



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**APLICACIONES DEL RAYO LASER EN MAQUINA
DE CORTE FOCUS**

INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA ELECTRICA – ELECTRONICA**

P R E S E N T A:

CARLOS ALBERTO JIMENEZ BAEZ



ASESOR DE TESIS: ING. ALEJANDRO SOSA FUENTES

CIUDAD UNIVERSITARIA Noviembre de 2015



Tabla de contenido

1. Objetivo.	6
2. Introducción.	7
3. Teoría general del rayo Láser.	11
3.1 Conservación de la energía con reflectores.	13
3.2 Concentración de la energía.	14
3.3 Láseres de gas.	14
3.4 Resonancia.	14
4. Principio óptico de operación.	16
4.1 Óptica geométrica.	17
4.2 Óptica ondulatoria.	18
4.3 Teoría ondulatoria de la propagación.	19
4.4 Teoría fotónica de la radiación electromagnética	20
5. Elementos básicos de un Láser.	21
5.1 El medio activo.	21
5.2 La cavidad de resonancia óptica.	22
5.3 La fuente externa de energía.	23
5.4 Elementos ópticos del laser	23
6. Clasificación de los láseres de acuerdo a la norma UNE-EN 60825-1/A2:2002	24
6.1 Requisitos mínimos de seguridad	25
6.2 Etiquetado	26



7. Aplicación del Láser en procesos de corte.	31
7.1 Descripción de las etapas y partes constitutivas.	34
7.1.1 Generación de las geometrías a cortar	35
7.1.2 Programación del software de corte.	35
7.1.3 Resonador o fuente Láser.	35
7.1.4 Camino óptico del haz.	36
7.1.5 Sistema de enfriamiento.	38
7.1.6 Cabeza o boquilla de enfoque.	40
7.1.7 Sistema de extracción de humos.	44
7.2 Diagrama de bloques general del proceso de corte.	45
7.3 Diagrama elemental de interacción y forma de señales.	46
7.3.1 Máquina de corte, control automático de los motores DC.	47
7.3.2 Control automático de posición.	48
7.3.3 Estructura del contador.	48
7.4 Características particulares y principio de operación de sensores, codificadores y servomotores.	49
8. Alcance de la aplicación	53
8.1 Presentación de equipos Focus y Laser Rofin	57
9. Participación profesional y descripción de actividades	59
9.1 Actividades como Ingeniero de campo	60
9.2 Recepción de equipos	61
9.3 Instalación de cortadoras Focus	63
9.3.1 Distribución de cableado	63



9.3.2 Conductos de aire y agua de enfriamiento	64
9.3.3 Tuberías de extracción de gases	65
9.3.4 Nivelación de elementos	67
9.3.5 Conexiones y voltajes	67
9.3.6 Conveyor de corte y mesa de alimentación	68
9.3.7 Alineación y tensiones de bandas motrices	70
9.3.8 Revisión de variadores X-Y	71
9.3.9 Sistema óptico en cortadora	72
9.3.10 Interface de comunicación	73
9.3.11 Alineación final del Laser	74
9.3.12 Revisión de computadora y software	74
9.4 Instalación de Laser Rofin-Sinar	74
9.4.1 Alimentación y cableado de unidad Laser	75
9.4.2 Conductividad del agua	76
9.4.3 Corriente de filamento	77
9.4.4 Corriente de rejilla	77
9.4.5 Voltaje de ánodo	78
9.4.6 Óptica interna del Laser	79
9.4.7 Ajuste de "Spatial filter"	80
9.4.8 Corriente de Shutter	81
9.4.9 Seguridades de unidad Laser	82
9.4.10 Presión de gas en cavidad	83



9.5 Integración de maquinaria a producción	85
9.5.1 Calibraciones	86
9.5.2 Procesos de mantenimiento	86
9.5.3 Procesos operativos	87
9.5.4 Corte con materiales y parametrado	87
9.5.5 Integración de maquinaria a producción	88
9.5.6 Monitoreo de actividades operativas y de mantenimiento	88
9.6 Mantenimiento preventivo a maquinas Focus y unidades Laser	89
9.6.1 Esquemas de mantenimiento preventivo en Focus y Rofin	89
9.6.2 Reemplazo de piezas de manera preventiva	90
9.7 Reparación de equipos Focus y unidades Rofin	92
9.7.1 Reemplazo de partes por falla con fines correctivos	93
9.7.2 Análisis de fallas y métodos de solución de problemas	94
10. Conclusiones	96
11. Bibliografía	98



1. OBJETIVO

Alcance del presente informe

El objetivo del presente informe consiste en mostrar a través de las diferentes descripciones de los procedimientos de instalación, implementación y mantenimiento de las maquinas de corte con rayo Laser, el nivel de conocimiento alcanzado durante la carrera que cursé y la relación con los campos de la electrónica, eléctrica, mecánica y óptica en el entorno laboral en el que me he desempeñado por 18 años.

A través del desarrollo de los temas asociados al corte con laser, me enfoco en mostrar los conceptos técnicos aplicados en la industria así como los elementos manejados como un proceso de aprendizaje de los equipos mencionados dentro de la empresa en el ámbito de las demandas de los clientes. Describo y presento de manera condensada actividades que han sido mis labores en el campo de trabajo en la compañía con el fin de que se evalúe el nivel de integración en la industria que he logrado establecer después de mi egreso de la Facultad de ingeniería.

Cabe resaltar que el proceso de especialización de un producto en la compañía está compuesto principalmente por cursos en la casa matriz en Francia, experiencia dentro de la empresa implementando soluciones y experiencia fuera a través de proyectos con los clientes. Todo esto es estructurado regularmente por Francia para formar especialistas en productos y maquinaria capaces de desempeñar desde instalaciones básicas completas de cortadoras y unidades laser, hasta implementaciones de soluciones complejas compuestas de diferentes equipos y software. Los múltiples conocimientos y especialmente criterios obtenidos son a su vez aplicados ya sea en impartición de capacitaciones internas o a clientes durante la entrega de maquinaria nueva a industrias líderes en los mercados en cuestión.

En la primera parte me enfoco en mostrar el desarrollo de los temas básicos para la comprensión del corte con rayo laser en los diferentes ámbitos de la industria. El desglose de sus elementos elementales en la teoría de su generación como en su manipulación y uso en la manufactura para permitir involucrarse de manera inicial en el estudio del uso de esta tecnología.

El objetivo allí delineado consiste en definir los elementos básicos que componen la teoría de la generación de un haz de alta energía y de los componentes elementales con los que toda maquinaria cuenta básicamente.

En esta parte considero que el conocimiento básico de la teoría y de cómo se canaliza en un equipo de emisión Laser para la industria puede entonces empezar a ser abordado, profundizado y extendido con todos los temas que de aquí se desprenden, como son, técnicas para el corte con diferentes materiales



o potencias utilizadas en los diferentes mercados o métodos empleados en la generación del haz de acuerdo al uso final que se le vaya a dar. Todo ello inscrito en la teoría óptica del comportamiento de la luz bajo diferentes factores.

