.

En el siguiente trabajo el lector podrá conocer las generalidades de la empresa de estudio, las actividades existentes del área de calidad, así como las que se vislumbran para el futuro. Se presentará la implementación de algunas herramientas para la solución de problemas, la evaluación de calidad en el proceso de soldadura y el procedimiento para las pruebas no destructivas propuestas como resultado de este trabajo.

OBJETIVO

El objetivo de este informe profesional es identificar los defectos que surgen en los procesos de soldadura en Volvo así como llevar a cabo, de forma sistemática, la mejora en calidad de los autobuses a través de herramientas de calidad seleccionadas.

Metas

- Identificar los defectos más comunes en el proceso de soldadura para la producción de autobuses, así como ver cuál o cuáles de ellos impactan más en la calidad del producto final.
- Determinación del impacto económico de la falla más relevante.
- Análisis del proceso actual y generación de los diagramas de flujo correspondientes al proceso.
- Determinación del área de producción en donde ocurre la falla más recurrente.
- Revisión de las especificaciones técnicas del proceso de soldadura.
- Aplicación de una lluvia de ideas para detectar las causas posibles de la falla más repetitiva.
- Elaboración de un diagrama de Ishikawa, conjuntamente con el equipo técnico, para resumir la información hallada en el punto anterior.
- Generar propuestas para dar solución a las causas resultantes de los defectos.
- Realizar el análisis de las mejoras que se realizaron al proceso de soldadura mediante este trabajo.

CAPÍTULO I: VOLVO BUSES DE MEXICO

El nombre de la empresa donde se lleva a cabo el siguiente trabajo es: Volvo Buses de México S.A. de C.V. ubicada en Lago de Guadalupe No. 289, Ex Rancho la Cadena, Tultitlan Estado de México, C.P. 54900.

1.1 Historia y mercado

La empresa Volvo Buses de México vio sus inicios en el año de 1998 tras la adquisición de MASA (Mexicana de autobuses); la tecnología y modelos de primera línea fueron surgiendo en la empresa, lo que representó positivamente un aumento en la cantidad de clientes a lo largo de la República Mexicana, Latinoamérica y América del Norte, la figura 1.1 muestra los modelos de la marca.



Figura 1.1 Volvo Buses México. (2012). Recuperado de <http://www.autotransporte.mx/wp-content/uploads/2012/01/01-01.jpg>

Los modelos más importantes con que Volvo cuenta son el 9700 y 9700 US/CAN; este último con certificación DOT (Department of Transportation), la cual garantiza que las normas de construcción son las requeridas para circular en Estados Unidos y Canadá; el modelo 9700 es el modelo más vendido por la empresa actualmente, tomando gran parte del mercado foráneo mexicano.

Un modelo popular de la marca es el 7300 en sus dos variantes: articulado y biarticulado. Este es uno de los modelos que la capital del país adoptó en su corredor más importante como medio de transporte masivo (Metrobus®).

El modelo 8300 es una de las opciones urbanas, con propiedades similares a uno con orientación ejecutiva; otros autobuses urbanos con plataforma baja, que contribuye con la comodidad y accesibilidad del pasajero, es ofrecido en dos variantes: Access y Procity.

Algunos de los principales clientes de Volvo son: ADO (Autobuses de Oriente), ETN (Enlaces Terrestres Nacionales), Estrella Blanca, Prevost, GDF (Gobierno del Distrito Federal), empresas de

transportes turísticos, equipos de futbol como Cruz Azul, Guadalajara, grupos musicales y cantantes.

1.2 Visión estratégica

Volvo busca involucrar al personal operativo en la experiencia total del cliente, para ello invita a desarrollar operaciones sin defectos, demoras o inconformidades, que generen al pasajero una mala experiencia de viaje; por ello la importancia de una estrategia clara y alcanzable, como guía de los esfuerzos del personal es muy importante.

Misión

Ser la opción de transporte que cumpla con las necesidades de movilidad de la sociedad, su seguridad y el cuidado del medio ambiente.

Visión

- Ser el primer proveedor de transporte foráneo para el año 2020.
- Superar la presencia en el mercado de autobuses foráneos de un 40% a 60% en comparación con sus principales competidores para el año 2020.
- Elevar la presencia en el mercado de autobuses urbanos un 20% para el año 2015.
- Elevar la presencia al 95% total en Metrobús para el año 2015.

Valores

- Enfoque al cliente.
- Cuidado al medio ambiente.
- Cuidado en la seguridad del usuario.
- Energía.
- Pasión.
- Respeto por el individuo.

1.3 Organización de la empresa y el departamento de calidad

Para Volvo Buses México es importante establecer una situación ganar-ganar con sus clientes, por eso es fundamental cumplir con los estándares y las demandas del mercado actual; en la empresa Volvo, la división de las diversas áreas de manufactura y sus actividades se da con el fin de optimizar tanto recursos como espacio físico, esto significa cumplir en tiempo y forma con cualquier cambio que el cliente requiera, teniendo identificadas las áreas de ensamble y responsables de las adaptaciones del cliente.

La figura 1.2 muestra la organización productiva de la empresa y el flujo con que se producen autobuses; aquí es importante mencionar que el desarrollo de este trabajo se focaliza en la zona de estructuras, la cual tiene como principal responsabilidad los procesos de soldadura, unión de chasis y carrocería de los autobuses.

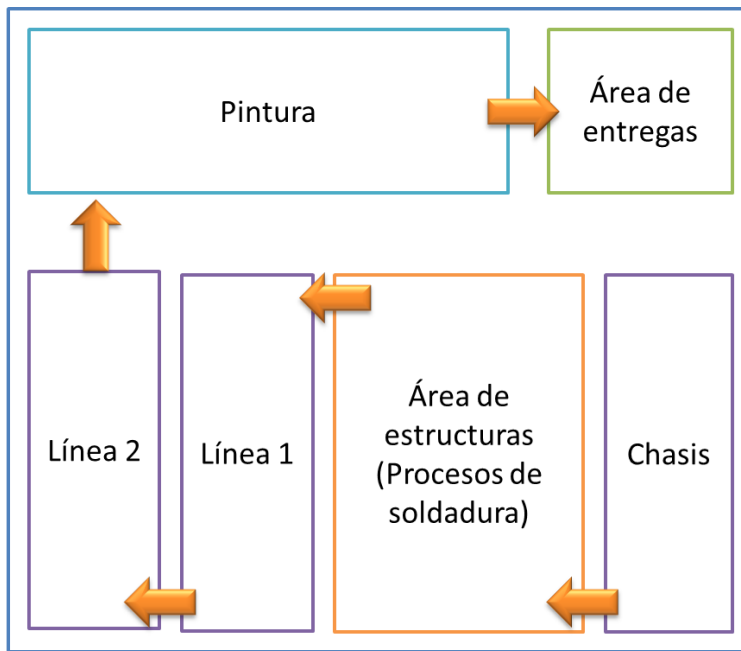


Figura 1.2 Organización productiva de la empresa

El sistema jerárquico que se encarga de hacer posible que el flujo de la manufactura de los autobuses se dé de manera armónica, es el reflejado en la figura 1.3, la que muestra los distintos departamentos que se encargan de implementar un diseño de planta, flujo de materiales, pronóstico de producción y realiza mejoras en el proceso; la división departamental en Volvo tiene la finalidad de cumplir con las diversas demandas legales, operacionales, de servicio, tecnológicas y del desarrollo humano.

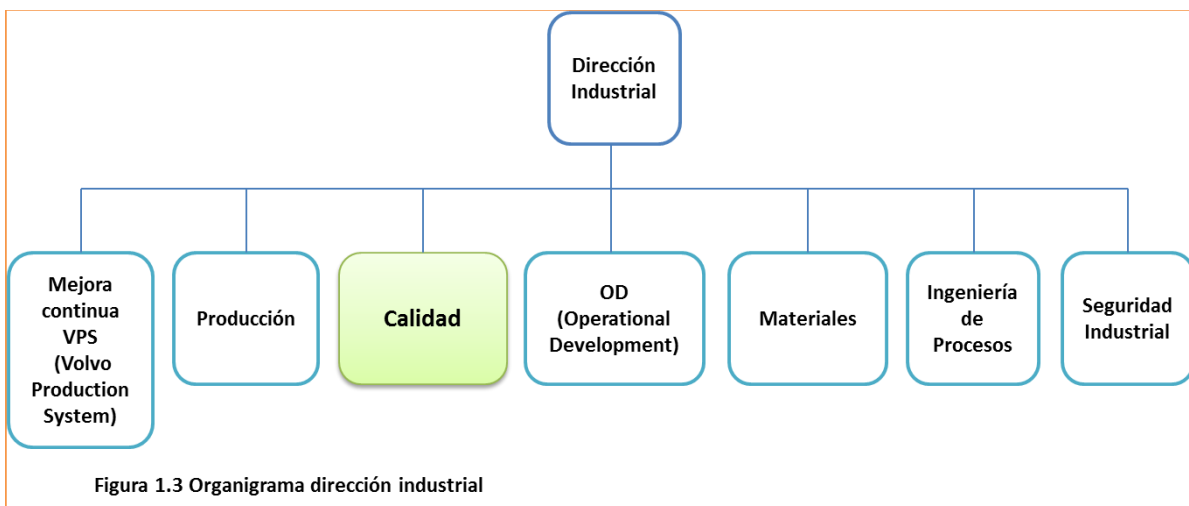


Figura 1.3 Organigrama dirección industrial

La figura 1.4 muestra al Departamento de Calidad, responsable de administrar y difundir en planta las regulaciones técnicas, normas, solicitudes y reclamos del cliente; la Jefatura de Calidad recibe retroalimentación del personal de postventa y las demás gerencias (figura 1.3), éste a su vez solicita al ingeniero de calidad e inspectores basar el trabajo en puntos estratégicos de mejora, el

inspector lleva a cabo un análisis de causas para atender las recomendaciones y dar las soluciones más adecuadas.

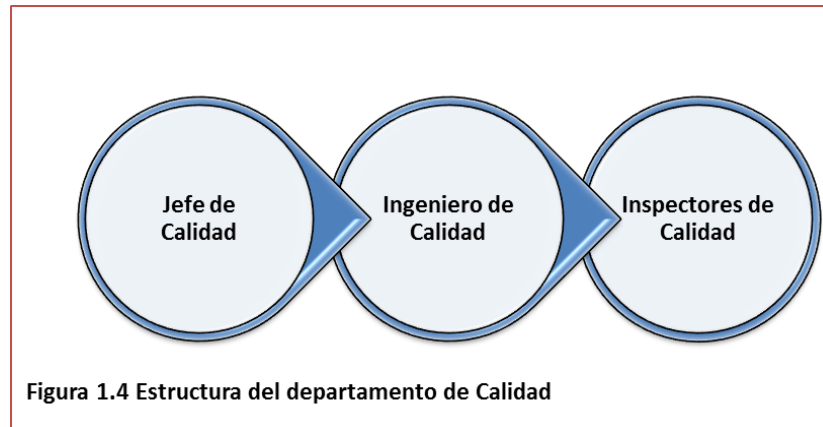


Figura 1.4 Estructura del departamento de Calidad

La implementación de sistemas y herramientas que contribuyan con la calidad de los productos resultan ser bases sólidas para eliminar malas prácticas, reconocer áreas de oportunidad, mejorar las condiciones funcionales y estéticas del producto; esto comienza desde la cultura que la alta dirección inculca a toda la empresa, la calidad de los materiales, flexibilidad de los procesos y acaba con la misma cultura de los colaboradores.

Los inspectores de calidad son encargados de retroalimentar a los operarios sobre los defectos más comunes en sus áreas de trabajo, desarrollar soluciones y reducir los defectos más repetitivos. La figura 1.5 muestra la segregación de áreas y responsabilidades de cada persona en el departamento.

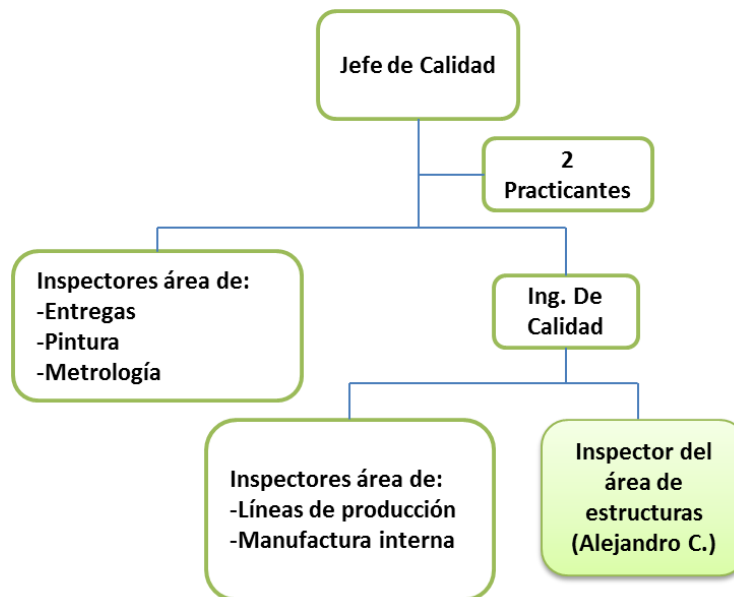


Figura 1.5 Organigrama, conformidad del producto

1.4 Trayectoria en Volvo

Como practicante en el área de calidad, mis responsabilidades eran de dos tipos:

- La administración de la tarjeta viajera, la cual es uno de los documentos más importantes que se tiene en planta pues recapitula toda la construcción de los autobuses desde el principio y sirve como verificación para procesos críticos, también se recaban todos los datos de construcción e incidencias.
- El desarrollo de traducciones a las regulaciones técnicas de par de apriete, estándares de calidad en vidrios, Inspección de pintura, detalles de forros interiores, etc., contribuyen a la solidez del trabajo de los operarios y al análisis de los inspectores; con estas herramientas el aseguramiento de la calidad de los autobuses se refuerza y estandariza.

Después de 6 meses como practicante, de diciembre de 2011 a julio del 2012, cambia el roll antes marcado para desarrollar las actividades de un inspector de calidad y así contar con más participación en los procesos productivos, el objetivo es trabajar con enfoque al cliente y mejora de los procesos.

Como inspector de calidad (julio 2012-diciembre 2013), las responsabilidades toman más relevancia:

- Conocimiento de procesos productivos generales, esto incluyen procesos como soldadura, uso de adhesivos, pintura, uso de torques, uso de elementos de medición, etc.
- Conocimiento de los defectos más comunes acorde a los estándares internos de calidad.
- Uso de herramientas de calidad e interpretación de gráficos de desempeño.
- Reporte de material fuera de especificaciones a proveedor.
- Auditoria de proceso y producto.

En un inicio desempeñé el trabajo de inspector en el área de entregas, aquí es de suma importancia el conocimiento de los procesos y acabados generales en cada autobús, dado que es el último filtro que hay entre empresa y cliente, aquí también se realizan diversos tipos de pruebas que evalúan la capacidad y rendimiento de las unidades para saber si están listas para rodar por las carreteras.

Después de haber liberado más de 100 unidades en 6 meses en el área de entregas, el jefe del Departamento de Calidad decide reubicarme en el área de estructuras; los conocimientos necesarios en el área de estructuras van desde la interpretación de planos, especificaciones técnicas en maquinados, conocimiento en materiales, ergonomía y procesos de soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding, Soldadura por arco de metal y gas).

Prevost, cliente canadiense de Volvo, cada invierno somete las unidades adquiridas a pruebas de resistencia bajo temperaturas extremas, esto con el fin de comprobar la calidad de las uniones soldadas, protección anticorrosiva utilizada en las unidades y la capacidad real de los motores; tras estas pruebas es emitido un reporte de resultados en las juntas de comité (dirección, gerencias y

jefaturas), esto con el fin de mostrar las inconformidades y que sean segregadas por parte de los responsables de cada una de las áreas.

El resultado reportado en el 2012 muestra principios de corrosión en plataforma y chasis; en estas zonas se observa elementos con soldadura deficientes, desprendimiento en recubrimiento anticorrosivo por chisporroteo y falta de soldadura en algunas uniones de la plataforma baja, tal y como se observa en la figura 1.6.