Abordo también de manera somera la descripción de los procesos de corte y elementos de maquinaria utilizada para la manufactura con materiales textiles en la industria automotriz y aeroespacial. El estudio de otros sistemas de corte que utilizan fuentes laser es sin duda muy extenso y reúne muchas características técnicas diferentes de acuerdo a la aplicación. Es por esa razón que muchos componentes adicionales o de control no han sido mencionados en el presente trabajo y también a que los procedimientos elementales son prácticamente los mismos a los expuestos en el reporte de actividades. El conjunto de todas esas labores en las diferentes aéreas y maquinarias no descritas forma parte de la misma manera del ámbito profesional en el que me desenvolví.

2. INTRODUCCION

Descripción de los elementos abordados en el presente trabajo

El uso de la tecnología Laser ha ido aumentando en los últimos años debido a su versatilidad en los diversos mercados que se han visto beneficiados por la economía actual. Algunos de ellos con estrictas demandas en los tiempos de entrega o características técnicas en los productos finales han recurrido al uso de la energía Laser para completar partes de sus procesos de producción con resultados bastante redituables en costos y calidad.

En la industria automotriz, aeroespacial y náutica por ejemplo se encuentra una creciente demanda de tecnologías que proporcionen características especiales y que cumplan con las exigencias del mercado, por el lado económico comercial tenemos tiempos de entrega de productos en el menor tiempo posible bajo esquemas de ahorro al máximo en materiales altamente costosos y por el lado técnico la manufactura dentro de estrictas especificaciones en dimensiones, limpieza de elementos diversos en el producto final y apego a normas de seguridad y calidad.

En el caso específico del uso de la energía Laser, diversas fases de manufactura han considerado que a pesar del alto costo que implica el cambio a procesos con energía lumínica, varios elementos en su cadena de producción se ven altamente beneficiados. Citando como un ejemplo en la industria automotriz o aeroespacial, donde se requieren cortes precisos con los mínimos residuos químicos o metalúrgicos en los productos finales, la tecnología Laser ha encontrado gran aceptación obteniendo los



resultados deseados y las características de los procesos y producto final apegados a las normas.

Específicamente en aquellas etapas asociadas al corte de materiales se explotan las ventajas que ofrece el corte con laser, como lo son el sellado de los contornos tratados, el corte preciso sobre materiales costosos donde muchas piezas se encuentran con distancias de menos de un milímetro entre ellas, la generación mínima de elementos nocivos en el producto final aunado a una velocidad y confiabilidad difícilmente superados por otras técnicas de corte.

El corte de materiales textiles ha traído a la industria automotriz un gran reto en la satisfacción de altos niveles de producción de partes para la construcción de automóviles, con producción y ventas en rampante ascenso, la demanda por maquinaria confiable, precisa y capaz de satisfacer las exigencias se vuelve intensa. Cientos de miles de bolsas de aire deben de ser cortadas cada semana por cientos de plantas manufactureras alrededor del mundo con demandas crecientes. La adopción de normas de seguridad en diferentes países para el mercado automotriz hace que cualquier adición en sistemas de seguridad en algunos vehículos se convierta en miles de bolsas laterales, traseras o novedosas que deben de ser producidas para ser agregadas a los nuevos modelos de autos a construir.

El corte de piezas metálicas de automóviles, paneles de diferentes materiales para la industria aeroespacial, moldes de alta precisión para alabes eólicos, paracaídas, fibra de vidrio para botes, etc. son ejemplos de los usos del rayo Laser para corte en materiales no textiles, todos con un uso más abundante y en ocasiones ya completamente dependiente de la tecnología de corte con rayo Laser

Esta dinámica que se repite para diferentes insumos ha permitido que empresas dedicadas a la tecnología se desarrollen y emprendan negocios de alcance internacional en todas las áreas de la cadena de manufactura. Esto aplica especialmente a compañías que como objetivo principal en su crecimiento han elegido englobar las necesidades de estos clientes multinacionales y satisfacerlas con soluciones consistentes aplicables a cualquier región del mundo. Tal es el caso de la compañía donde trabajo, que teniendo la casa matriz en Francia, ha podido expandir sus negocios con clientes multinacionales alrededor del mundo, estableciendo oficinas en al menos 20 países incluyendo México. Las áreas principales de acción son esencialmente: diseño de software auxiliar en la elaboración de patrones, maquinaria para la manufactura de dichos diseños como lo son cortadoras, tendedoras, plotters y soluciones globales en los procesos involucrados. Los mercados en los que se desenvuelve básicamente son: Automotriz, Aeroespacial, Náutico, Vestido y Muebles.

En la imagen siguiente 2.1, puede observarse una cortadora de última generación equipada con cuchilla vibratoria denominada con su nombre comercial Vector.

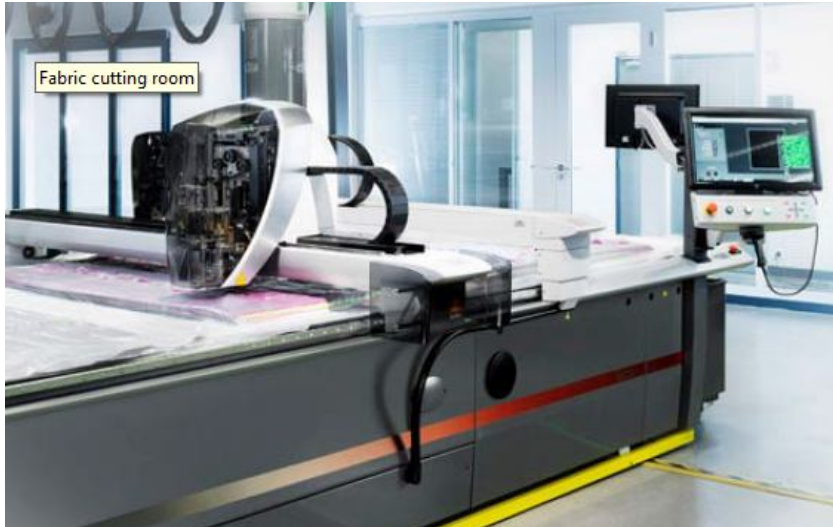


Fig. 2.1 Maquina de corte "Vector" con cuchilla de acero.

Esta amplia diversidad en los campos de trabajo me ha permitido al laborar en sus diferentes áreas, el desarrollo y aplicación de conocimientos de toda índole. Desde el uso de software de diseño del tipo "Auto CAD", hasta la comprensión de la operación, instalación y mantenimiento de la maquinaria distribuida en los diferentes mercados con los diferentes clientes. La interpretación de los métodos para la solución de problemas, análisis de fallas y aplicación de soluciones, así como la comprensión de las diferentes áreas de la ingeniería como lo son la eléctrica, electrónica, mecánica, son temas que se abordan regularmente en el trabajo de campo.