Figura 1.6 Defecto y falta de soldadura en plataforma baja

Es entonces cuando el área de estructuras se vuelve un foco rojo para el Departamento de Calidad y es necesario resolver las demandas del cliente, mejorando los procesos e inspecciones realizadas a las estructuras.

La figura 1.7 muestra los conocimientos y responsabilidades que como inspector de calidad se necesita en el área de estructuras, ya que el fin es identificar y erradicar los principales defectos ocurridos en el área, trabajando con herramientas que ayuden a conocer las causas y la factibilidad de erradicarlos.



Figura 1.7 Conocimientos y responsabilidades del inspector de calidad en estructuras

Los resultados que el inspector de calidad busca son la identificación, estratificación y manera de indicar un nivel de calidad cualitativo de las actividades desarrolladas en el área; desarrollar recomendaciones para evitar que se incremente la cantidad de defectos y retrabajos.

1.5 Conocimientos aplicados en la empresa

Los conocimientos aplicados y adaptados a las necesidades de Volvo fueron adquiridos en la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.; el desarrollo de la carrera Ingeniería Industrial comienza en las ciencias básicas, las cuales sirven como base para las ciencias de la Ingeniería, siendo el vínculo directo para el desarrollo de un Ingeniero en las empresas.

En el desarrollo del trabajo fue necesario contar con las bases de estadística para el manejo correcto de los datos, de la misma forma al interpretar estos fue necesario utilizar la estratificación de los defectos encontrados, siendo esta una de las 7 herramientas de calidad que se analizan en la materia *Sistemas de calidad*.

Sin dejar de lado el aspecto técnico, el conocimiento de materiales se analiza en la materia *Tecnología de materiales*, dando sólidas herramientas para reconocer las propiedades y tratamientos especiales que se realizan en los metales.

El manejo de maquinaria, materiales y procesos de soldadura, se ponen a prueba en la materia de *Procesos de manufactura*, aquí se muestran los distintos procesos de soldadura y aspectos básicos para el desarrollo industrial, si bien no se dan por completo las pruebas no destructivas en el curso, si se dan a conocer algunos aspectos generales de ellas, siendo específicos la prueba de

líquidos penetrantes, prueba que permite de manera superficial analizar la calidad de la junta soldada.

Los conocimientos obtenidos en las materias *Procesos industriales* y *Diseño de sistemas productivos*, fueron necesarios para el desarrollo del layout (disposición o plan) del área de estructuras, diagrama de proceso de un autobús, al igual que el manejo y distribución de los materiales; siendo herramientas para el Ingeniero Industrial y sus ambiciones de mejora.

En el capítulo II se analizará el panorama actual de trabajo en el área de estructuras, se establecerá un método de control correctivo que permita asegurar la calidad de las unidades, se llevará a cabo la detección del principal defecto y las áreas que contribuyen con el mismo.

CAPÍTULO II: ÁREA DE ESTRUCTURAS

El área de estructuras es también conocida en la empresa como el área de encapsulado; esto por estar completamente aislada de las demás líneas de ensamble y comprende un aproximado del 25% de los recursos humanos e instalación de la planta, comparado sólo con el área de pintura en capacidad; las responsabilidades del área son críticas, dado que aquí comienza el proceso de construcción de los autobuses y de esto depende que las demás áreas no sufran ningún inconveniente con sus tiempos de producción.

El proceso que rige los trabajos en este departamento es el de soldadura, aquí la mayoría de las operaciones son realizadas de forma artesanal, esto debido a que no se cuenta con ningún sistema automatizado y mucho menos robots de soldadura; la densidad de ventas en el sector de autobuses es menor que el de los automóviles, por lo tanto se debe aprovechar cada recurso invertido para evitar retrabajos y así poder obtener mejores márgenes de ganancia.

2.1 Estructuras

El área de estructuras está conformada por 13 estaciones, como se muestra en el layout de la figura 2.1, aquí se desarrollan los subensambles que posteriormente se transformarán en un autobús de más de 13 metros de longitud; en las estaciones llamadas VOG's (Volvo gate), marcadas con los números VI, VII, VIII y IX, es en donde se realizan el ensamble general, el armado de recibidores de madera, de asientos, laminación, tanques de desechos, combustible y detalles estructurales de seguridad, esto para que posteriormente siga su flujo hacia la siguiente estación y reciba su tratamiento superficial anticorrosivo.

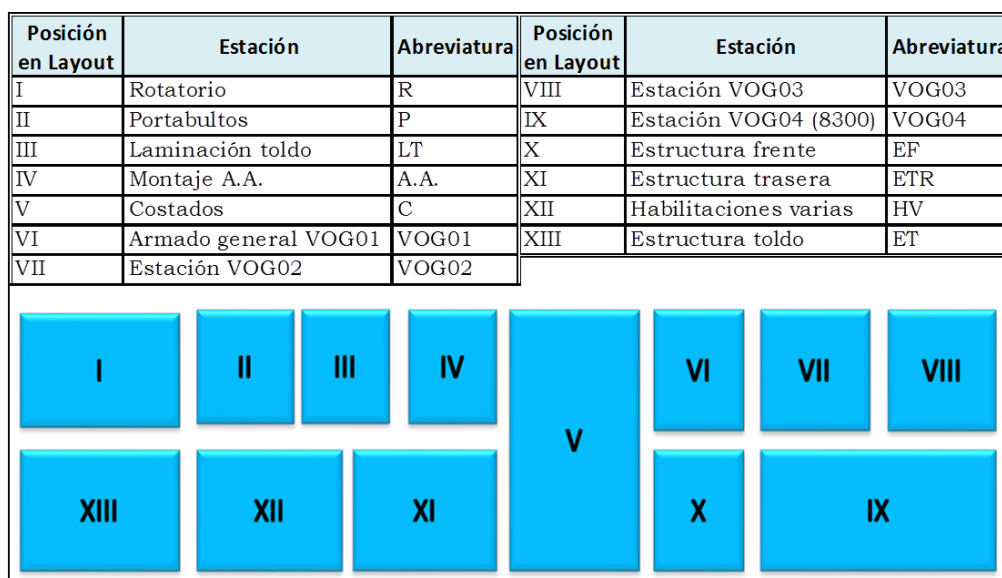


Figura 2.1 Layout del área de estructuras

De acuerdo con el layout anterior se observa que al tener tantas estaciones las preguntas más comunes que surgen son: ¿cómo saber qué modelo de autobús armar?, ¿cuáles son las especificaciones de armado? y ¿cuáles serán las características del equipo a ensamblar?, esto sin tener problemas de sincronización; estas dudas son resueltas con los documentos con que cuenta la empresa tales como:

- Plan de producción. Este documento surge de los pronósticos de la demanda de autobuses y especifica en lotes las unidades a elaborar, esto contribuye en el orden y facilita los movimientos del producto.
- Planos. Son elementos que contienen las dimensiones de cada modelo, las partes específicas que corresponden a cada área de ensamble, aspectos generales de soldadura y los cortes con que cada subensamble se construye.
- Tarjeta viajera. Tal vez el documento más importante en planta, pues sustenta todas las especificaciones con que se manufacturaron o manufacturarán los autobuses, esto representa el acta de nacimiento de las unidades y para el departamento de calidad un documento para el análisis de construcción.

En el área de estructuras, estos son los documentos mínimos necesarios para poder comenzar la construcción de las unidades, de no contar con alguno, el responsable de solicitar la actualización de los mismos es el supervisor y los ingenieros de procesos al haberse desarrollado un cambio de diseño en los autobuses.

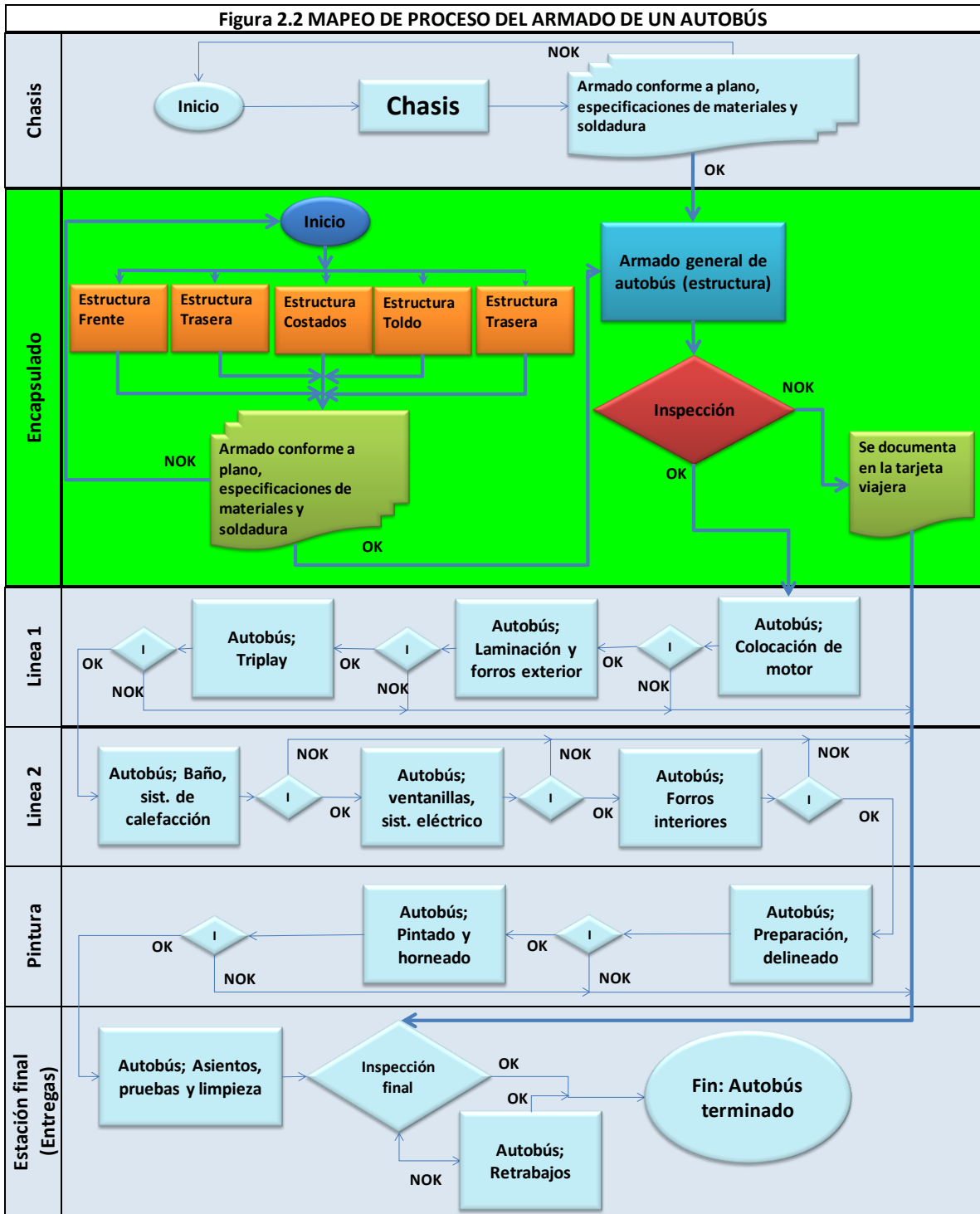
2.2 Situación inicial

El área de entregas, último lugar en el que se inspeccionan a detalle las unidades antes de la entrega a cliente, son revisados en la tarjeta viajera los defectos que los inspectores de calidad detectan y describen en cada filtro de la tarjeta viajera (chasis, estructuras, línea 2 y pintura), cabe mencionar que los defectos son detectados pero no se lleva un control de ellos, solo se describen en la tarjeta y depende de cada supervisor contemplar operarios para realizar los retrabajos pertinentes, esto no da un panorama claro de cuáles son los puntos débiles en las operaciones.

El resultado de lo antes descrito significa el desplazamiento de equipo y personal fuera del área de trabajo, esto no sólo se reflejará al elevarse los costos por utilizar el recurso humano más allá de su jornada normal, sino también el peligro de afectar otras zonas del autobús, ya que en el área de entregas sólo se detalla la estética y se realizan pruebas para su entrega al cliente.

Algunos de los retrabajos de soldadura que se han realizado en el área de entregas, han afectado alfombras, elementos eléctricos, asientos, llantas, pintura, además de haber zonas muy difíciles para trabajar en las que el operario pone en riesgo su integridad, lo cual para los intereses de la organización no son permisibles.

En la figura 2.2 se presenta un mapeo del proceso de armado de los autobuses, en éste es posible observar los filtros de inspección que existen y el recorrido de la tarjeta viajera, en la que como se había comentado con anterioridad, describe los defectos de las unidades descritos por cada uno de los filtros y el último paso para obtener un autobús terminado; cabe mencionar que el desarrollo de este trabajo corresponde a la parte de la planta iluminada en color verde, la cual representa estructuras, hacia arriba se muestra la línea que le surte y abajo a la cual se manda la estructura una vez terminada.



En el sistema de inspección realizado en encapsulado se verifica la estructura final, por lo que se toma más en cuenta el último filtro antes de pasar a línea 1; la forma de verificar las uniones resulta un poco difícil pues debe ser al mismo tiempo en que es producida la unidad, de no hacerlo antes de que pase a la siguiente estación, el apoyo de la parte productiva puede retrasarse o puede ser nulo en muchos de los casos.

2.3 El costo del incumplimiento

Diariamente el departamento de estructuras invierte de dos a cuatro personas, para cubrir con los retrabajos que le corresponden, el tiempo extra representan 3 horas adicionales a su jornada normal de trabajo, de los cuales se utilizan de 30 a 50 minutos netos para finiquitar los defectos, indefiniciones técnicas y operaciones incompletas, el tiempo restante se pierde en traslado del área de encapsulado a líneas de producción o entregas; la búsqueda de la unidad a retrabajar puede demorar pues en el área final las unidades pueden estar siendo utilizadas para pruebas en cámaras de agua, pruebas de carretera o frenos; la preparación de la zona a retrabajar y la factibilidad de conectar una máquina de soldar en otras estaciones, resulta difícil si no se cuenta con conexiones de 440V.

¿Cómo mostrar el costo del incumplimiento? Para ellos se requiere hacer un análisis del costo generado por un retrabajo fuera del área de estructuras, para esto es necesario el costo del tiempo extra en estas actividades, el material se descarta pues éste debería ser incluido en la actividad de cualquier forma.

Un ejemplo de un retrabajo (actividad productiva que no está contemplada en la planeación original de la producción, sin embargo es necesaria para la corrección de inconformidades en el producto) repetitivo es en la zona baja del autobús, en donde la falta de soldadura en los PTR'S (Perfil tubular rectangular) o soldadura mal aplicada suelen generar problemas más adelante, aquí la posición para soldar es sobre cabeza y puede ser difícil de ejecutar para el operario. Al momento de revisar en fosa los autobuses es fácil detectar este detalle, implica que se debe retirar la protección anticorrosiva de la zona baja para poder soldar, pues de no hacerlo la soldadura no fusiona los materiales, además puede provocar chisporroteo y otros defectos, lo que a la larga provocará uniones frágiles y expuestas a la corrosión aun con protección anticorrosiva en la zona soldada.

En la figura 2.3 se muestra el ejemplo de lo anteriormente mencionado, éstas son las consecuencias de no asegurar la calidad de las unidades, pues nos muestra la apariencia después de unos kilómetros de trabajo, como observamos una mala aplicación de soldadura puede resultar susceptible a la corrosión.



Figura 2.3 Soldadura mal aplicada bajo plataforma

La preparación para este retrabajo consiste en esmerilar la protección anticorrosiva y el cordón mal realizado, tras haber asegurado la limpieza se procede al soldado de los perfiles; la responsabilidad del soldador conlleva en avisar al supervisor que el trabajo se realizó correctamente y tras el visto bueno del área de calidad es posible volver a cubrir esta zona con protección anticorrosiva.

En la tabla 2.4 se presenta el desarrollo completo de un retrabajo y el tiempo que los operarios invierten para cada actividad, resultando un total de 180 minutos para cada retrabajo realizado.