A través de los 18 años que he laborado en esta empresa he podido desarrollar los conocimientos adquiridos durante el estudio de la carrera de ingeniería y aplicarlos en el campo durante la instalación, puesta en marcha, capacitación de personal y mantenimiento a diversa maquinaria. Durante este proceso que ha llevado varios años también de estudio de los productos que la compañía ofrece, he podido especializarme en los equipos de corte laser, sistemas que a opinión personal son los que más engloban los conocimientos de la carrera que estudié. Temas de electrónica de potencia, óptica, hidráulica, eléctrica, mecánica y diversas aplicaciones de software se desenvuelven al abordar este tipo de maquinaria. El manejo de estos conocimientos, la experiencia con los equipos y el entendimiento de las exigencias de los clientes permiten incrementar la capacidad de repararlos y mantenerlos a niveles de alta calidad de producción con la mejor eficiencia. En este reporte de actividades describo de manera breve las labores en las que he intervenido y en las que también he estado a cargo cuando de proyectos de implementación se trata y en los que la interacción con el cliente en cuestión también es un factor importante. Esos procedimiento de instalación, implementación y mantenimiento así como estructuración de proyectos son descritos junto con sus implicaciones técnicas y análisis involucrados en los diversos aspectos, desde la unidad Laser, donde el conocimiento de la teoría básica y óptica son determinantes , hasta la boquilla de



corte donde los ajustes mecánicos son críticos para lograr la calidad deseada. La máquina de corte laser de la cual hablaré recibe el nombre comercial de Focus y se ofrece con diferentes características dependiendo del mercado en el que se integrará.

En la imagen 2.2 se puede observar una maquina de corte laser con fuente de 1500 watts en la casa matriz donde se construyen.



Fig. 2.2 Maquina de corte laser modelo Focus15

Cabe agregar por ultimo que el conocimiento de los elementos que componen a un Laser y el principio de su funcionamiento son determinantes para la comprensión de la utilización de manera segura y eficiente. La producción de humos tóxicos al interactuar compuestos con algunos láseres, el manejo de voltajes en el rango de los miles de volts, corrientes de cientos de amperes y haces de luz que no son visibles al ojo humano son medios que se deben de entender y asimilar para evitar accidentes fatales en aquellas personas trabajando directamente en las unidades que los generan como en aquellas que los operan o reparan. La falta del conocimiento de la teoría del funcionamiento o los factores a los que se está expuesto en ese ambiente puede ser fácilmente causa de accidentes lamentables en el peor de los casos y de daños de decenas de miles de dólares en costosos equipos y producción en el menor, por lo que se debe considerar el estudio y entendimiento de los equipos de una manera teórica general primero y amplia y profunda después enfocados en la maquinaria, marca, modelo y proceso de manufactura donde se está usando. El equilibrio entre el conocimiento de los principios ópticos y técnicos del Laser con el estudio de los equipos a manejar permitirán alcanzar a quien los mantiene o repara la calidad en el proceso en medio de un ambiente seguro fuera de riesgos para aquellos involucrados con dicha maquinaria.



3. TEORIA GENERAL DEL RAYO LASER

Conceptos básicos

La palabra Laser proviene del acrónimo inglés compuesto por las primeras letras de las palabras "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation". De las cuales la que mejor aborda su composición es la palabra "radiación" ya que explica en una palabra su naturaleza, las otras palabras se enfocan más en cómo o porque medios esta radiación es generada. Tomando la palabra radiación como inicio para la comprensión de un Laser, consideremos su significado primeramente, el cual se indica como la transmisión de energía de un punto del espacio a otro, con o sin la intervención de un material que actúe como medio.

Cabe mencionar en este punto que la radiación puede ser de dos tipos básicos, la que depende de algún material para su propagación o de aquella que no requiere de ninguno para tal efecto.

En el primer caso tenemos la radiación electromagnética que puede viajar por el espacio libre sin ninguna materia como medio, teniendo también como característica básica el poder viajar a través de los sólidos, líquidos o gases, cambiando al ocurrir dicho cambio de medio, su velocidad de propagación y dirección.

La radiación mecánica, es la que requiere de un medio para propagarse a través de ondas como el sonido. En este caso la energía es transmitida de una partícula a otra a través del medio en el que se propaga.

Considerando que los Láseres producen radiación del tipo electromagnético habrá que enfocar su entendimiento entonces en dos teorías físicas que abordan la explicación de la propagación de energía electromagnética, la primera y más antigua es la teoría ondular descrita por James Maxwell en el año 1864, que explica los fenómenos ópticos de la luz tales como polarización, interferencia, difracción, refracción y reflexión. Algunos fenómenos sin embargo observados en épocas más recientes no pueden ser explicados en su totalidad por dichos estudios, lo que nos lleva a la teoría cuántica del físico alemán Max Planck, en los que modificando la teoría ondular de Maxwell se realiza la descripción teórica de los fenómenos fotoeléctricos, fotoquímicos, emisión de luz por diodos, fluorescencia y emisiones Láser.

Para este último fenómeno y para comprender más los principios sobre los cuales se basa su funcionamiento, hagamos un recuento de las características del primer dispositivo emisor de radiación Laser construido en el año 1960 por el científico norteamericano T.H. Mainman usando un material



activo de rubí envuelto en una lámpara de helio.

Cuando dicha lámpara era conectada a una fuente de potencia eléctrica, ésta emitía una luz intensa e incoherente. Alguna de esta energía emitida por la lámpara era absorbida por los átomos en la barra de rubí y estos a su vez eran excitados, de tal manera que eran situados en un estado energético mayor en el que se encontraban anteriormente y en el cual residían en la barra de rubí.

La energía era por ende guardada en estos átomos excitados de tal manera que cuando regresaban a su estado original de reposo liberaban dicha energía en forma de ondas de luz.

Hasta este punto no había todavía ninguna característica especial acerca de la emisión de luz descrita puesto que es de esa manera como la luz en una lámpara incandescente es emitida, se hace pasar una corriente eléctrica para que se exciten los átomos del filamento para llevarlos a estados mayores de energía, desde los cuales, al regresar a su estado normal liberen energía en forma de luz.

La diferencia significativa entre un laser y otra fuente de radiación lumínica radica en que el material de donde se origina la luz tenga la capacidad de proveer una particular forma de energía en la cual los átomos contenidos puedan y tienden regularmente a hacerlo, efectuar una pausa antes de regresar a su estado original de menor energía. Este intervalo en el que permanecen hasta ser estimulados a regresar a su estado de menor energía se llama "estado metaestable".

En este último paso, los materiales suelen emitir luz de la misma longitud de onda que aquella que los excitó a dejar el estado metaestable en el proceso del regreso a los niveles más bajos de energía. Es así como los átomos son estimulados a emitir, primero almacenando energía en ellos para luego ser liberada al transferirse de un estado metaestable a otro más bajo en forma de luz de una misma longitud de onda.

En el proceso de generación de una emisión laser, las longitudes de onda de la luz emitida son exactamente las mismas que aquellas que estimularon al átomo a generarlas, por lo que estas nuevas ondas son también capaces de reaccionar con otros átomos en un nivel metaestable y estimularlos a generar nuevas ondas de radiación con las mismas características. Es así que el proceso para la generación de un laser está compuesto de dos etapas, la primera que requiere la energía suficiente para llevar a los átomos del estado de reposo o menor energía al metaestable, en el que tienden a quedarse. La segunda etapa consiste entonces en disparar un onda de la exacta longitud necesaria que haga regresar un átomo a su estado original generando una onda de las mismas características, causando una reacción en cadena en el resto del material residiendo en el nivel metaestable.

Este proceso de emisión de luz puede observarse más claramente en la ilustración 3.1.

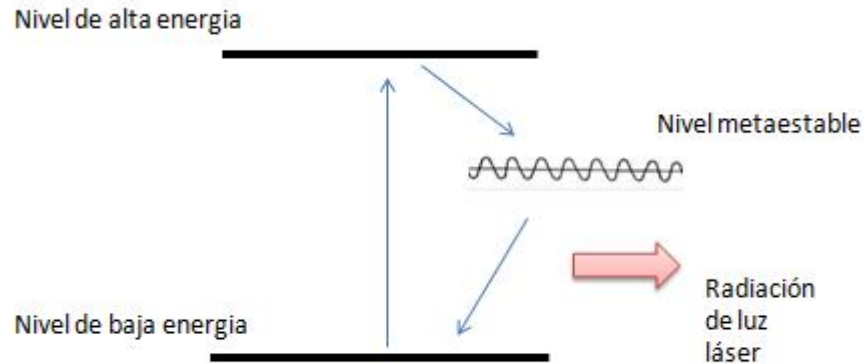


Figura 3.1. Tres niveles de energía disponibles en los átomos o iones en un material laser, la transición del nivel medio o metaestable al más bajo resulta en una emisión de luz láser.

3.1 Conservación de la energía con reflectores

Las ondas de luz saliendo libremente desde un átomo que ha sido estimulado para emitir radiación normalmente viajarán hacia afuera en todas direcciones. Es aquí donde el uso de superficies reflejantes en los láseres ayuda conservar la energía con la longitud de onda deseada. Estas superficies hacen que la energía en forma de luz sea reflejada en dirección de su fuente de emisión, por lo que de esta manera se puede volver a utilizar para estimular más átomos y emitir más radiación de la longitud deseada.

A menos que el proceso de conservación por reflexión descrito sea utilizado, los láseres normalmente son incapaces de oscilar para generar luz. Es por eso que las características amplificadoras en los láseres son especialmente importantes así como la óptica en su interior que permite reflejar la luz y crear la oscilación necesaria para lograr los niveles deseados de energía.

En adición a la conservación de la energía los reflectores también aumentan otro aspecto importante que es la coherencia espacial del haz puesto que una onda lo suficientemente plana es equivalente a una buena coherencia espacial. El uso de los reflectores en un laser permiten obtener esta característica en las ondas que son reflejadas una y otra vez de un lado a otro hasta adquirir un aspecto prácticamente plano.

Para los usos prácticos de los láseres, uno de las placas reflectoras usualmente es parcialmente reflejante, lo que ocasiona que no toda la energía que lo incide sea regresada a la fuente, permitiendo así dejar emisión de luz laser para su uso.



3.2 Concentración de la energía

Una vez que las ondas de energía obtenidas del laser a través del proceso antes descrito tienen un alto nivel de coherencia, estas ondas pueden ser manipuladas exactamente de la misma manera que ondas coherentes de sonido o de microondas. Por ejemplo, si una lente de enfoque es colocada a la salida del laser, ésta enfocará un haz altamente coherente en un pequeño punto lo que permitirá que el flujo de potencia por unidad de área en la región focal se vuelva increíblemente alto. Como un ejemplo de esto basta decir que cuando un haz laser se encuentra adecuadamente concentrado puede hacer un orificio en una hoja de metal del espesor de una navaja.

3.3 Láseres de gas

El segundo laser en ser desarrollado fue el laser de gas. Este consiste en una manera sencilla en un tubo de cristal lleno de una mezcla especial de gases. Un alto voltaje es aplicado a través los dos electrodos cerca de los extremos del tubo haciendo que se produzca una descarga eléctrica. El gas comienza a resplandecer y el tubo comienza a parecer una lámpara de neón.

El gas usado en el laser difiere de aquel en la lámpara de neón en que la mezcla del primero provee un estado metaestable como se explicó anteriormente en el que los átomos excitados pueden quedar suspendidos. Igual que en laser de rubí, la energía liberada desde el estado metaestable hasta el de menor energía genera una energía irradiada de un único color.

Una diferencia entre los láseres de gas y el de rubí es que la mayoría de los láseres de gas pueden operar continuamente. El resplandor causado por la descarga de alto voltaje continuamente aporta un gran número de átomos en un nivel metaestable y a pesar de que muchos están regresando a un nivel bajo de energía, muchos otros están siendo elevados de nuevo debido al fenómeno de descarga luminiscente.

3.4 Resonancia

En los extremos del tubo de cristal del laser de gas se colocan regularmente superficies de cristal con baja capacidad reflejante, estas superficies son generalmente placas de cristal reflejante ópticamente planas y orientadas, para eliminar reflejos, en el ángulo de Brewster, el cual es aquel de incidencia en el que la suma de los ángulos de incidencia y refracción es igual a 90 grados. Superficies reflejantes adicionales son colocadas después de manera externa a las mencionadas en el tubo, las cuales actúan como paredes en un resonador que al tener una distancia mayor a la longitud del tubo, permiten a las ondas de luz ganar aun mas coherencia. Este dispositivo puede observarse en la imagen 3.2.

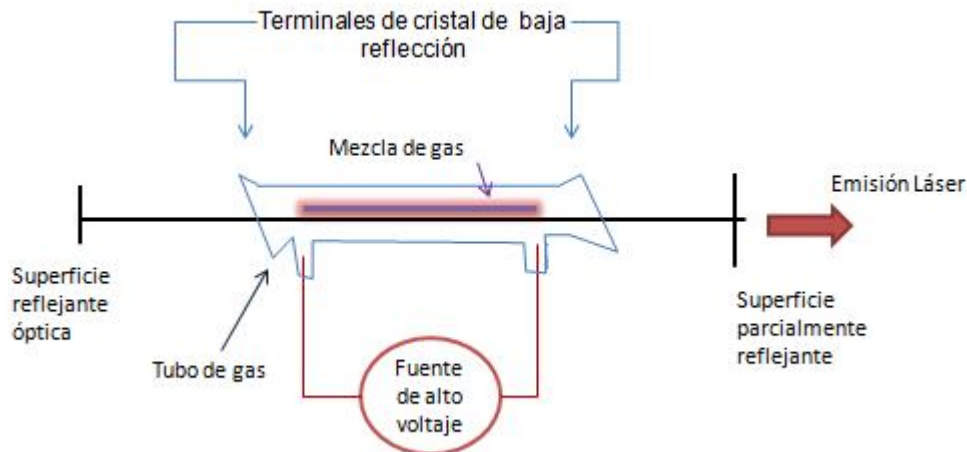


Figura 3.2. Representación de un tubo de cristal con gas excitado por un alto voltaje

Es de esta manera que se logra a través del efecto de resonancia descrito, movimientos periódicos en el interior de un entorno, reforzando la coherencia del haz por una parte y la frecuencia determinada por la otra. El resonador, que en realidad es una caja cerrada puede vibrar o resonar a su más baja frecuencia o a cualquiera de sus altas frecuencias o modalidades de alto orden, que en el caso de un resonador Laser corresponderán a la frecuencia necesaria de acuerdo tipo de gas que se está utilizando.