Actividad	Tiempo (min)
Traslado de equipo a el área de entregas 50m	10
Búsqueda de la unidad (varía de 5 min a más de 1 hr dado que las unidades las pueden estar utilizando para prueba de carretera, agua, programación o detalles)	20
Solicitar acomodo de la unidad en una fosa de inspección	15
Solicitar que desconecten la batería del autobus para no afectar el equipo electrico del mismo	10
Esmerilar la zona a soldar (retirar anticorrosivo)	30
Esmerilar la zona en donde se colocará la tierra de la máquina	5
Preparar máquina para soldar (conectar, colocar tierra, calibrar parámetros de máquina y gases)	10
Realizar soldadura de perfiles con soldadura incompleta, mal realizada o nula (El tiempo puede ser largo dado que la técnica es sobre cabeza, la iluminación es reducida, es necesario el apoyo de un compañero siempre y pueden ser más de un cordón a realizar)	50
Retirar protecciones, avisar al Departamento de Pintura en qué zonas es necesario colocar la proteccion anticorrosiva, el área de pintura recubre la zona trabajada (después de ser aprobado por calidad)	20
Recoger equipo y regresar al área de estructuras	10
	180

Tabla 2.4 Retrabajo en el área de entregas y tiempo de actividades

Los costos del retrabajo resultante de no realizarse en el área queda representado en la tabla 2.5; el resultado estima un aproximado de 171 pesos (2013), generados por el tiempo extra del personal utilizado en la corrección de este trabajo.

Costos de mano de obra por unidad retrabajada				
Mano de Obra	Costos	Operarios	Tiempo invertido (hr)	Total (\$)
Encapsulado	24	2	3	146
Pintura	24	1	1	24
				171

Tabla 2.5 Costo por unidad retrabajada (mano de obra)

La tabla 3.6 presenta el costo generado a través del tiempo. Como se puede observar se estarán gastando 2,500 pesos semanales por mano de obra, lo que visto anualmente puede impactar en

más de 120 mil pesos; esto por no realizar las recomendaciones de los inspectores de calidad en las áreas competentes.

Unidades por semana	Costo tiempo extra	Costo semanal
15	171	2559
Unidades por mes	Costo tiempo extra	Costo mensual
60	171	10238
Unidades por año	Costo tiempo extra	Costo anual
720	171	122850

Tabla 2.6 Costos generados por retrabajos en el tiempo

El costo del incumplimiento comprende sólo la mano de obra y un tipo de retrabajo, se descartan los materiales al ser una variable que no es posible para este trabajo estandarizar pues su uso se puede incrementar dependiendo del desperfecto a trabajar. Datos históricos indican que el costo extra por materiales e insumos de reparación puede llegar a ser de 1 a 4 veces la cantidad estimada para la mano de obra, por lo que puede llegar a representar más de 490 mil pesos anuales.

En el siguiente capítulo se establecerá la metodología propuesta para la solución e identificación de los defectos en el proceso de soldadura, en el mismo será permisible analizar cuáles son las áreas de oportunidad que tienen las estaciones en el área de estructuras, documentos de calidad y sus defectos a detalle.

CAPITULO III: ESTABLECIENDO UN SISTEMA DE MEJORA EN EL PROCESO DE SOLDADURA

Los sistemas productivos de la actualidad buscan optimizar recursos, obtener la mayor ganancia a sus inversiones, desarrollar procesos más eficaces y contar con productos que cubran las expectativas del cliente, suena sostenible el panorama de beneficios contra inversión. Pero ¿qué sucede cuando las empresas se enfocan en producir y dejar atrás la conformidad de su producto?, en primera instancia los beneficios reales comienzan a discernir de los cálculos obtenidos en un principio, la falta de acciones comienzan a transformar un mal proceso en el proceso común, el servicio posventa empieza a elevar la cantidad de reclamos y sin algún tipo de prevención comienza a trabajar la fábrica oculta (término utilizado para describir las operaciones o actividades que provocan no conformidades en el producto y continúan realizándose).

El siguiente sistema de mejora se realiza con el fin de que la empresa y sus encargados hagan conciencia de los costos que se generan por no realizar los procesos de forma adecuada, la importancia de comparar el trabajo realizado con especificaciones técnicas y la importancia del trabajo en conjunto; en la figura 3.1 se muestra la metodología que se utilizará en este trabajo con el fin de mejorar la calidad de las estructuras de los autobuses Volvo.

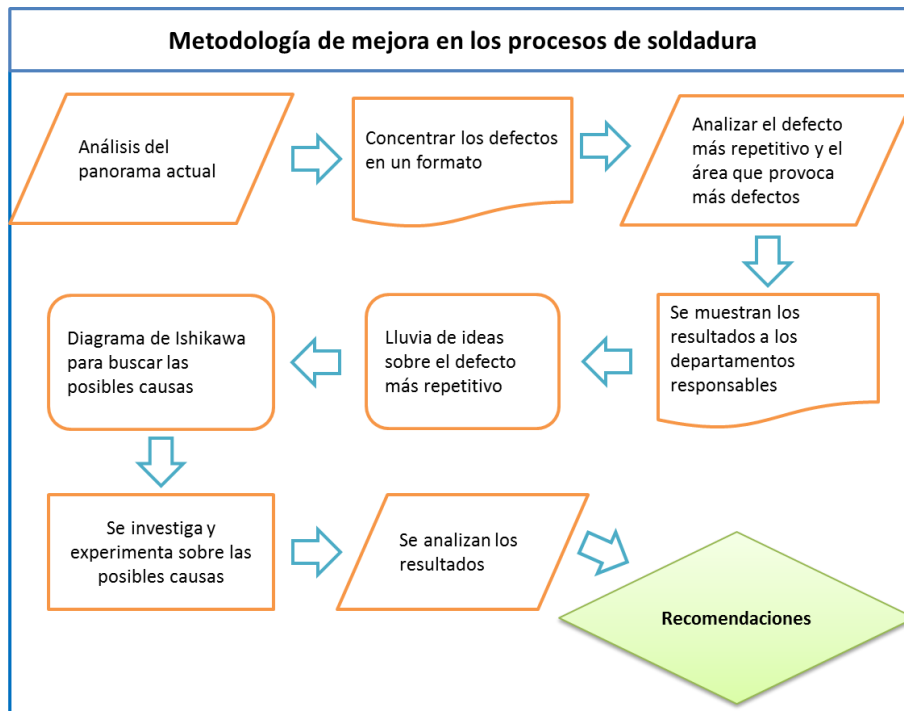


Figura 3.1 Metodología de mejora en los procesos de soldadura

3.1 Control de defectos

Después de la descripción del escenario inicial del área de estructuras mostrado en el capítulo II, se observa una detección temprana de los defectos, en su mayoría sin resolución en punto de instalación, esto provoca que áreas como la de entregas y líneas de producción soliciten el apoyo para los realizar la corrección de estos desperfectos, los cuales comúnmente son reportados tras interferir con operaciones que afectan detalles estéticos, partes mecánicas o componentes de seguridad en el autobús; es observable también cómo el costo del incumplimiento crece a la medida del volumen producido y los defectos cometidos.

La primera herramienta que implementaré está enfocada en el control de inspección, esto para conocer la cantidad y los tipos de defectos que se presentan en las unidades, en este formato será posible clasificar, contabilizar y reflejar las áreas de oportunidad de cada estación de trabajo. Cabe mencionar que antes de realizar este estudio, no se contaba con ningún documento que concentrara los defectos, la estación responsable de los mismos y la manera de contabilizar la ejecución de los retrabajos.

A partir de los datos obtenidos se llevará a cabo un análisis de las áreas de oportunidad resultantes, para esto será necesario investigar las causas que ocasionan de raíz el detalle; el apoyo y concientización de los involucrados en el área, se verá reflejado sólo mostrando los efectos negativos que se generan al no llevar una prevención en la calidad de las unidades y solventando el trabajo en equipo de los responsables de las operaciones.

El formato implementado para establecer un nivel de calidad y analizar el que llevan las unidades es como el que se muestra en la tabla 3.2 y su comportamiento se observa en la gráfica 3.3, en el mismo se destacan las estaciones responsables, número de defectos o ítems de no conformidad (ítem es conocido en planta como un defecto, no conformidad o punto de auditoria), el departamento al que se hace responsable, los retrabajos que son realizados en el área, los defectos que no son corregidos, el número de unidad y la fecha en que se realizó la inspección; el porcentaje reflejado en la tabla representa el nivel de calidad de cada unidad con respecto a la soldadura y la meta del complejo es alcanzar el 100% de efectividad en cada estructura.

¿Cómo saber cuáles son los defectos que tienen mayor impacto en las estructuras?, para este caso es necesario consultar los datos obtenidos en control de inspección, los defectos pueden ir desde porosidades, faltas de fusión, chisporroteo, fracturas, cráteres en el cordón de soldadura, operaciones incompletas, falta de soldadura en perfiles, elementos estructurales no colocados y faltantes; los faltantes son reportados por el área de almacén y se tendrán que recuperar más adelante en la línea cuando los mismos arriben.

¿Cómo saber que la unidad pasa a la siguiente estación sin defectos?, al final de la tabla se muestra el porcentaje de defectos, en esta sección aparecen las palabras abierto y cerrado, cuando uno de los defectos no es corregido en el punto de instalación queda abierto a la espera de solución, esto depende de la complejidad de la misma; tener al 100% los defectos cerrados indican que ya se les dio solución y puede seguir sin contratiempos a la siguiente estación, recordar que el objetivo del área es la totalidad de los defectos resueltos o bien cerrados.

HOJA DE CONTROL "DEFECTOS POR UNIDAD ENCAPSULADO" SEM-07

FECHA	Numero Economico de unidad	Defectos corregidos	Defectos y puntos pendientes	Toldo y Portabultos (II, III y XIII)	Costados (V)	Sub ensamblés (X, XI y XII)	Armado general (VI, VII, VIII y IX)	Otros (I y IV)	Departamento de Procesos	Faltantes	TOTAL	PORCENTAJE DE DEFECTOS	
												CERRADOS	ABIERTOS
LUNES	11/2/13	2644	10	0	4	0	6	0	0	1	10	100%	0%
	11/2/13	2645	9	0	5	0	4	0	0	1	9	100%	0%
	11/2/13	26	13	1	1	6	0	6	0	1	14	93%	7%
MARTES	12/2/13	2646	7	0	0	4	0	3	0	0	7	100%	0%
	12/2/13	27	17	2	1	6	1	9	0	2	19	89%	11%
	12/2/13	2647	6	7	0	5	0	7	0	1	13	46%	54%
MIÉRCOLES	13/2/13	2648	6	1	0	2	0	4	0	1	7	86%	14%
	13/2/13	28	9	3	0	4	0	5	0	3	12	75%	25%
	13/2/13	2650	8	0	0	4	0	4	0	0	8	100%	0%
JUEVES	14/2/13	30	6	4	0	6	0	4	0	0	10	60%	40%
	14/2/13	29	10	0	0	8	0	2	0	0	10	100%	0%
	14/2/13	2649	13	0	0	8	0	5	0	0	13	100%	0%
VIERNES	15/2/13	2651	6	0	0	2	0	4	0	0	6	100%	0%
	15/2/13	31	9	0	0	9	0	0	0	0	9	100%	0%
	15/2/13												

Tabla 3.2 Hoja de control "Defectos por unidad encapsulado"

En el gráfico 3.3 es posible observar la cantidad de defectos reparados, estos están representados por el color verde y los pendientes en color rojo, operaciones incompletas por producción, operaciones incompletas por surtimiento, operaciones incompletas por faltantes en estación de trabajo y faltantes de planta; cada aspecto puede ser identificado por el color, cantidad y en la base el número de unidad inspeccionada.

Defectos por unidad en encapsulado

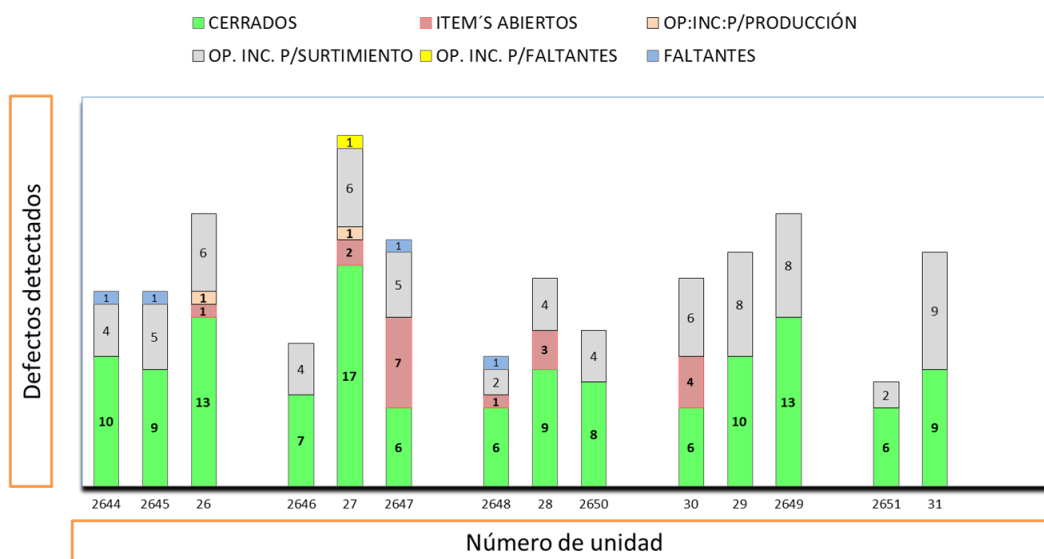


Gráfico 3.3 Defectos por unidad encapsulado

Las cantidades numéricas obtenidas tras cada inspección realizada, son concentradas en la tarjeta viajera como un ítem o defecto a retrabajar por el área responsable, la figura 3.4 refleja el trabajo de inspección en un autobús, el defecto se debe describir a detalle y la estación responsable, con el fin de agilizar los retrabajos que puedan surgir en cada unidad, en caso de haber repetitividad

de un defecto este se enumera en la tabla bajo las letras D para defecto, OI para operación incompleta y F cuando se trate de un faltante.

Eco	Item	Estación	D	OI	F
2516	Chisporroteo en perfil guardafangos trasero costado derecho	C (V)	1		
	Chisporroteo en perfil guardafangos trasero costado izquierdo	C (V)	1		
	Esmerilar cordon de perfil costado derecho por 4ta ventana	VOG01 (VI)			1
	Falta aplicar sello en banca trasera	VOG03 (VIII)			1
	Faltan soldar perfiles detrás de estribo	VOG03 (VIII)			1
	Falta soldar soporte cubre polvos costado derecho 2da. Ventana	VOG02 (VII)			1

D: defecto; OI: operación incompleta; F: faltante

Figura 3.4 Captura de defectos detectados en tarjeta viajera

3.2 Organización y acuerdos

La mejora continua y herramientas de calidad que son implementadas en el proceso de fabricación de autobuses, no representan el trabajo de una sola persona, sino el cúmulo de conocimientos y experiencias de varios departamentos; dicho lo anterior, es necesario el involucramiento de las demás áreas con el fin de resolver los problemas de calidad en las estructuras.

Después de haber creado y puesto en marcha el formato para la detección de ítems y operaciones no realizadas en los autobuses, es realizada una introducción a supervisores, ingenieros de procesos, jefatura de producción y jefatura de calidad, el porqué de realizar acciones que aseguren el trabajo del área, a lo que los departamentos de producción y calidad concuerdan enviar a las estaciones posteriores unidades con un 100% de operaciones validadas (los datos son cualitativos referenciados al Corporate Standard STD 5605,51, los porcentajes son calculados por la cantidad total de ítems detectadas en la unidad y entre los que son corregidos).

El Departamento de Calidad se responsabiliza de enviar el formato semanalmente para poder observar el comportamiento del mismo y el Departamento de Producción tiene el compromiso de asegurar los procesos en las unidades, esto quiere decir que brindarán el soporte del personal para la corrección de defectos.

El siguiente paso es concientizar a la parte productiva, por lo que al inicio de cada jornada se lleva a cabo una junta con duración de 5 a 10 minutos como máximo, en donde se dan a conocer aspectos como la calidad de las unidades acorde al nuevo formato implementado, el plan de producción y asuntos de índole general; es importante manejar el mismo nivel de información con el personal, pues se debe recalcar la importancia del apoyo en completar las operaciones y la corrección de los detalles detectados, ya que estos serán realizados por los responsables de cada operación hasta reducir las incidencias.