Es importante mencionar que el láser no oscilará si los espejos no están propiamente alineados, lo que permite que se puedan generar pulsos de mucha energía, puesto que al desviar el espejo de salida y al no reflejar el haz nuevamente al resonador, una gran cantidad de átomos que estaban siendo regresados del nivel metaestable se quedarán en ese punto y se irán acumulando. Así que cuando el espejo es regresado a su punto de alineación, habrá muchísimos átomos decayendo del nivel metaestable, generando más radiación laser acumulada en un solo pulso. A este proceso o procedimiento de interrupción de energía reflejada dentro del resonador se le llama "Q-Spoiling", ("estropeo de calidad" en español).

En la imagen siguiente (3.3) se muestra el grafico de un resonador de gas utilizado en algunos de los láseres de corte industrial, en el se observan los elementos descritos anteriormente y que son componentes elementales en un resonador de gas: una fuente de alto voltaje, un material activo que en este caso es el compuesto de gas y las superficies reflejantes que le permiten dar el efecto de resonancia en su interior.

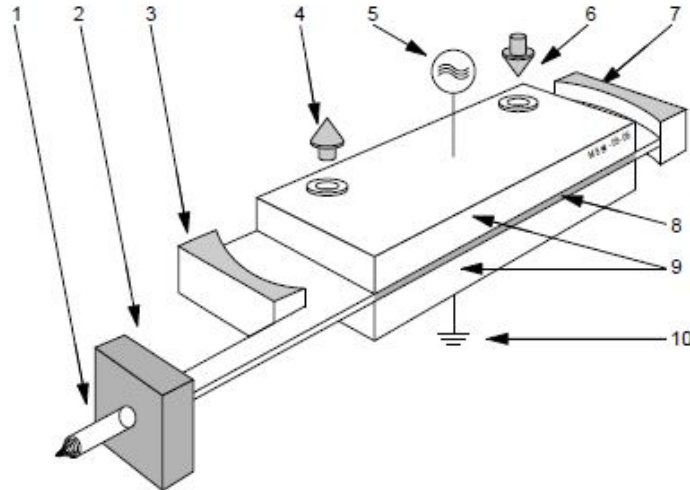


Figura 3.3 En el dibujo se muestra el principio de funcionamiento de un Laser de gas CO₂. En la imagen pueden apreciarse los electrodos (9), la zona activa con gas (8) que produce una descarga de luz al ser excitada por un voltaje de alta frecuencia (5) y (10). Puede observarse también el sistema de enfriamiento que circula a través de (4) y (6). El espejo trasero (7) y el de salida (3) forman el resonador óptico. Como resultado a la salida del resonador se obtiene un haz Laser (1) y es emitido por el telescopio Laser (2).

4. PRINCIPIO OPTICO DE OPERACION

Principios ópticos del láser

Se llama luz al conjunto de ondas electromagnéticas cuya frecuencia está comprendida entre los 400 y 700 nanómetros, a las cuales el ojo humano es sensible. Es por eso que para su estudio se puede aplicar la teoría electromagnética. Esta teoría es precisa cuando se trata de explicar la propagación de la luz pero no lo es tanto cuando se trata de explicar la interacción entre la luz y la materia. Es por esto que la descripción de la luz se presenta de una manera dual porque su estudio se puede enfocar en su comportamiento como onda o como partícula dependiendo del fenómeno al que se someta.

Como se ha comentado anteriormente, queda claro que la propagación de la luz está descrita por las ecuaciones de Maxwell acerca de las ondas electromagnéticas. Sin embargo el análisis de la luz como rayos es válido para la propagación de cualquier movimiento ondulatorio considerando que la longitud de onda sea más pequeña que las aberturas u obstáculos que encuentra en su camino. Esta suele ser la característica usual en los análisis basados en la "Óptica geométrica".



Por otro lado si lo que se desea no es estudiar la luz bajo las condiciones descritas para la óptica geométrica, se deberá de tratar a la luz como la onda electromagnética que es a través de la óptica ondulatoria. Por último si lo que se desea es estudiar los fenómenos de interacción de la luz con las partículas, como efectos fotoeléctricos u otros fenómenos a nivel atómico, se tendrá que hacer uso de elementos del ámbito de la física cuántica.

Analizando el láser desde el punto de vista general podemos mencionar que se trata de una fuente luminosa con tres propiedades especiales e importantes acerca de su luz, la primera es que es monocromática, es decir que emite una sola frecuencia, la segunda es que es muy coherente, o sea que la diferencia de fase en sus ondas es constante y por último que está bien colimada, lo que quiere decir que el diámetro de su haz es muy pequeño y de poca divergencia.

4.1 Óptica geométrica

La óptica geométrica fue desarrollada antes de que la luz fuera descrita como una onda electromagnética y proporciona de manera sencilla parte de la información que se obtiene de las ecuaciones de Maxwell, siempre que la longitud de onda sea mucho menor que las dimensiones de los objetos que se interponen en su camino como se menciono antes.

Existen dos formas de representar la propagación de una onda, la primera es a través de frentes de onda, que son superficies de fase constante de la onda luminosa y se asemejan a aquellas que pueden generarse en el agua. La otra es como rayo, que es una línea que señala la dirección de propagación de la onda, así como la trayectoria del haz de un laser.

Cuando la luz se propaga en el vacío lo hace en línea recta hasta que encuentra alguna partícula en su camino, lo cual hará que ésta genere ondas secundarias que se propagaran en distintas direcciones. En esto consiste el fenómeno de la dispersión de la luz.

Cuando un haz laser incide entonces sobre una superficie que separa dos medios la luz será ya sea absorbida por ese medio, reflejada en una o varias direcciones o refractada (transmitida al otro medio). En estos casos se cumplen las siguientes leyes de la óptica geométrica:

- 1.- Siempre que el medio sea homogéneo los rayos de luz se propagaran en línea recta.
- 2.- La onda que incide sobre una superficie que separa dos medios será reflejada parcialmente generando nuevas ondas que se alejan de dicha superficie (reflexión).
- 3.- Cuando la onda incide sobre la superficie parte de la energía es reflejada y parte es transmitida al otro medio (refracción). El rayo transmitido o refractado está contenido en el plano de incidencia y forma un ángulo con la superficie descrito por la ley de Snell.

Estos principios aplican al tubo de cristal del laser descrito anteriormente en el punto 3 y mostrados en la fig. 3.



4.2 Óptica ondulatoria

Dos importantes fenómenos básicos importantes que se deben comprender cuando se aborda el estudio de los láseres son la interferencia y la difracción. La interferencia es la combinación por superposición de dos o más ondas que se encuentran en el espacio (fig. 4.1). La difracción es la desviación que sufren las ondas alrededor de obstáculos y aberturas cuando el frente de onda se ve interrumpido (fig. 4.2). El esquema de la onda resultante puede ser calculado considerando cada punto del frente original como una fuente puntual de acuerdo con el principio de Huygens y calculando el diagrama de interferencia resultante de todas esas fuentes. El estudio de la difracción está dividido en dos partes:

- 1.- Difracción de Fresnel, donde las ondas que inciden sobre el obstáculo o abertura no son necesariamente planas.
- 2.- Difracción de Fraunhofer, donde tanto la fuente como la pantalla están situadas a una distancia infinita del obstáculo de modo que las ondas incidentes son ondas planas.