Para obtener el impacto esperado en la calidad de las estructuras, tras haber sido implementado el formato de defectos, el equipo multidisciplinario fija tres horarios en los que todos analizan los puntos detectados (9am, 12pm y 3pm) aquí se decide qué estaciones se harán responsables de los retrabajos, lo que permite ubicar el responsable de dicha operación e inculcar la forma correcta de realizar su trabajo.



Figura 3.5 Equipo multidisciplinario de estructuras Volvo

El trabajo que realiza cada uno de los departamentos representado en la figura 3.5, es fundamental para el aseguramiento de la calidad de los autobuses y al momento de trabajar en reconocer cuáles son las principales áreas de oportunidad; el equipo presentado en la figura será el responsable de dar soluciones sistemáticas que impacten positivamente en el área, actuará como soporte para el área productiva y mostrará los resultados al área ejecutiva.

La documentación de los defectos no sólo tiene el fin de detectar operaciones mal realizadas, también trata de prevenir cambios de ingeniería, pues al contar con planos y especificaciones a tiempo no se verá afectado el plan de producción y será posible que la línea siga su flujo como está estipulado. Al conocer cómo marchan las cosas será necesario establecer metas semanales de liberación, lo que creará un ambiente de mejora continua y nuevos retos para los integrantes del complejo.

3.3 Medir y estratificar

Para conocer cuál es la estación que genera más puntos de mala calidad y sea posible descubrir las causas que los generan será necesario contabilizar los defectos más repetitivos y de mayor impacto; para esto se hará uso de la tarjeta de inspección y se obtendrán los datos de 15 unidades, mismas que representan una semana de producción en el área.

En la figura 3.6 se muestra el concentrado de listado de inspección, es posible observar la recurrencia de los defectos, a qué estación pertenecen, si se trata de una operación incompleta o un faltante de planta; esto hace posible detectar cuáles son las estaciones que aportan más defectos y dará la pauta para estudiar el impacto de los retrabajos.

Eco	Item	Estación	D	OI	F
2516	Chisporroteo en perfil guardafangos trasero costado derecho	C (V)	1		
	Chisporroteo en perfil guardafangos trasero costado izquierdo	C (V)	1		
	Esmerilar cordon de perfil costado derecho por 4ta ventana	VOG01 (VI)		1	
	Falta aplicar sello en banca trasera	VOG03 (VIII)		1	
	Faltan soldar perfiles detrás de estribo	VOG03 (VIII)		1	
	Falta soldar soporte cubre polvos costado de derecho 2da. Ventana	VOG02 (VII)		1	
2617	Falta soldar perfil "X" costado izquierdo 4ta. Ventana	C (V)	1		
	Limpiar chisporroteo de contra marcos baterias	VOG03 (VIII)	1		
	Mejorar aplicación de soldadura en diagonal de costado derecho 5ta ventana	C (V)	1		
	Falta soldar perfil costado derecho zona guardafangos trasero	C (V)		1	
	Falta esmerilar punto de soldadura costado derecho ultima ventana	VOG02 (VII)		1	
	Falta colocar compartimento baterias	VOG03 (VIII)		1	
	Falta perfil para fijar pasamanos puerta intermedia	VOG01 (VI)		1	
	Falta soldadura en perfil avion entre 2da. Y 3er. Cajuela lado izquierdo	VOG01 (VI)		1	
	Limpiar chisporroteo en herrajes cajuelas lado izquierdo	VOG03 (VIII)	1		
	Limpiar chisporroteo cubre polvos ambos costados	VOG03 (VIII)	1		
2518	Falta soldar perfiles "X" costado izquierdo 4ta. Ventana	C (V)		1	
	Falta soldar perfil costado izquierdo 5ta ventana parte superior	C (V)		1	
	Esmerilar exceso de soldadura marco comp. Baterias	VOG03 (VIII)	1		
	Falta soldar diagonal costado derecho 5ta ventana	C (V)		1	
	Falta soldar perfil costado derecho por toma de combustible	C (V)		1	
	Limpiar chisporroteo compartimento baterias	VOG03 (VIII)	1		
	Falta soportes "L" para ventana operador	EF (X)		1	
	Falta soldar herraje cajuelas lado derecho	VOG01 (VI)		1	
	Limpiar chisporroteo perfiles cajuelas lado izquierdo	VOG03 (VIII)	1		

Figura 3.6 Fragmento, defectos por unidad inspeccionada

En la figura 3.6 también se observa la manera en que se describe de manera exacta el tipo de defecto y los ensambles en que se encontraron, se muestra la estación de origen con el fin de asignar responsabilidades y se coloca el número de unidad de la que fue analizado el ítem para facilitar su localización.

La tabla 3.7 muestra el análisis y porcentajes resultantes de los retrabajos correspondientes a cada estación; su incidencia con los puntos de no conformidad, el control numérico de las incidencias servirá de soporte para su reducción paulatina.

Estación	Abreviatura	Defectos por estación	Porcentaje
Rotatorio	R (I)	0	0.00%
Portabultos	P (II)	2	1.68%
Laminación toldo	LT (III)	0	0.00%
Montaje A.A.	A.A. (IV)	0	0.00%
Costados	C (V)	33	27.73%
Armado general VOG01	VOG01 (VI)	9	7.56%
Estación VOG02	VOG02 (VII)	16	13.45%
Estación VOG03	VOG03 (VIII)	48	40.34%
Estación VOG04 (8300)	VOG04 (IX)	0	0.00%
Estructura frente	EF (X)	2	1.68%
Estructura trasera	ETR (XI)	0	0.00%
Habilitaciones varias	HV (XII)	0	0.00%
Estructura toldo	ET (XIII)	0	0.00%
Otros	Otros	9	7.56%

Tabla 3.7 Análisis porcentual de defectos y sus estaciones de correspondencia

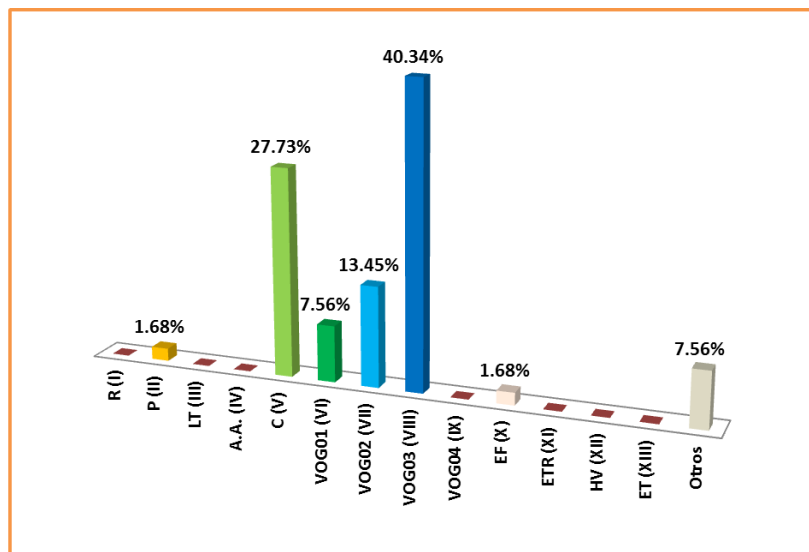


Gráfico 3.8 Análisis porcentual de defectos y sus estaciones de correspondencia

El análisis plasmado en el gráfico 3.8 genera visualmente la localización de las estaciones críticas del proceso de soldadura, de la misma manera refleja numéricamente las distancias existentes entre el desarrollo productivo del encapsulado.

La estratificación de los datos se ve representada en la tabla 3.9, numéricamente se puede analizar las estaciones a las que se les tiene que dar más enfoque y cuáles pueden funcionar como modelo para el área de estructuras; se observa que el 20% o menos de las estaciones son las que colaboran con más del 80% de los defectos, esto contribuye a que los esfuerzos sean puntuales.

Posición	Estación	Abreviatura	Porcentaje	Acumulado
1	Estación VOG03	VOG03 (VIII)	40.34%	40.34%
2	Costados	C (V)	27.73%	68.07%
3	Estación VOG02	VOG02 (VII)	13.45%	81.51%
4	Armado general VOG01	VOG01 (VI)	7.56%	89.08%
5	Otros	Otros	7.56%	96.64%
6	Portabultos	P (II)	1.68%	98.32%
7	Estructura frente	EF (X)	1.68%	100.00%
8	Rotatorio	R (I)	0.00%	100.00%
9	Laminación toldo	LT (III)	0.00%	100.00%
10	Montaje A.A.	A.A. (IV)	0.00%	100.00%
11	Estación VOG04 (8300)	VOG04 (IX)	0.00%	100.00%
12	Estructura trasera	ETR (XI)	0.00%	100.00%
13	Habilitaciones varias	HV (XII)	0.00%	100.00%
14	Estructura toldo	ET (XIII)	0.00%	100.00%

Tabla 3.9 Estratificación de defectos

El gráfico 3.10 representa visualmente el resultado de los datos obtenidos y da pie a las estaciones que deben ser estudiadas y mejoradas, para que con esto se reduzcan los defectos estructurales y de soldadura en los autobuses.

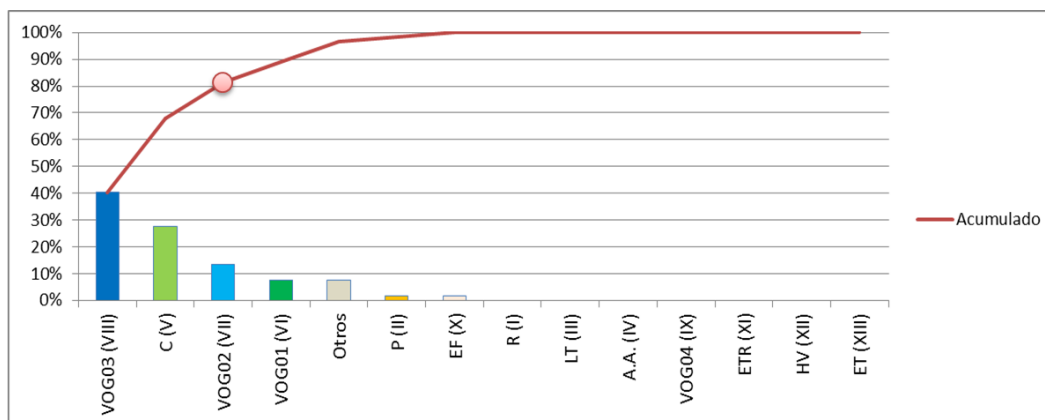


Gráfico 3.10 Estratificación de defectos

En el desarrollo de los datos se utilizó el diagrama de Pareto por la representación sencilla y categórica de los defectos, la herramienta de calidad dice que el 80% de los defectos radican en el 20% de los procesos, a lo que se puede concluir que sirve de ayuda para conocer las principales áreas de oportunidad y de impacto negativo en el producto.

3.4 Análisis de las estaciones de trabajo

Después de haber sido estratificados los datos obtenidos en el sistema de inspección; en el layout es representado por colores el comportamiento del trabajo en las estaciones, el color mostrado en cada cuadro de la figura 3.11 representa el nivel de importancia que se debe dar al momento de establecer mejoras y prioridades.



Figura 3.11 Rastreo de estaciones críticas

La finalidad de trabajar con el layout mostrado en la figura anterior es concientizar al personal de planta y al equipo multidisciplinario sobre cuáles son las estaciones que necesitan un apoyo más constante o que representan las áreas de oportunidad más críticas, la misma sirve de herramienta al ser un traductor directo de las inspecciones realizadas a los autobuses.

El formato generado de manera visual es aceptado por los diferentes departamentos encargados de dar soporte al área y también por el personal que labora en el mismo; cabe destacar que el reto es que todas las estaciones se encuentren en color verde, tras reducir las causas de las incidencias.

3.5 Estudiando los tipos de defectos

Tras un análisis realizado a las estaciones y sus incidencias, queda realizar un estudio de los defectos detectados para su delimitación. En la tabla 3.12 es posible observar los defectos más comunes en el proceso realizado en estructura, las cantidades en que reincidió y el uso de abreviaturas para su fácil comprensión.

Abreviatura	Tipo de defecto	Cantidad de defectos detectados
CHSP	Chisporroteo	39
FS	Falta soldar	2
MAS	Mejorar aplicación de soldadura	2
EXCS	Exceso de soldadura	4
PZD	Pieza dañada	7
SFRC	Soldadura fracturada	3
NCP	No conforme a plano	2
SP	Soldadura porosa	3
DPMA	Defecto por mala aplicación	2

Tabla 3.12 Defectos detectados y su abreviatura

El gráfico 3.13 hace notar el defecto con más incidencias en las unidades, el chisporroteo se caracteriza por la salpicadura de metal no fusionado alrededor de una junta soldada; varias zonas de la estructura presentan el defecto, este fenómeno es altamente crítico dado que varias de las áreas afectadas pueden ser zonas de vista (el cliente o pasajero pueden notar las imperfecciones), superficies donde se coloca laminación, madera o forros plásticos, lo que de no ser pulida la zona afectada representará problemas en las siguientes estaciones.

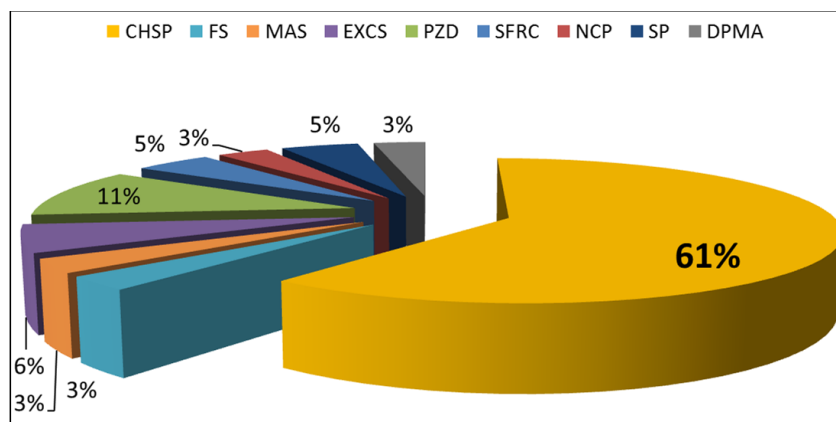


Gráfico 3.13 Defectos detectados y su nomenclatura

La estación VOG 03 marcada con el número VIII en la figura 3.11, representa poco más del 40 % de los defectos; esta estación será la base del estudio, aquí se analizarán el producto y las necesidades acorde con los criterios según las regulaciones técnicas.

Al analizar los requerimientos técnicos referentes al chisporroteo se observa lo siguiente:

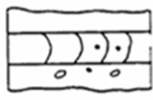
No. Categoría de defecto	Tipo de discontinuidad o defecto	Clase de soldadura			
		D	C	B	A
18	Golpes de arco y chisporroteo 	Son permitidos ocasionalmente pero sin fractura, el chisporroteo debe ser retirado.	Los golpes de arco no son permitidos, es permitido el chisporroteo globular a menos que no sea posible retirarse.	No es permitido	No es permitido

Tabla 3.14 Defectos y discontinuidades, extraído del STD 5605,51

La tabla 3.14 es la que relaciona a los defectos y su admisibilidad, el mismo es para longitudes soldadas de hasta 200 mm, la clasificación que se utiliza es C. Los niveles de calidad acorde al estándar interno STD 5605 e ISO 5817 van de la “A” a la “D”, siendo “A” el más riguroso; los niveles de calidad son impuestos por el diseñador, el cual los impone por análisis de esfuerzos en estructuras o por la necesidad de tener zonas soldadas con acabado estético.

¿Cuáles criterios serán tomados en cuenta para el control de este defecto? El chisporroteo no es problema que afecte directamente al funcionamiento de las unidades sin embargo, el aspecto y su forma no contribuyen con la estética del producto final, dado que los forros interiores del piso de pasajeros pueden no ser pegados correctamente al existir la posibilidad de ser rasgados por las protuberancias.