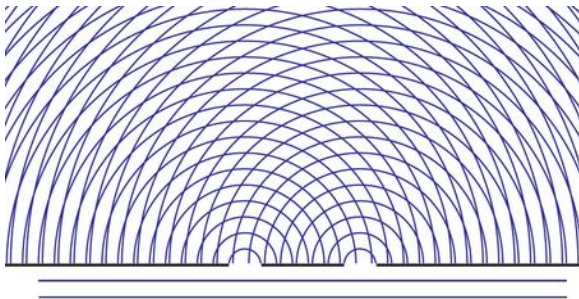


Figura 4.1 Representación de interferencia de dos ondas emitidas desde dos aberturas al incidir un haz láser



Figura 4.2. Difracción obtenida al incidir un laser de diferente λ en diferentes aberturas



4.3 Teoría ondular de la propagación de la luz

Esta teoría describe la propagación de la radiación electromagnética como el viaje de ondas de campos eléctricos (E) y magnéticos (H) desplazándose a una alta velocidad en un espacio vacío en línea recta. Esta línea se considera como su eje de propagación siendo también la línea que describe la dirección del rayo. Sobre este eje viajan dos ondas perpendiculares una de la otra con formas sinusoidales que se cruzan entre sí correspondientes al campo eléctrico una y al campo magnético la otra. Para cada una de estas ondas se considera que solo son existentes en un solo plano. Cuando una fuente de radiación emite rayos no polarizados esta lo hace en todas direcciones con sus dos componentes E y H angularmente desplazadas 90 grados.

En la figura 4.3 se muestra un plano polarizado de un rayo de luz.

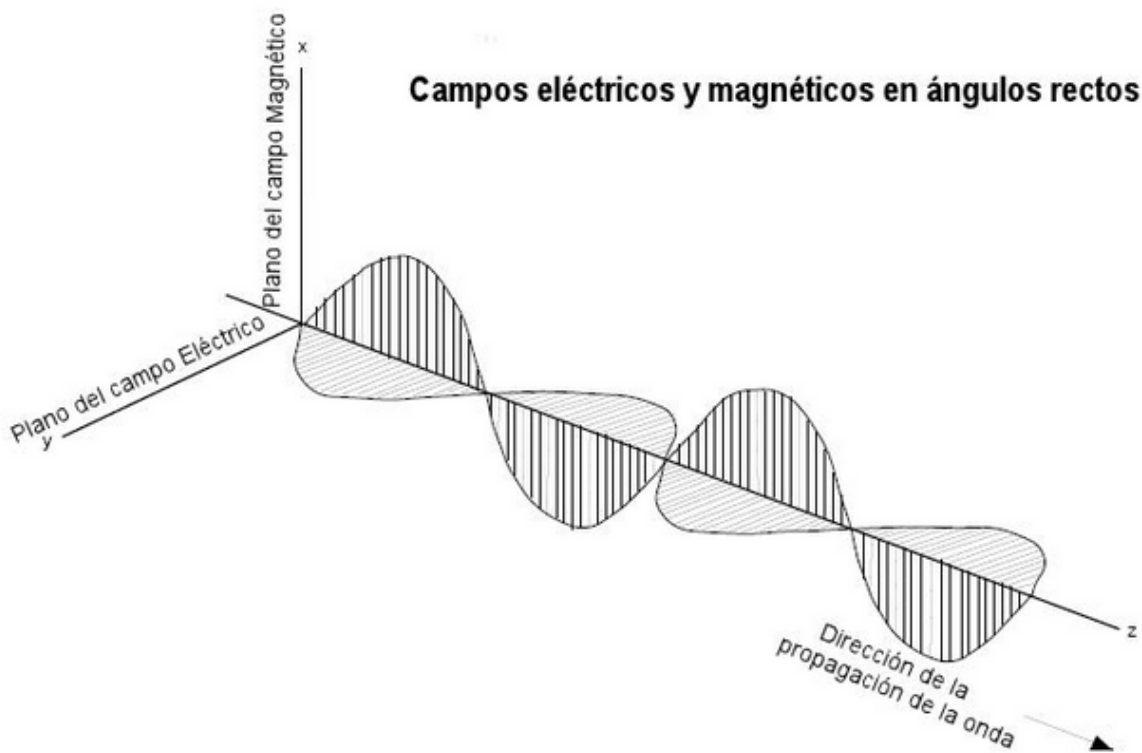


Fig. 4.3. Imagen de una onda polarizada mostrando sus componentes magnética y eléctrica.



La velocidad de propagación de estas ondas a través del espacio libre se designa por el símbolo c :

$$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Cuando un rayo de radiación electromagnética viaja a través de un medio material homogéneo e isotrópico su velocidad v se ve reducida:

$$v = c/n$$

Donde n es el índice de refracción del medio, una constante numérica mayor o igual a uno. Dado que n es mayor a 1 en un medio diferente al espacio vacío, un rayo de luz cruzando oblicuamente la interfaz entre el espacio libre y un medio material como una lente, vera cambiada su dirección o refractará.

Lo mismo ocurrirá cuando un rayo de luz cruce de forma oblicua la interfaz entre dos medios con índices de refracción diferentes.

Los parámetros importantes de la radiación de la onda electromagnética son: La longitud de onda λ , la frecuencia f y la velocidad de propagación. Estas variables aparecen descritas en la siguiente ecuación:

$$v = f \lambda$$

Cuando un haz de radiación electromagnética cruza la interfaz entre dos regiones que tienen diferentes índices de refracción, su velocidad de propagación se verá afectada, no así su frecuencia de onda que será constante. La longitud de onda de dicho haz cambiará de acuerdo a la ecuación descrita anteriormente.

4.4 Teoría fotónica de la radiación electromagnética.

En 1905 Max Planck postulo que la energía transportada por una onda electromagnética no puede ser subdividida en incrementos más pequeños sino que la energía radiante consiste en pequeñas unidades indivisibles. Planck denominó a estas unidades como "quantum" de energía. En la tecnología moderna cuando se habla de energía radiante, esta unidad se denomina "fotón". Un fotón sería entonces una partícula de energía radiante sin masa que se mueve a través del espacio en línea recta a una velocidad c . Aunque no tiene masa, posee un equivalente de "momentum" o [masa] x [velocidad] y podría ejercer una fuerza sobre un cuerpo material. Un fotón puede considerarse como el equivalente de una cadena de ondas de longitud finita en el espacio o "wavelet" a una intensidad de radiación muy baja.

Un concepto importante de la teoría cuántica de Planck es que hay un valor de energía definido asociado a cada fotón.



Existe toda una explicación a nivel de la física cuántica que explica los fenómenos descritos anteriormente de los átomos excitados que son llevados a niveles más altos de energía para después residir por un cierto tiempo en un metaestado para después emitir energía compuesta de fotones al descender de nivel energético. Estos fenómenos de emisión estimulada abordados en el apartado 3 son descritos por teorías y análisis a nivel atómico y cuántico, análisis que requieren descripciones mucho más extensas y que no han sido abordadas en este documento a profundidad por la limitante del tiempo.

5. ELEMENTOS BASICOS DE UN LASER

Produccion de radiación laser

El funcionamiento de los Láseres de diferentes variedades tiene ciertos elementos comunes de acuerdo a su estructura y función. Cualquier laser por ende, debe constar de un medio activo, un sistema de bombeo (fuente de energía) y una cavidad resonante. Como se ha mencionado, al perder excitación los átomos del medio activo, se genera una radiación monocromática de una longitud de onda característica, fenómeno que se estimula en presencia de otra radiación de igual longitud de onda. La fuente de energía debe entonces aportar los medios necesarios para producir la excitación de los átomos.