Otro detalle que se ve afectado por este defecto son las zonas bajas del autobús, ya que después de proteger la superficie con protección anticorrosiva, esta puede desprenderse por las pequeñas gotas de soldadura sueltas y dejar desprotegida la superficie, este defecto puede provocar que la superficie entre en contacto con humedad, provocando otros defectos como la corrosión.

Las causas del chisporroteo deben ser estudiadas para encontrar la contención del mismo y poder desarrollar las restricciones del producto, de una manera que no genere la extensión de las actividades en el área por esmerilado y pueda asegurar de manera constante los trabajos en las estructuras.

3.6 Análisis de las causas del chisporroteo

El análisis y la búsqueda de las causas fueron desarrollados por el equipo multidisciplinario, tras realizar el diagrama de causa y efecto, quedan representadas las causas en la figura 3.15; al observar los resultados obtenidos del trabajo realizado por el equipo, se observan causas que van desde los procesos no controlados a el medio en que se desarrollan las actividades.

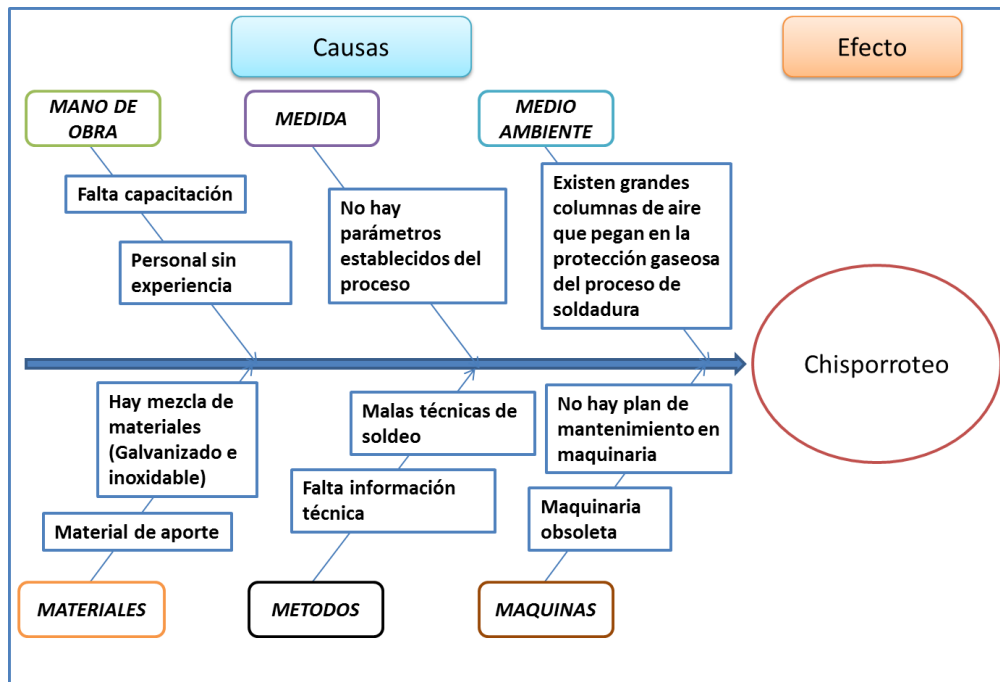


Figura 3.15 Diagrama de Ishikawa , chisporroteo

El diagrama causa y efecto es una herramienta para la solución de problemas; éste permite sistemáticamente detectar las posibles causas de un defecto o área de oportunidad, las causas van enfocadas a los métodos, medio ambiente, maquinaria, materiales, medidas y la mano de obra.

Entre las causas más críticas que afectan la calidad de las estructuras es la combinación de materiales, en este caso el acero inoxidable y el galvanizado, pues para cada uno de ellos se tiene un material de aporte especial acorde a las características en sus aleaciones.

Al momento de combinar materiales con distintas propiedades químicas se pueden causar defectos como el chisporroteo, la falta de fusión, poros, etc., se investigará cual es la mejor manera de trabajar al unir estos elementos y que su unión no provoque defectos producidos por el proceso.

En el siguiente capítulo se desarrollarán las pruebas e investigación de cada una de las probables causas que provocan el chisporroteo y así poder establecer recomendaciones al proceso.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LAS CAUSAS PARA LA NO CONFORMIDAD

En el capítulo anterior fueron enumeradas algunas de las causas probables que provocan el defecto del chisporroteo, algunas tienen que ver con los materiales, otras con el proceso y algunas más con la documentación establecida en planta, en este capítulo se trabajará con las posibles soluciones a estas causas para que estas no influyan directamente en la calidad del producto y así reducir las condiciones que afectan al proceso.

Las diversas causas de estudio se analizarán en subtemas, de los cuales se obtendrá la información actual con que la empresa trabaja y se realizará el análisis de las posibles recomendaciones que puedan ayudar a la empresa y sus procesos; el primer subtema será el de los materiales y su influencia en la calidad del producto, aquí se desarrollarán un par de experimentos con la combinación de los materiales empleados en las estructuras.

4.1 Los materiales como causa principal del chisporroteo

El proceso de soldadura que la empresa Volvo utiliza se conoce como GMAW (Gas Metal Arc Welding), el cual utiliza un alambre sólido de alimentación continua, protegido por un gas que se encarga de crear una atmósfera protectora en el baño de fusión, esto para que no sea afectado por factores como el oxígeno que se encuentra en el medio ambiente.

El proceso GMAW se divide en dos variantes a las que se les conoce como:

- MIG (Metal Inert Gas). La peculiaridad de este proceso radica en el tipo de gas que se utiliza para proteger el arco de soldadura, pues por sus propiedades no se mezcla directamente con los elementos contenidos en los metales base ni con el material de aporte; la referencia antes mencionada es hacia los gases inertes, entre los más comunes para los procesos de soldadura se encuentran el Argón (Ar) y el Helio (He).
- MAG (Metal Active Gas). Este proceso utiliza mezclas activas de gas, el adjetivo activo se refiere a que existe la combinación de los elementos que constituyen la mezcla con los del metal base y el material de aporte, dependiendo la aplicación el estandar ISO 14175-2008 menciona algunas de las variantes tanto del tipo oxidante o reductor, de igual manera las recomendaciones de soldabilidad pueden encontrarse en las hojas técnicas del material de aporte.

A grandes rasgos se puede observar en la figura 4.1 la división de las variantes, para este caso de estudio se trabaja con una mezcla activa con base Argón (Ar) y dióxido de carbono (CO₂), la elección de esta mezcla es recomendación del proveedor del material de aporte por las propiedades de estabilidad de arco y buena fusión.

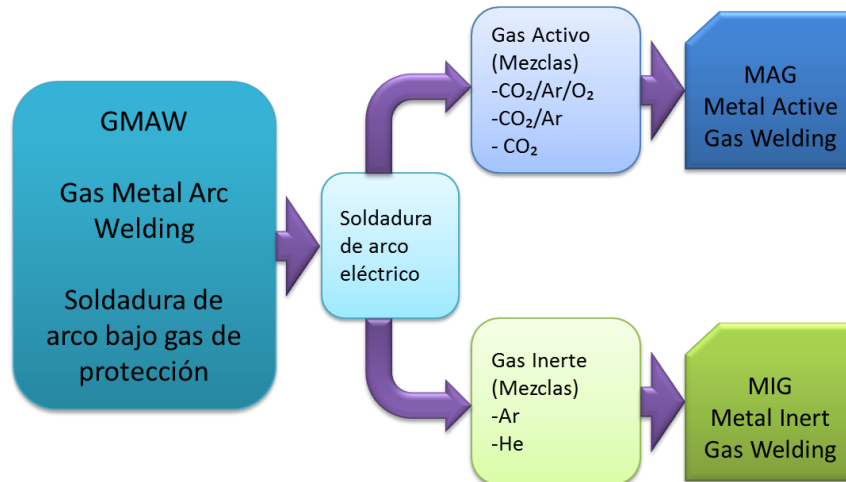


Figura 4.1 Procesos GMAW

4.1.1 Materiales de aporte

Para el proceso de soldadura utilizado por Volvo, las características generales del material de aportación utilizado son del tipo sólido, con la especificación de 0.35 pulgadas de diámetro y es suministrado en rollos de 15Kg para optimizar su uso, son utilizadas dos variantes en planta una de ellas es empleada en acero inoxidable y otra más en el acero galvanizado.

En el estándar ISO 14343 (Welding consumables — Wire electrodes, strip electrodes, wires and rods for arc welding of stainless and heat resisting steels — Classification) describe las propiedades de cada uno de los materiales de aporte; para los fines de este trabajo es necesario analizar el alambre utilizado para el acero inoxidable, al ser éste el que predomina en el uso de los procesos de Volvo.

La designación que se pretende encontrar es aquella que señale la factibilidad de uso en las uniones disímiles de los materiales que se manufacturan en Volvo. El material utilizado en Volvo acorde al estándar ISO 14343, se encuentra clasificado en tipos especiales y son comúnmente utilizados para uniones metálicas disímiles, la figura 4.2 muestra los principales elementos de la composición del material de aporte utilizado por Volvo.

Composición nominal ISO 14343-A	Composición química, % de masa		
	C	Cr	Ni
β	0,03	23,0 a 25,0	12,0 a 14,0

Figura 4.2 Elementos principales del material de aporte β

La composición del material β que utiliza Volvo, consta principalmente de los elementos Cr y Ni al ser un acero inoxidable ferrítico, el mismo porcentaje debe ser cercano al del material base en que se utiliza para que la unión de los materiales sea micro estructuralmente homogénea.

4.1.2 Combinación de materiales base

¿Por qué sucede la mezcla de materiales? La combinación de materiales en Volvo se da por las demoras en la entrega de los mismos o por reportarse como faltante, esto provoca que se utilicen las dos variantes en un mismo autobús. En su mayoría las unidades se manufacturan con acero inoxidable, la siguiente variante es el acero galvanizado; cuando el acero galvanizado no es surtido al área de producción por faltantes, debe sustituirse por acero inoxidable, siempre y cuando las dimensiones sean las mismas a las de las piezas que serán cambiadas, esto provoca un incremento en los costos por unidad, debido a que el acero inoxidable eleva los mismos.

Los retrabajos por realizar uniones disímiles representan gran pérdida de tiempo productivo y costos que no dan valor agregado al producto; pero cómo manufacturar este tipo de uniones evitando retrabajos posteriores. Para esto se llevan a cabo un par de pruebas que nos permitan observar los resultados actuales de las uniones disímiles y una prueba con la recomendación al proceso actual.

Objetivo de las pruebas

El desarrollo de las siguientes pruebas permitirá conocer:

- La soldabilidad de los dos tipos de materiales con los que Volvo manufactura autobuses, con y sin ningún tipo de preparación.
- Sanidad de la junta de soldadura mediante inspección visual con base al estándar STD 5605,51.
- Detección de posibles puntos de fractura mediante la prueba de líquidos penetrantes.

Información básica de la prueba

El material galvanizado se caracteriza por estar cubierto de una capa de zinc, esta capa contribuye a mantener libre de corrosión el material en su manejo y almacenamiento, el material inoxidable en cambio cuenta con propiedades intrínsecas anticorrosivas, esto se atribuye a los porcentajes de cromo en su composición.

La unión de dos materiales con distintas características como los ya mencionados se denomina disímil, su unión puede representar problemas de calidad y de resistencia, esto de no realizarse con el proceso y materiales de aporte correctos.

En la figura 4.3 puede observarse la manera en que se describe el nivel de calidad en el proceso de soldadura, la explicación va acorde a las clases de soldadura, estas son especificadas por la empresa, el tipo de producto que produce y las necesidades del cliente, "A" representa el valor más riguroso de admisibilidad de defectos en el proceso; Volvo toma como clase de soldadura a "C".

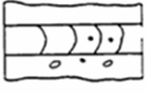
No. Categoría de defecto	Tipo de discontinuidad o defecto	Clase de soldadura			
		D	C	B	A
18	Golpes de arco y chisporroteo 	Son permitidos ocasionalmente pero sin fractura, el chisporroteo debe ser retirado.	Los golpes de arco no son permitidos, es permitido el chisporroteo globular a menos que no sea posible retirarse.	No es permitido	No es permitido

Figura 4.3 Categorías de calidad en el proceso de soldadura

Líquidos penetrantes

- a. Fundamento del método: La inspección por líquidos penetrantes es un ensayo no destructivo mediante el cual es posible detectar discontinuidades que afloran a la superficie de sólidos no porosos.
- b. Técnicas de ensayo: Se divide en relación del tipo de líquido penetrante, en:

-Ensayo con penetrantes fluorescentes: Se incorporan pigmentos que permiten que el líquido emita una fluorescencia muy intensa cuando se le ilumina con lámpara de luz ultravioleta.

-Ensayo con penetrantes coloreados: Estos incorporan pigmentos de color rojo brillante, que producen muy buen contraste con el color blanco del revelador.

El tipo de ensayo a emplear en la prueba, es la de los líquidos penetrantes coloreados, al ser los de más fácil uso, en el siguiente diagrama describimos el proceso de tal prueba.

Para comprobar la calidad de la unión realizada en la prueba se desarrolla el análisis no destructivo descrito en la figura 4.4. El fin de realizar esta prueba es la comprobación de las posibles fracturas a las que queda expuesta la pieza, esto dado que los poros no solo se presentan superficialmente.

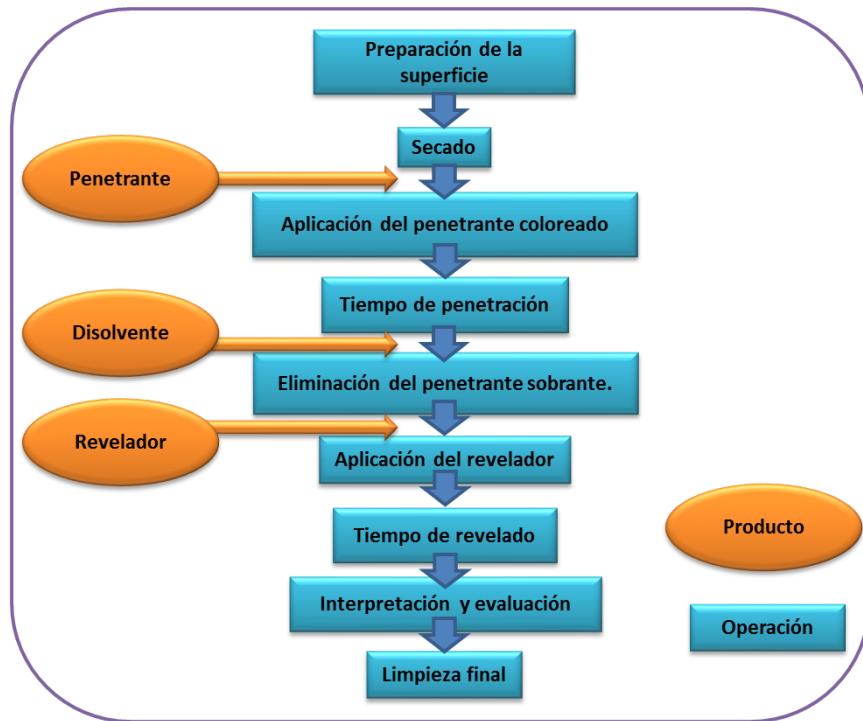


Figura 4.4 Diagrama de proceso, penetrantes coloreados

El proceso descrito en la figura 4.4 indica la forma en que se desarrolla una de las pruebas no destructivas más comunes en la industria de maquinados y soldadura, en las pruebas siguientes será utilizada la prueba para verificar la calidad de las juntas.

Prueba 1 Materiales disímiles

Procedimiento

Acorde con la figura 4.5, se realizará una soldadura en posición Vertical o PB¹ de un par de PTR's, en el mismo se analizará la cantidad de chisporroteo que puede resultar de la combinación de materiales químicamente diferentes y posteriormente una prueba no destructiva para observar su comportamiento más a detalle.

Materiales

- PTR acero galvanizado espesor 3mm, 170 mm de longitud.
- PTR acero inoxidable espesor 3mm, 170 mm de longitud.
- Material de aporte para acero inoxidable.
- Líquidos Penetrantes (Prueba no destructiva).