Como parte final, la cavidad resonante constituida por dos paredes reflectantes paralelas consigue un gran flujo de fotones en una misma dirección. Uno de los espejos de la cavidad resonante, parcialmente reflejante permite la emisión de un haz de radiación. Al mismo tiempo, los fotones que se encuentran en resonancia a su paso por el medio activo, estimulan la emisión de más radiación.

5.1 El medio activo

Elemento que posee los medios energéticos apropiados para producir las longitudes de onda deseadas. Estos elementos pueden ser gases, líquidos o sólidos de cientos de compuestos diferentes. En este medio es donde se genera la emisión estimulada a través de la incidencia de una radiación cuya frecuencia esta en resonancia con la correspondiente a la transición entre dos niveles del medio activo. El resultado de esta transición será una serie de fotones todos de idéntica frecuencia, que a su vez generaran mas emisión de radiación con una reacción en cadena que producirá mas fotones.

Desde la construcción del primer Laser con un medio de rubí, se han desarrollado un gran número de Láseres utilizando semiconductores, líquidos y compuestos gaseosos. Estos materiales activos usados



son los que definirán la longitud de onda de la emisión.

5.2 La cavidad de resonancia óptica (resonador)

Generalmente en forma de cilindro cuya longitud es mayor a su diámetro y con espejos coaxiales en la parte final y opuesta. Los espejos alineados dentro de esta cavidad deben de poseer las propiedades necesarias de reflexión de un lado y de transmisión del otro para permitir escapar la luz del laser del resonador y pueda ser utilizado externamente. Estas características de los espejos están definidas de acuerdo a la longitud de onda del Laser que se está utilizando.

El diseño de estas cavidades esta hecho de tal manera que el haz de radiación pase sucesivas veces por el medio activo, logrando que el número de fotones emitidos se amplifique a cada paso.

Entre los objetivos de la cavidad de resonancia están el realizar la amplificación en una única dirección y lograr la predominante mono-cromaticidad de la emisión.

En la imagen 5.1 se muestra un resonador laser de 1500 watts de los más ampliamente utilizados por la empresa en sus cortadoras.

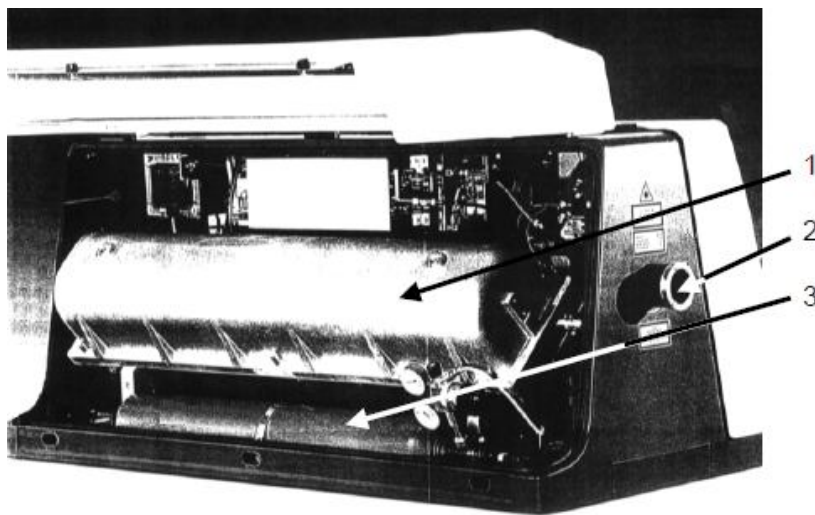


Figura 5.1. Ejemplo de un resonador, 1) Cavidad de vacío, 2) telescopio de salida, 3) Alimentación de gas.



5.3 La fuente externa de energía

Fuente necesaria para proporcionar la excitación indispensable de los átomos o moléculas en la cavidad. Generalmente se utiliza la energía eléctrica como fuente, haciéndose fluir a través del medio descrito anteriormente y que generalmente es un gas. Estas fuentes pueden ser también químicas, donde se utiliza la energía liberada en la creación y ruptura de enlaces químicos, radiantes u ópticas (por ejemplo el laser de rubí) en las que se emplea una fuente luminosa generalmente de menos longitud luminosa, o térmicas (no usados ampliamente).

5.4 Elementos ópticos en un laser

Partes importantes y determinantes también para el funcionamiento de un Laser son los espejos y lentes de enfoque, dentro y fuera del resonador. Dentro de de la unidad laser permiten obtener la coherencia necesaria del haz y luego filtrar su forma antes de ir al exterior. Las lentes y espejos son los que se encargan de conducir la energía hasta el punto de corte con la potencia y forma adecuadas. En los láseres de uso industrial hay varios tipos de telescopios que basados en las leyes ópticas permiten desviar el haz en prácticamente cualquier ángulo una vez que este ha dejado el resonador.

En la figura 5.2 puede observarse un brazo articulado en que se han utilizado los principios ópticos en los diferentes espejos y que permite trasladar el haz en diferentes ángulos.

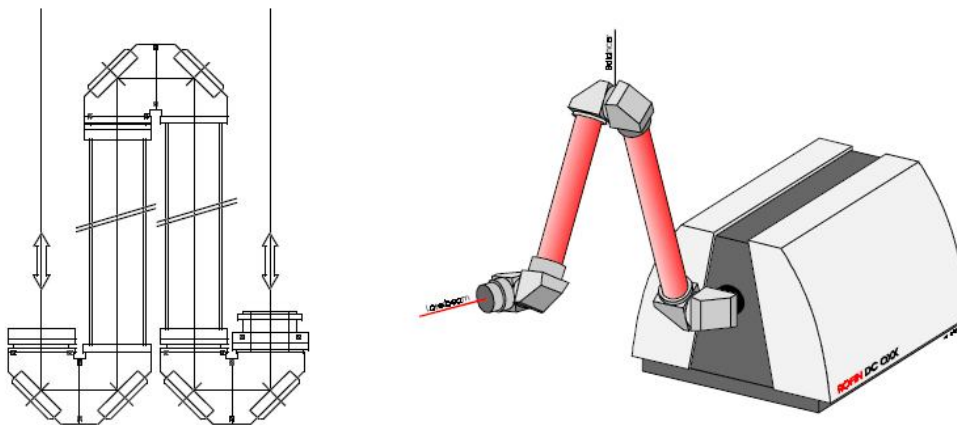


Figura 5.2. Telescopio articulado con espejos a la salida de resonador Laser



6. CLASIFICACION DE LOS LASERS DE ACUERDO A NORMA UNE-EN 60825-1/A2:2002

Normas de seguridad y clasificación de riesgo para el uso de los Láseres

Esta clasificación de los láseres se enfoca en las implicaciones de seguridad que supone su utilización tomando como base que los diferentes haces Láser no forman un grupo homogéneo de riesgo. Dependiendo entonces de sus características técnicas, las longitudes de onda emitidas, la potencia de salida y el tipo de emisión ya sea por pulso o continua para diferentes aplicaciones, se describen factores límite para determinar la peligrosidad del mismo. Este límite se basa en el "Limite de Emisión Accesible" (LEA) para el usuario, por lo que dependiendo del LEA el laser obtendrá una clasificación definida.