¹ Acorde a ISO6947, la posición PB es una posición sobre el plano horizontal que ocupa la pieza y con un ángulo a 45° o 135°, producido por el bisel de la preparación o la forma de los metales base.

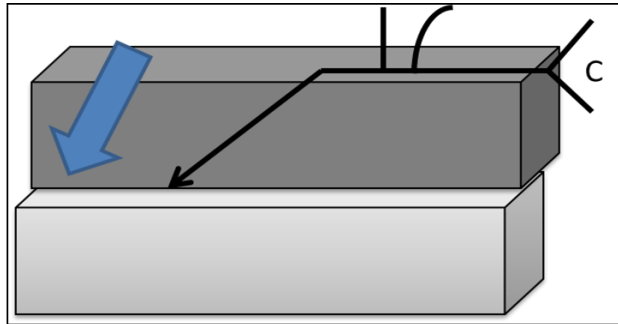


Figura 4.5 Unión acero galvanizado e inoxidable

La figura 4.5 representa una unión a traslape, con una de las caras redondeada por la forma del PTR y la otra plana pues ésta se ajusta a la mitad del material, no hay especificaciones de cordón por lo que se realizará a los largo de ambas piezas, la clasificación es C (Tolerancias de acuerdo al STD 5605,51).

Comparación de la unión con base al estándar interno STD 5605,51.

En la figura 4.6 se observa el resultado de la unión, la cual no refleja mucho chisporroteo, sin embargo sí existen poros en la unión, que de acuerdo con las tolerancias del estándar STD 5605,51 los poros son permisibles si cumplen con ciertas características.



Figura 4.6 Resultado de la unión de acero galvanizado e inoxidable.

El resultado de la prueba que se observa en la figura 4.6 se rige por la clase C del proceso, en el estándar reflejado por la figura 4.7 podemos observar que la tolerancia de un poro es que la extensión de este sea menor o igual a 0,1 veces el espesor del material más pequeño de la unión (t : espesor material), pero tendrá que tener como máximo 1,5 mm De la misma forma no debe cubrir un área mayor o igual a 10 mm².


No. Categoría de defecto	Tipo de discontinuidad o defecto	Clase de soldadura			
		D	C	B	A
9	Poros en la superficie 	La extensión de un simple poro debe ser $\leq 0.2t$, pero máx. 3mm; área total $\leq 25\text{mm}^2$	La extensión de un simple poro debe ser $\leq 0.1t$, pero máx. 1.5mm; área total $\leq 10\text{mm}^2$	La extensión de un simple poro debe ser $\leq 0.1t$, pero máx. 1.5mm; área total $\leq 5\text{mm}^2$	No es permitido

Figura 4.7 Defectos y discontinuidades (poros), extraído del STD 5605,51

En la figura 4.6 se observa que los poros están continuos, lo que en primer plano queda descartado al tener continuidad en un área menor a 10 mm^2 , los poros en la superficie de la pieza son solo el reflejo de su interior, pues este tipo de defectos por lo general presentan una continuidad volumétrica que afectan las propiedades de la unión.

Para hacer referencia clara de cómo se comportan los poros en las uniones soldadas, se puede observar un ejemplo representado en el ISO 5817:2003, se hace referencia del mismo en la figura 4.8, se observa que no solo el exterior es el que representa el defecto si no todo el interior de la junta soldada.

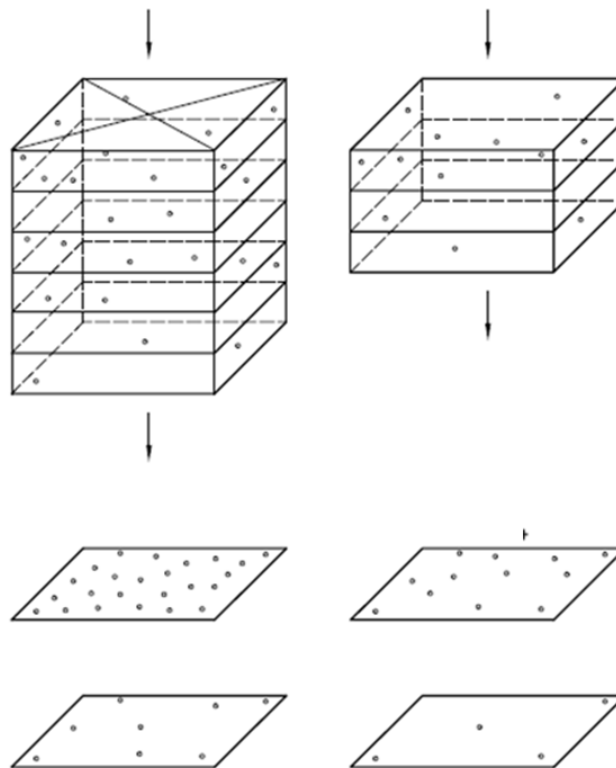


Figura 4.8 Radiografía del comportamiento de los poros por unidad de volumen, extraído del ISO 5817:2003

Es importante analizar el comportamiento que muestra el interior de una junta soldada con poros como el de la figura 4.8, los documentos establecidos por ISO demuestran distintos parámetros de estudios que apoyan al entendimiento general de la soldadura, el impacto que esto genera en la estructura y económicamente en retrabajos es lo que se debe corregir cuando se presente en las unidades armadas.

Análisis de la probeta mediante líquidos penetrantes

En la figura 4.9 sólo se confirma lo que anteriormente se realizó al analizar el estándar y la clase de la probeta realizada; en la prueba de líquidos penetrantes sólo se hacen más evidentes los posibles puntos de falla en la estructura, esto confirma que dicha unión puede presentar problemas estructurales de no realizarse un proceso especial para asegurar la unión.

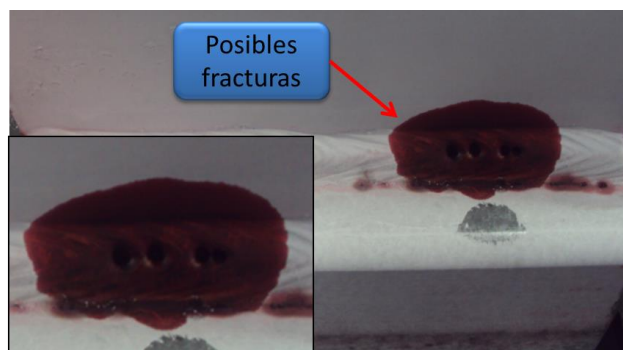


Figura 4.9 Prueba no destructiva en probeta 1

Prueba 2 Materiales disímiles con preparación

Procedimiento

En esta prueba se utilizarán los mismos materiales utilizados en la prueba anterior, con la diferencia de una preparación previa en la pieza de acero galvanizado, esto con la finalidad de comprobar si la unión puede cumplir con la calidad esperada.

En la figura 4.10 se observa el pulido realizado sobre la pieza de acero galvanizado, ya que cuenta con una cubierta de zinc, al retirarlo se espera eliminar un factor probable del chisporroteo. El galvanizado consiste en cubrir con una capa de zinc piezas de acero.



Figura 4.10 Preparación de probeta 2

La probeta de la prueba número 2 será soldada con respecto a la figura 4.5 de la prueba 1, la diferencia será vista por la preparación previa de la pieza en acero galvanizado, la finalidad será evitar las incidencias de la primera prueba.

Los resultados observados en la figura 4.11 reflejan un cordón más uniforme y sin imperfecciones aparentes superficialmente, su calidad será comprobada con el mismo procedimiento descrito en la figura 4.4, con esto se tendrán las mismas condiciones de estudio entre pruebas y se analizará si en realidad la junta soldada cumple con las características requeridas por los estándares.



Figura 4.11 Resultado de la probeta 2

En la figura 4.12 se muestran los resultados de la prueba con líquidos penetrantes esto con el fin de reiterar la calidad de la misma; se observa que la unión presenta uniformidad, sin ningún tipo de imperfección, al no presentar algún indicio en rojo es indicativo de estar libre de posibles fracturas, la unión puede darse por validada y cumple con los requerimientos técnicos de los documentos internos de Volvo.



Figura 4.12 Prueba no destructiva en probeta 2

4.2 Los métodos como causa principal del chisporroteo

Al hacer referencia de los métodos en el proceso de soldadura, deben ser analizados los documentos con los que los soldadores laboran, dado que puede ser la raíz de los detalles encontrados en la calidad de las estructuras.

Los documentos que pueden ser utilizados para facilitar los procesos de soldeo, deben ser para estos casos acompañados de una capacitación que compruebe la obtención del conocimiento de los mismos, ya que se habla de la mejora en el desarrollo de un proceso manual.

Los métodos es la relación entre el entendimiento del ejecutante y la información del proceso; la información puede ser alimentada por estándares, hojas de proceso y recomendaciones de personal con experiencia técnica, la capacitación de los operarios al entendimiento de los procesos y las maneras más adecuadas de realizarse son obligación del personal con la comprensión de los procesos o dueños del desarrollo de estos.

4.2.1 Técnicas de soldeo

La soldadura es uno de los procesos más utilizados por las empresas metalmecánicas, automotrices, constructoras y de la industria armamentista; el proceso puede ser mecanizado, robotizado o manual, en la última opción la búsqueda de personal con las habilidades adecuadas representa un reto, pues esto convierte a la mano de obra en una variable esencial del proceso.

El implementar el proceso de soldadura manual en una empresa, representa el desarrollo de procesos que contemplen la ergonomía y el desarrollo de las habilidades del personal; en planta no existen documentos a la vista del operario que indiquen las maneras correctas de realizar los procesos de soldadura.

La primera referencia y recomendación es acorde al estándar ISO 6947:2010 Welding and allied processes – Welding positions, en el cual se explican las posiciones correctas para realizar los procesos de soldadura y el nombre que se le da a cada una de ellas.

En los procesos de soldadura la posición representa un parámetro importante, ya que éste puede ser determinante para la fusión de los materiales y la ergonomía del proceso en producción, de no tomarle importancia se pueden crear detalles más grandes como faltas de fusión por el mal dominio de la posición o faltas de fusión por la poca accesibilidad del diseño.

En la figura 4.13 pueden observarse las principales posiciones en el proceso de soldadura, las mismas reflejan los ángulos de ataque y nomenclatura que se utiliza para hacer referencia de las mismas en planos y documentos.

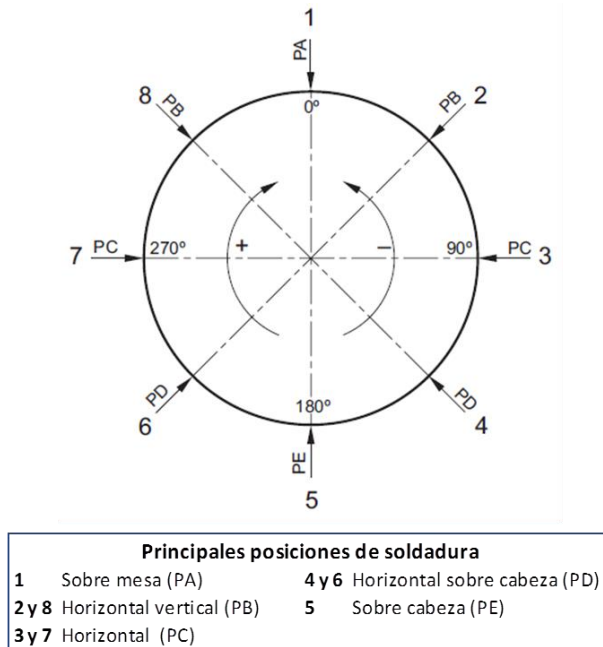


Figura 4.13 Principales posiciones de soldadura acorde a ISO 6947:2010

Los tipos de posición acorde a los estándares ISO pueden verse reflejados en los planos de construcción, de no ser así se recomienda hacer referencia al estándar; después del análisis de las posiciones principales en soldadura, es importante mencionar los ángulos de trabajo y de avance.

Los ángulo de trabajo y de avance se ven representados en la figura 4.14, la recomendación del uso de estas posiciones en el proceso GMAW en sus dos variantes, es para que el gas de protección no desarrolle turbulencias y con esto la entrada de oxígeno en la fusión de los metales, el cual puede ser causante de poros en la superficie del cordón y chisporroteo.

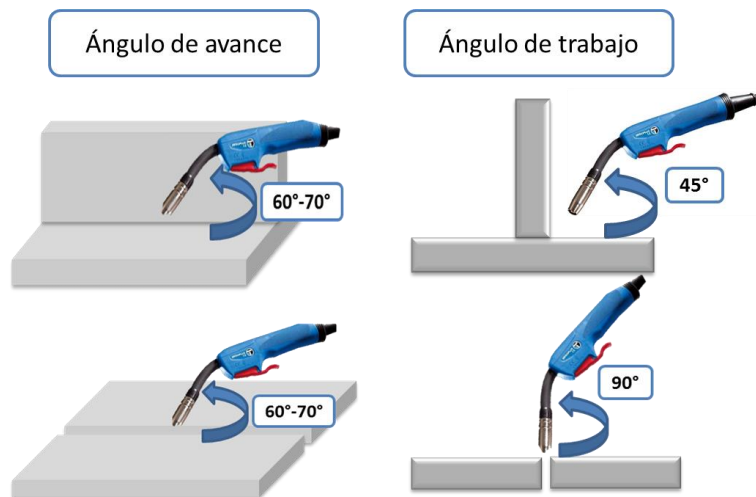


Figura 4.14 Ángulos de ataque y avance en soldadura GMAW

Acorde a las posiciones correctas y formales del proceso de soldadura con protección de gas, se desarrollan las recomendaciones adecuadas para los soldadores, si bien esto es algo básico del proceso, llevar a cabo algunas de estas posiciones o recorridos es posible que en algunos diseños no sean ejecutables, se propone monitorear las zonas con poca accesibilidad y dar las observaciones al Departamento de Diseño, se designa al área de procesos para tal responsabilidad.

4.2.2 Información técnica para el proceso

La información de un proceso como el de soldadura va desde los materiales y consumibles hasta el desarrollo de personal calificado; los parámetros que están en juego en la calidad de la unión de materiales puede verse afectada por el cambio de uno solo de sus factores para que se produzcan defectos o interrupciones en el desarrollo del mismo.

Volvo México utiliza solo hojas que representan los defectos de calidad más comunes del proceso, más no el proceso correcto que pueda prevenirlos; el camino correcto es investigar cuáles son los documentos adecuados para que un área de soldadura y sus procesos trabajen acorde a ISO.

El estándar que menciona los requerimientos de calidad necesarios para la empresa y las recomendaciones técnicas necesarias para llegar a ello es ISO 3834-2 (Quality requirements for fusion welding of metallic materials —Part 2: Comprehensive quality requirements), la descripción de los aspectos técnicos necesarios para cumplir con la calidad del producto son las siguientes:

- a) Especificación de los materiales y propiedades de las juntas soldadas;
- b) Requerimientos de calidad y aceptación de la soldadura;
- c) Localización, accesibilidad y secuencias de soldadura, incluyendo la facilidad de inspecciones y pruebas no destructivas;
- d) Especificación de los procesos de soldadura, proceso de pruebas no destructivas y proceso de tratamientos térmicos;
- e) El enfoque utilizado para la calificación de los procesos de soldadura;

- f) La calificación del personal;
- g) Selección, identificación y trazabilidad (por ejemplo para materiales, soldadura);
- h) Acuerdos de control de calidad, incluyendo cualquier intervención de un organismo de control independiente;
- i) Inspección y pruebas;
- j) Subcontratos;
- k) Tratamientos térmicos después de soldar;
- l) Otros requisitos de soldadura, por ejemplo, pruebas de lotes de consumibles, contenido de ferrita en el metal de soldadura, el envejecimiento, contenido de hidrógeno, respaldo permanente, el uso de granallado, acabado superficial, perfil de soldadura;
- m) El uso de métodos especiales (por ejemplo, para lograr una penetración completa sin respaldo cuando la unión se realiza de un solo lado);
- n) Dimensiones y detalles de la preparación de la junta y la soldadura completa;
- o) Soldaduras que han de realizarse en el taller, o en otra parte;
- p) Las condiciones ambientales pertinentes a la aplicación del proceso (por ejemplo, de muy baja temperatura ambiente, condiciones o cualquier necesidad de dar protección contra condiciones climáticas adversas);
- q) El manejo de las no conformidades.

4.3 La maquinaria como causa principal del chisporroteo

El proceso de soldadura por arco eléctrico bajo gas protector, es relativamente nuevo en comparación con los demás procesos de soldadura, este comenzó a utilizarse en 1948 en la soldadura de Aluminio (Al), Magnesio (Mg) y en 1951 a los aceros al carbono, con un gas protector inerte. El precio elevado de los gases inertes llevó a la investigación de los gases activos, puros y mezclas.

Mientras que en Europa se soldaba con hilos macizos en sus procesos con gases protectores, Estados Unidos con el fin de cuidar su economía implementa los alambres autoprotegidos con fundentes que cuidan el arco eléctrico, esto con el fin de independizarse económicamente de los gases de protección; ambos procesos son actualmente utilizados en la industria metalmecánica y los electrodos autoprotegidos se utilizan para algunas aplicaciones al aire libre.

Volvo trabaja con maquinaria adecuada para los procesos MIG y MAG, utilizando rollos de alambre de 15Kg y gas de protección adecuado a la red general del área; en encapsulado se trabaja con alrededor de 80 máquinas de las mismas características que en la figura 4.15, divididas en las 13 estaciones de trabajo, algunas de ellas con más de 15 años de antigüedad.



Figura 4.15 CP302 Miller. Recuperado de <http://www.millerwelds.com/products/mig/cp-302/>

En el área de encapsulado no puede existir incertidumbre de parar producción por el mal funcionamiento o descompostura de la maquinaria, esto necesita estar cubierto por un plan de mantenimiento adecuado a la maquinaria existente en el área.

El Departamento de Mantenimiento es el encargado de asegurar que la maquinaria se encontrará en las mejores condiciones operativas, esto es posible con el manejo del plan de mantenimiento preventivo y correctivo, esto dado que existen máquinas con una edad productiva grande lo cual no permite asegurar que no fallará en el proceso; tras analizar que el departamento responsable

de la maquinaria no cuenta con un plan de mantenimiento, en la figura 4.16 se propone lo siguiente:

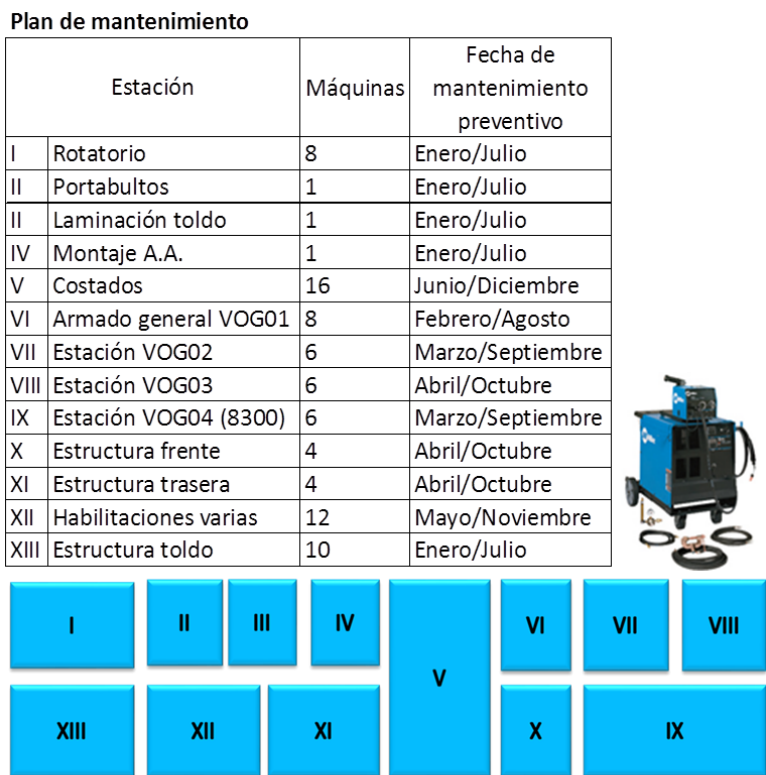


Figura 4.16 Plan de mantenimiento preventivo

El proceso del plan de mantenimiento preventivo es adecuado a las recomendaciones del proveedor, el cual indica el proceso y tiempo entre cada mantenimiento preventivo, el mantenimiento preventivo realizado en la maquinaria es cada 6 meses, en donde se realiza una limpieza completa del equipo y el cambio de elementos eléctricos y mecánicos que así lo necesiten, esto para asegurar su buen desempeño en producción.

El mantenimiento correctivo es aquel que se realiza cuando las máquinas fallan aún y cuando se ha realizado una correcta prevención a la falla, es importante que el Departamento de Mantenimiento esté preparado para cubrir la demanda de máquinas en los casos imprevistos.

4.4 La mano de obra como causa principal del chisporroteo

El recurso humano como causa de los defectos de soldadura puede comprender varias etapas y fases de responsabilidad, esto puede ser al momento en que el área de recursos humanos no contrata al personal adecuado y calificado para el trabajo, la falta de capacitación de los soldadores en planta y la actitud del soldador al no desarrollar su trabajo en base a los documentos recomendados.

Este trabajo contemplará solamente los requisitos necesarios para contar con personal calificado, acorde al tipo de industria en que Volvo participa; por otra parte haciendo referencia al ISO 3834_2, es posible contar con la siguiente información:

Extracto del estándar ISO 3834_2, acorde al personal de soldadura:

7 Personal de soldadura

7.1 Generalidades

El fabricante deberá tener a su disposición personal suficiente y competente para la planificación, ejecución y supervisión de la producción de soldadura de acuerdo con los requisitos especificados.

7.2 Los soldadores y operadores de soldadura

Los soldadores y operadores de soldadura deberán ser calificados por una prueba apropiada. Los documentos de la ISO a la que se requiere cumplir con los requisitos de calidad se especifican en la norma ISO 3834-5: 2005, Tabla 1, para la soldadura por arco, soldadura por haz de electrones, la soldadura de rayo láser y la soldadura de gas, y en la norma ISO 3834-5: 2005, Tabla 10, para otros procesos de soldadura por fusión.

7.3 El personal de coordinación de soldadura

El fabricante deberá tener a su disposición el personal adecuado de coordinación de soldadura. Esas personas que tienen la responsabilidad de las actividades de calidad deberán tener autoridad suficiente para las acciones necesarias que deban tomarse.

Las tareas y responsabilidades de dichas personas deberán estar claramente definidas. Los documentos de la ISO a la que se requiere cumplir con los requisitos de calidad se especifican en la norma ISO 3834-5: 2005, Tabla 2, para la soldadura por arco, soldadura por haz de electrones, la soldadura de rayo láser y la soldadura de gas, y en la norma ISO 3834-5: 2005, Tabla 10, para otros procesos de soldadura por fusión.

4.4.1 Falta de capacitación al soldador en Volvo

El desarrollo profesional del personal de cualquier empresa no debe ser visto como un gasto, sino como una inversión, siempre y cuando se le dé el enfoque correcto a las necesidades del mercado; en ciertas ocasiones las empresas no invierten en el desarrollo intelectual de los empleados, por el miedo de que una vez que éste sea capacitado, busque mejores opciones de desarrollo fuera de ella.

En la empresa Volvo no se cuenta con capacitación específica del proceso de soldadura que utiliza, comúnmente se recurre a proveedores, los cuales desarrollan cursos con el fin de seguir

solidificando la relación cliente-proveedor, sin embargo estos no cuentan con algún tipo de certificación o validez oficial.

Las necesidades de capacitación deberán ser acordes a los estándares de soldadura, requerimientos de calidad y procesos que el producto conlleve, por lo que será necesario realizar un sondeo de las empresas especializadas en procesos de soldadura.

Actualmente en el mercado es posible contar con los servicios de dos empresas certificadas por el IIW (International Welding Institute), la cual es la institución que dictamina las reglas y estándares para los procesos de soldadura en más de 54 países; la institución con sede en Europa cuenta con dos organismos capaces de proveer capacitación, calificación y certificación de procesos y personal; Cominsa e ISTUC, son las instituciones que ofrecen los servicios adecuados para que Volvo desarrolle el personal y los procesos de manera correcta, bajo el esquema ISO.

4.4.2 Proceso de selección

El área de recursos humanos se limitó a no dar informes acerca de los criterios de selección de personal del área de soldadura, el área sindical informa que los requisitos para poder trabajar como soldador en Volvo, se limitan a los conocimientos teóricos de soldadura y experiencia mínima de 2 años en el proceso.

Es posible que el proceso de selección sea una de las principales causas para la calidad del proceso, si bien no existe un departamento que gestione específicamente el proceso, este no podrá ser controlado, ni cumplirá con los requisitos de los clientes.

Analizando el estándar ISO 3834 requerimientos de calidad, se tienen que realizar pruebas acorde al proceso utilizado, en este caso se habla de un proceso GMAW en su variante MAG o 135 de acuerdo con el estándar ISO 4063 (Welding and allied processes - Nomenclature of processes and reference numbers), por el tipo de material base acorde a la aleación utilizada, los materiales de aporte recomendados por ISO 14343 (Welding consumables — Wire electrodes, strip electrodes, wires and rods for arc welding of stainless and heat resisting steels — Classification), la mezcla más adecuada según ISO 14175 (Welding consumables — Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes).

La prueba debe ser analizada por alguien con la jurisdicción necesaria según el estándar ISO 14731 (Welding coordination — Tasks and responsibilities) o una entidad externa, se recomienda contar con los procesos certificados o WPS's (Welding Procedure Specification, Especificaciones del Proceso de Soldadura) correspondientes.

4.5 Las medidas como causa principal del chisporroteo

Cuando el análisis de las causas se puso a discusión por parte del equipo multidisciplinario del área, el criterio de medida fue tomado como la falta de parámetros adecuados al momento de soldar; hasta ese momento era un criterio adecuado a lo que se estaba analizando, pero tras realizar la investigación de los estándares, no es posible tomar en cuenta este punto al no contar con elementos específicos al proceso que Volvo utiliza.

El análisis de los parámetros más adecuados para los materiales que se utilizan en la fabricación de autobuses, debe ser realizado por personal calificado, mediante un estudio en el que sea posible obtener los datos de voltaje, amperaje y flujo de gas más adecuados al proceso; en la revisión de los estándares que hablan de procesos de soldadura, se menciona mucho el término WPS (Welding Procedure Specification).

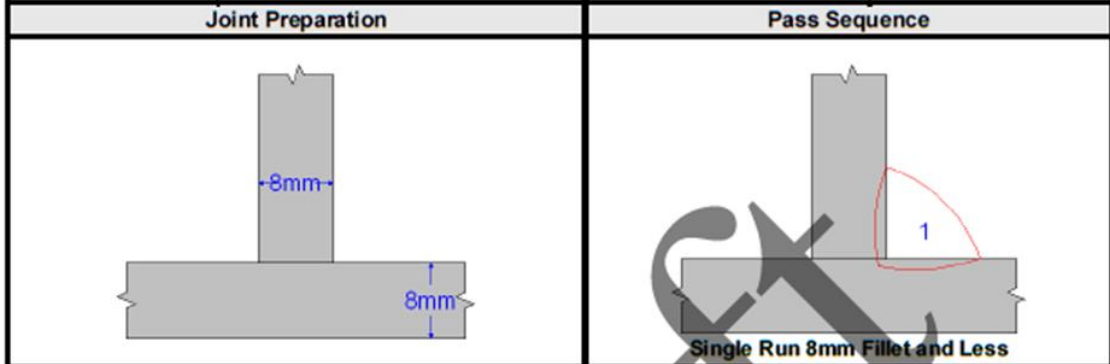
En la figura 4.17 es posible observar un ejemplo de WPS, el mismo es compuesto por una serie de recomendaciones y especificaciones que indican lo más adecuado para realizar ese trabajo, para que esto quede más explícito es necesario explicar sus componentes.

Technoweld Pty. Ltd. Welding Procedure Specification

a

Project: Company Standard Procedure		PQR No.: PQR-001	WPS No.: WPS-001-R1
Welding Code:	AS/NZS 1554.1-2011	Material Grade:	AS3678 Gr. 250/ 300/ 350
Welding Process:	GMAW	Thickness:	8mm
Position:	2F (PB)	Material Type No. / Group No.	1 and 4 / 1 to 5
Joint Type:	Single Run Fillet	Material Heat No:	n/a

b



c

Joint Tolerances		Diameter – Thickness Range		Thermal treatment	
Bevel Angle:	n/a	Pipe Diameter:	All	Preheat °C:	≥10°C see note
Root Gap:	n/a	Thickness Range:	All	Inter-pass °C:	≤250°C
Root Face:	n/a	Combined Thickness:	All	P.W.H.T.:	n/a

d

Consumable Details and Welding Parameters											
Consumable Classification		ES6-GC/M-W503AH		Technique:		Forehand / Push					
Trade Name:		n/a		Electrode Stickout:		8-12mm					
Batch No:		n/a		Metal Transfer:		Globular					
Tungsten Type/Size:		n/a		Purge Gas / Flow Rate:		n/a					
Shielding Gas:		Argon / 16% CO ₂ / 2.5% O ₂		Inter-run Cleaning:		Grind / Brush					
Flow Rate:		14-18 Lpm		Flux Class / Batch:		n/a					
Run No.	Side	Pos.	Electrode/Wire		Gas/Flux Type	Amps	Volts	Polarity	Travel Speed mm/min	Interpass Temp °C	Heat Input KJ/mm
1	1	2F	0.9mm	ES-6	Argon / CO ₂ / O ₂	216-264	26-30	DC+	206-278	Max 250°C	1.71

e

Notes and Approvals		
<p>See attached PQR for evidence of qualification Pre heat to comply with AS1554.1-2011 Table 5.3 dependant on combined thickness Gr. 250/300 Combined Thickness <30mm 10°C, 30mm-50mm 25°C, >50mm 50°C Gr. 350 Combined Thickness <30mm 10°C, 30mm-40mm 25°C, 40mm-50mm 50°C, 51mm-70mm 75°C, >71mm 100°C Gas: Argoshield Universal (51) ES6-GM-W503AH = B-G49 3U / ER70S-6, Welding parameters limited to Amps ±10% - Volts ±7% - Travel ±15% of PQR</p>		
<p>CSWIP 3.2 WELDING INSPECTOR # 58470 IIW WELDING INSPECTOR Comprehensive # AU0013 WTIA SENIOR FABRICATION INSPECTOR # 0002 WTIA SENIOR WELDING INSPECTOR #0088</p>		<p>Graham Fry</p>
Prepared By: Graham Fry	Date:	14/1/14
Manufacturer Approval:		

www.technoweld.com.au

Figura 4.17 Ejemplo de un WPS. Recuperado de <http://www.technoweld.com.au/wp-content/uploads/2014/10/WPS-001-sample.pdf>

En la parte **a** del documento WPS, hace referencia al número de WPS, proceso de soldadura, posición de soldadura, número de pasadas de aporte en el ejercicio, grado del material base, espesor de la materia prima y grupo al que pertenece acorde a su aleación.

En la parte **b** del documento es posible observar el acomodo de las piezas a soldar, un esquema de los espesores necesarios para la prueba, el tamaño de garganta de soldadura y en algunas ocasiones se agrega una macrografía del resultado obtenido con los parámetros del documento.

En la parte **c** del WPS se colocan las tolerancias que tendrá la junta soldada, si es que no hay restricción no será tomada en cuenta, los diámetros si se refiere a un proceso realizado en tubería y las especificaciones del tratamiento térmico necesarias.

Los elementos de la parte **d** del documento, hacen mención a los parámetros que serán utilizados en la prueba, estos van desde el flujo de gas que será utilizado, el voltaje, corriente y polaridad (referente a la conexión de la pinza de tierra en los polos de la maquina) utilizados, hasta algunos elementos finos del proceso, en este caso el stickout que hace referencia a la distancia de la punta de la antorcha a la zona que será soldada, la velocidad de avance en caso que el proceso se desarrolle manualmente y la preparación recomendada previo a soldar.

Por último, la parte **e** del documento hace referencia a las fechas en que se realizó el proceso, un resumen de los elementos utilizados y el visto bueno por parte de una entidad con la capacidad de certificar los procesos.

4.6 El medio ambiente como causa principal del chisporroteo

El proceso de soldadura que Volvo utiliza en la fabricación de autobuses, trabaja con un gas de protección el cual ayuda a que el aire atmosférico no influya en la fusión de los materiales a unir, es importante para este proceso no tener grandes entradas de aire que afecten.

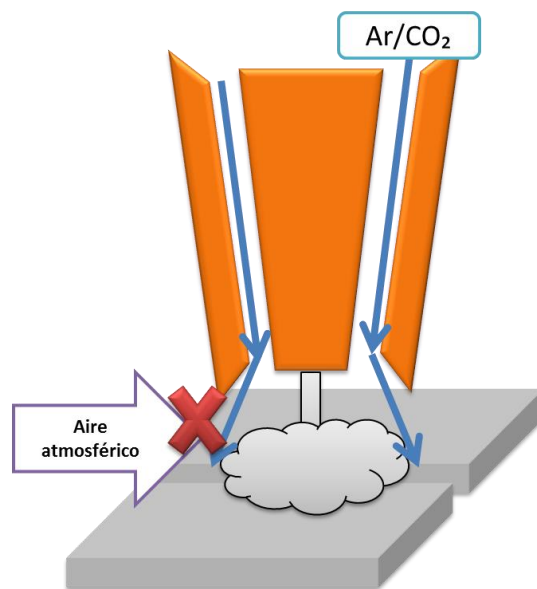


Figura 4.18 Gas de protección y sus ventajas

El aire ambiental puede ser factor del chisporroteo o poros, ya que estos defectos son producidos por introducción de oxígeno en el baño de fusión, algunos otros aspectos que se deben cuidar en el proceso de soldadura de aceros es la humedad; la humedad favorece la inclusión de hidrógeno en el baño de fusión lo que llega a provocar fracturas en el material depositado, por lo que se recomienda un lugar adecuado para el almacenamiento de los materiales y una limpieza previa a soldar.

Las condiciones ambientales también deben ser controladas, en países con temperaturas debajo de los cero grados es necesario implementar sistemas de calefacción para que la soldadura y los materiales no tengan cambios bruscos en su microestructura, además de que si es manual el proceso no influya en las capacidades del soldador.

En Volvo el proceso de soldadura se lleva a cabo en una nave individual a los demás procesos, por lo que no existen grandes columnas de aire que lleguen a influir en la calidad de la junta soldada, de la misma manera las temperaturas no son extremas y el material está resguardado bajo techo para su prevención a la corrosión atmosférica, por lo que se descarta que tenga impacto el medio ambiente con la calidad de soldadura en planta.

CAPÍTULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACION Y ESTUDIO

El análisis realizado en el área de estructuras de los autobuses Volvo, representa una metodología de estudio de los procesos y recursos de una empresa, es importante saber que en ocasiones la causa más común resulta ser la menos inherente al proceso; aspectos como la administración de los defectos, el mantenimiento de maquinaria, la información técnica y capacitación, suelen no dársele la importancia que las empresas deberían hasta que estas impactan directamente en la calidad del producto.

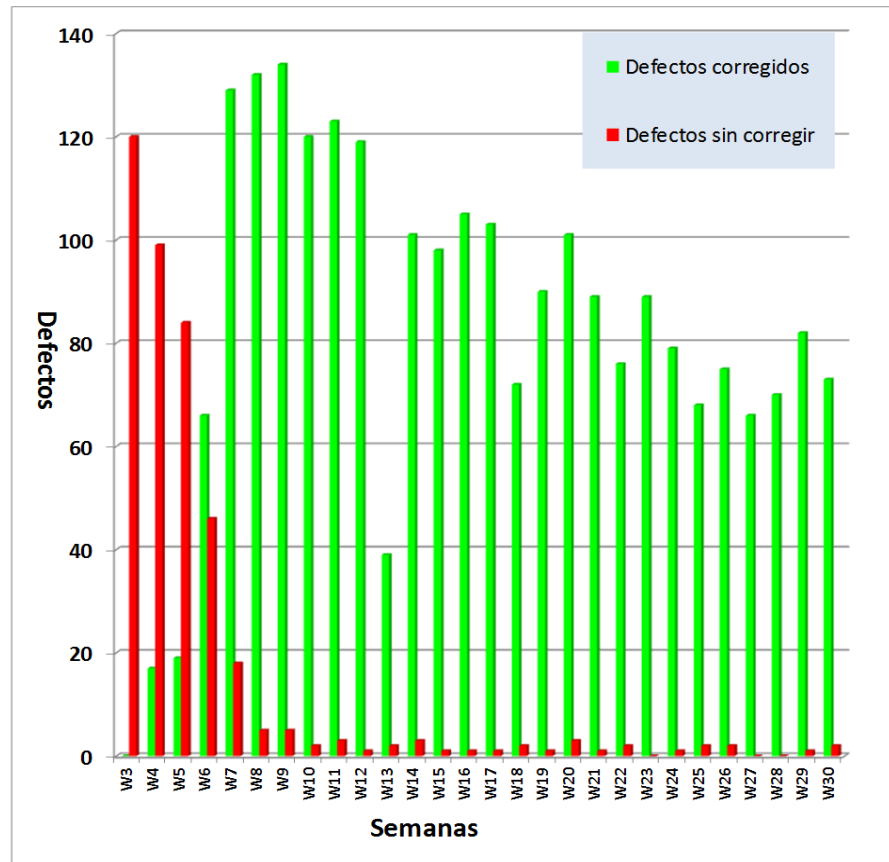
En el siguiente capítulo se presentarán los resultados obtenidos al igual que el desempeño del formato de detección de defectos en las áreas, con la finalidad de conocer si el trabajo desarrollado puede contribuir con las mejoras en calidad y eficiencia de los procesos en el área de estructuras.

5.1 La administración de los defectos

El desarrollo de este trabajo comenzó con la detección, administración y metodología de corrección de defectos, los que son detectados en el proceso de soldadura de autobuses, en el transcurso de esto se monitoreó diariamente el comportamiento del sistema establecido, lo que permitió localizar la estación y defecto más repetitivo de una manera más ordenada.

La figura 5.1 representa el comportamiento y los resultados obtenidos tras implementar la metodología para la solución de los defectos de soldadura, en la gráfica se puede ver la cantidad de defectos y la semana en que se trabajaron o no los defectos; es observable que al principio los defectos no se corregían, esto es demostrado por las barras en rojo que al principio eran muy altas y comandaban los resultados del área.

Semana	Defectos corregidos	Defectos sin corregir
W3	0	120
W4	17	99
W5	19	84
W6	66	46
W7	129	18
W8	132	5
W9	134	5
W10	120	2
W11	123	3
W12	119	1
W13	39	2
W14	101	3
W15	98	1
W16	105	1
W17	103	1
W18	72	2
W19	90	1
W20	101	3
W21	89	1
W22	76	2
W23	89	0
W24	79	1
W25	68	2
W26	75	2
W27	66	0
W28	70	0
W29	82	1
W30	73	2



5.1 Solución de defectos semanal

El gráfico mostrado comenzó al paso de las semanas a cambiar de color, esto dado que los responsables estaban tomando acciones para la solución de los problemas que aparecían después de inspeccionar las unidades. Al llevar ya 17 semanas con la metodología empleada, los defectos no solo fueron resueltos, también fueron reduciéndose y siendo implementadas las diversas soluciones a los defectos más comunes encontrados.

La administración del gráfico de los defectos detectados por unidad, queda a cargo del área de calidad la cual se hará responsable de documentar y liderar en la solución de los detalles que se detecten en el área de estructuras.

5.2 Análisis del resultado de las causas estudiadas

En el capítulo anterior fue realizado el análisis de las causas detectadas por el equipo multidisciplinario del área de estructuras, resultando en un par de experimentos en la parte de materiales, información técnica de apoyo al proceso, recomendaciones a los planes de mantenimiento de la planta y un análisis de los métodos empleados para mejorar los conocimientos de los soldadores.

En el análisis de los materiales se realizaron un par de pruebas de soldadura, con la finalidad de revisar si la combinación de materiales provocaba el desperfecto en las uniones de soldadura, si bien no es tan común tal combinación en el proceso diario, es necesario eliminar este punto para prevenir inconformidades posteriores, uno de los principales elementos que provocan una

soldadura de mala calidad es el zinc, el cual sirve de protección anticorrosiva a las piezas que conforman los ensambles en los autobuses producidos por Volvo.

La prueba con materiales disímiles arrojó resultados que no se esperaban, pues los defectos aquí detectados fueron diferentes al que se había pronosticado; los poros resultantes en la prueba comprobaron que es necesario un retrabajo antes de poder realizar tal unión, por este caso se decidió recomendar un pulido del área a soldar en la pieza compuesta por un recubrimiento de zinc, ya que esto asegura la calidad del acabado en el proceso y la unión.

La maquinaria como factor intrínseco en el proceso no es tomado en cuenta la mayoría de las ocasiones, por lo que la recomendación es llevar a cabo un plan de mantenimiento que permita a los soldadores no preocuparse del estado en que se encuentran sus equipos, siempre y cuando se les de uso correcto y sigan el plan de mantenimiento propuesto.

El medio ambiente como factor de los defectos de soldadura, no representó un factor que impactara seriamente en los procesos del área, dado que el área de soldadura se encuentra totalmente aislada de los demás procesos y el único aire que circula es el de los sistemas de extracción que ayudan a ventilar el área y no afectan al proceso.

Los métodos comprueban que es necesario un apoyo teórico en el proceso y técnico en las recomendaciones de aplicación, si bien es común encontrar soldadores que aprendieron por la práctica, no siempre resultan del todo aptos para realizar procesos críticos, pues existe un lazo entre teoría y práctica que en cuanto a soldadura no se debe dejar de lado, esto dado que los procesos de soldadura involucran aspectos eléctricos, químicos, metalúrgicos y físicos.

Las medidas como parte crítica del proceso de soldadura, son los modelos comparativos que utilizará el operario al verificar su trabajo en primera instancia, es importante para el caso de autobuses capacitar bien al personal en cuanto a las restricciones del proceso, análisis de los defectos o fallas y reparación o corrección de las juntas soldadas, pues ellos representan el primer filtro y deben ser capaces de valorar cuándo un trabajo está bien y mal realizados.

La mano de obra como parte fundamental de los procesos de soldadura en Volvo se debe evaluar desde el momento en que es contratado el personal para desarrollar las estructuras de los autobuses, llevando a cabo un proceso en el cual se evalúen sus capacidades tanto técnicas como teóricas; si bien el personal ya fue contratado sin haber tomado en cuenta estos puntos, es necesario contratar o desarrollar la capacitación más adecuada a la mejora de los procesos y aseguramiento de calidad en las uniones.

La soldadura es un proceso que involucra diferentes ciencias que van desde las físicas, químicas y hasta las sociales para el caso de Volvo, por esto es importante analizar cada aspecto que pueda llegar a impactar en la calidad de las estructuras de la marca, involucrando a todas las áreas responsables o que intervengan en los trabajos de las estructuras.

CONCLUSIONES

Establecer las conclusiones de un trabajo de este tipo, obliga a realizar una retrospectiva de los objetivos planteados y analizar lo que se logró con la metodología planteada; aquellos puntos que se plantearon al inicio de este informe fueron:

- Identificar los defectos más comunes en el proceso de soldadura para la producción de autobuses, así como ver cuál o cuáles de ellos impactan más en la calidad del producto final.

Esta meta fue lograda al momento de comenzar la administración de los defectos en el área, así como el inicio de documentar los mismos, esto permitió la facilidad de detectar aquellos defectos que eran más repetitivos y su comparación con los estándares establecidos por Volvo.

- Determinación del impacto económico de la falla más relevante.
En el informe fue desarrollado un ejemplo de retrabajo más común afuera del área, esto sirvió como ejemplo para ver el impacto monetario que significa emplear a personal fuera del horario de trabajo y enviar al personal para realizar los trabajos fuera del punto de instalación original; los costos pronosticados de ahorro van de los 120 a los 490 mil pesos de ahorro anuales.

- Análisis del proceso actual y generación de los diagramas de flujo correspondientes al proceso.

El proceso del flujo actual de armado para la estructura de los autobuses, no está desarrollado para el área de estructuras, dado esto fue desarrollado un diagrama que ejemplifica las estaciones y el recorrido de las estructuras, esto facilitó la identificación de la estación que contribuye con más defectos.

- Determinación del área de producción en donde ocurre la falla más recurrente.
Una de las herramientas que se utilizó para la identificación de la estación con más defectos en el proceso, es conocida como diagrama de Pareto, esta técnica ayuda a dar porcentajes y a segregar los defectos para este caso en específico; de la misma manera se hizo uso de un mapa del área, que ayudará a identificar fácilmente con el uso de un semáforo que indique la criticidad de las estaciones.

- Revisión de las especificaciones técnicas del proceso de soldadura.

En la búsqueda de las restricciones de calidad que han sido o deben ser establecidas en Volvo se encontraron el STD 5605,51, este estándar hace una recopilación de lo que ISO tiene repartido en varios documentos, haciéndolo más manejable al momento de ser utilizado internamente.

- Aplicación de una lluvia de ideas para detectar las causas posibles de la falla más repetitiva.

El trabajo en equipo siempre debe de representar la base para las organizaciones, este trabajo no es la excepción pues se tuvo la colaboración del equipo de 4 (ver figura 3.5) del área de estructuras, desarrollando una lluvia de ideas que contempla diversos puntos de vista.

- Elaboración de un diagrama de Ishikawa, conjuntamente con el equipo técnico, para resumir la información presentada en el punto anterior.
El diagrama realizado en conjunto con el equipo multidisciplinario del área sirvió para poder realizar las investigaciones y las recomendaciones al proceso y maquinaria necesarios para el área de soldadura.
- Generar propuestas para dar solución a las causas resultantes de los defectos.
El cuarto capítulo analiza todas las causas planteadas por el equipo y en ellas fueron desarrolladas las propuestas, de la misma manera en el quinto capítulo se realiza un resumen de los hallazgos.
- Realizar el análisis de las mejoras que se realizaron al proceso de soldadura mediante este trabajo.
El quinto capítulo sirve como resumen de lo desarrollado en el informe profesional.

La sistematización utilizada en el aseguramiento de calidad de las estructuras Volvo, resultó más amigable al haber utilizado una metodología formal en la búsqueda de las áreas de oportunidad del departamento, esto con el apoyo del equipo multidisciplinario del área y la documentación necesaria para basar el trabajo a lo establecido; dicho esto puede decirse que fue logrado el objetivo del estudio realizado.

BIBLIOGRAFÍA

-Horwitz, Henry. Soldadura: aplicaciones y práctica. Primera edición. García Díaz, Rafael. Traducción. México: ALFAOMEGA, 2006. 786p. ISBN 970-15-0230-2.

-Romero/Muñoz/Romero. Introducción a la ingeniería, un enfoque industrial. México: THOMSON EDITORES, 2006. 394p. ISBN 970-686-555-1.

-Holmsen, Marius. Corporate standard, 5605,5. VOLVO 2005. 15p.

-Reina, Manuel. Soldadura de los aceros. 4ta. Edición. Madrid, España. 506 p. I.S.B.N.: 84-607-7487-2.

-Avner, Sydney H., Introducción a la metalurgia física. Segunda edición. Barrios M., José Luis, traducción. Mc Graw-Hill, México DF. ISBN 0-70-002499-5.

-Smith, William F., Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.4ta edición. Nagore, Gabriel, traductor. Mc Graw-Hill, México DF. ISBN -13: 978-970-10-5638-7.

-ISO 5817, Soldadura, Niveles de calidad para imperfecciones, 2ed 2003-10-01, Suiza.

-ISO 6947, Soldadura, Principales posiciones, 2ed 1993, Madrid España.

-ISO 4063, Soldadura, Procesos y números de referencia.

-ISO 3834, Soldadura, Niveles de calidad en soldadura.

-ISO 14731, Soldadura, Coordinación de soldadura.

-ISO 14343, Soldadura, Consumibles (alambres).