A continuación se muestra una tabla con la descripción de seguridad para cada clase de láser.

Clase 1	Productos láser que son seguros en todas las condiciones de utilización razonablemente previsibles, incluyendo el uso de instrumentos ópticos en visión directa.
Clase 1M	Láseres que emitiendo en el intervalo de longitudes de onda (λ) entre 302,5 y 4000 nm son seguros en condiciones de utilización razonablemente previsibles, pero que pueden ser peligrosos si se emplean instrumentos ópticos para visión directa.
Clase 2	Láseres que emiten radiación visible en el intervalo de longitudes de onda comprendido entre 400 y 700 nm. La protección ocular se consigue normalmente por las respuestas de aversión, incluido el reflejo palpebral. Esta reacción puede proporcionar la adecuada protección aunque se usen instrumentos ópticos.
Clase 2M	Láseres que emiten radiación visible (400 y 700 nm). La protección ocular se consigue normalmente por las respuestas de aversión, incluido el reflejo palpebral, pero la visión del haz puede ser peligrosa si se usan instrumentos ópticos.
Clase 3R	Láseres que emiten entre 302,5 y 106 nm, cuya visión directa del haz es potencialmente peligrosa pero su riesgo es menor que para los láseres de Clase 3B. Necesitan menos requisitos de fabricación y medidas de control del usuario que los aplicables a láseres de Clase 3B. El límite de emisión accesible es menor que 5 veces el LEA de la Clase 2 en el rango 400-700 nm, y menor de 5 veces el LEA de la Clase 1 para otras longitudes de onda.
Clase 3B	Láseres cuya visión directa del haz es siempre peligrosa (por ej. dentro de la Distancia Nominal de Riesgo Ocular). La visión de reflexiones difusas es normalmente segura
Clase 4	Láseres que también pueden producir reflexiones difusas peligrosas. Pueden causar daños sobre la piel y pueden también constituir un peligro de incendio. Su utilización precisa extrema precaución.



Resumen de la clasificación láser

Clase 1	Seguros en condiciones razonables de utilización
Clase 1M	Como la Clase 1, pero no seguros cuando se miran a través de instrumentos ópticos como lupas o binoculares.
Clase 2	Láseres visibles (400 a 700 nm). Los reflejos de aversión protegen el ojo aunque se utilicen con instrumentos ópticos.
Clase 2M	Como la Clase 2, pero no seguros cuando se utilizan instrumentos ópticos.
Clase 3R	Láseres cuya visión directa es potencialmente peligrosa pero el riesgo es menor y necesitan menos requisitos de fabricación y medidas de control que la Clase 3B.
Clase 3B	La visión directa del haz es siempre peligrosa, mientras que la reflexión difusa es normalmente segura.
Clase 4	La exposición directa de ojos y piel siempre es peligrosa y la reflexión difusa normalmente también. Pueden originar incendios.

6.1 Requisitos mínimos de seguridad

Los requisitos mínimos de seguridad para la fabricación de productos láser pretenden conseguir la eliminación de los riesgos y cuando esto no es técnicamente posible en el área de su uso se intenta reducirlos al mínimo en la fase de diseño.

Estas consideraciones que se indican deben de ser adoptadas por aquellos fabricantes de productos Laser con la finalidad de mostrar al operador el nivel de riesgo específico al que se encuentra expuesto al observar la clase de radiación emitida en la etiqueta. Se espera de igual manera que aquella persona manipulando equipos con emisiones laser tenga los conocimientos de los daños que puede causar una radiación de diferente intensidad y tiempo en la piel o en los ojos, lo que le permitirá usar las protecciones adecuadas o tomar las precauciones propias al manipular el laser de acuerdo a su clase.

Dentro de estos requisitos, y teniendo en cuenta la clase a la que pertenece cada láser, los fabricantes por ley están obligados a adoptar una serie de medidas de seguridad relativas al diseño de sus equipos. Entre estas medidas está el empleo de tapas protectoras, paneles con circuitos de seguridad, atenuadores del haz, etc.

A modo de resumen la tabla siguiente especifica cuáles son estos requisitos de fabricación en función de la clase de radiación que se esté manejando en base a la clasificación descrita anteriormente de los productos láser.



Requisitos	Clasificación						
	1	1M	2	2M	3R	3B	4
Cubierta protectora	-	○	○	○	○	○	○
Bloqueo de seguridad	X	X	X	X	*	*	*
Control remoto	-	-	-	-	-	○	○
Control de llave	-	-	-	-	-	○	○
Aviso de emisión	-	-	-	-	○	○	○
Atenuador del haz	-	-	-	-	-	○	○
Localización de controles	-	-	-	-	◊	◊	◊
Óptica de observación	-	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Barrido	○	○	○	○	○	○	○
Etiqueta de Clase	T	T	F,T	F,T	F,T	F,T	F,T
Etiqueta de apertura	-	-	-	-	Te	Te	Te
Etiqueta de entrada en servicio	●	●	●	●	●	●	●
Etiqueta de neutralización del bloqueo	□	□	□	□	□	□	□
Etiqueta de intervalo de λ	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Etiqueta de LED	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Manual con instrucciones de seguridad	○	○	○	○	○	○	○
Información de compra y servicio técnico	○	○	○	○	○	○	○
Productos médicos	■	■	■	■	■	■	■

○ Obligatorio

~ No necesario

X Necesario para medir emisión > 3R

◊ Necesario para medir emisión > LEA clase 1 o 2

Te Texto especificado requerido

▲ Correcciones de texto necesarias para productos LED

■ Se aplica la norma CEI 60601-2-22

* Necesario para impedir emisión > 3B

T Texto requerido

◆ La emisión debe ser < LEA de la clase 1

F Figuras normalizadas

● Obligatoria y específica para cada clase

▼ Obligatoria para ciertos intervalos de λ

□ Obligatoria en ocasiones según la clase

6.2. Etiquetado

El fabricante del Laser tiene la responsabilidad de informar al usuario sobre los riesgos mediante etiquetas. Estas etiquetas deberán de ser legibles, claramente visibles y fijas en todo momento durante el funcionamiento, mantenimiento o ajuste del Laser. Es importante mencionar también que deben de ser situadas de modo que puedan leerse sin que la exposición a la radiación supere el LEA de un laser clase 1.

La norma establece también distintos tipos de etiquetas, de advertencia, explicativas, de apertura y



de acceso a los paneles de equipos Laser. La norma así mismo define el tamaño del pictograma y sus dimensiones

Etiqueta de advertencia:

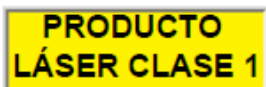


Los productos Laser también deben de contener etiquetas cuando no son clase 1 con detalles de la información relativa a sus características técnicas, potencia máxima de radiación, duración del pulso y las longitudes de onda emitidas así como el nombre y fecha de publicación de la norma en la que se basa la clasificación del producto.

Para Láseres clase 1 y 1M esta información debe de estar contenida en el manual del usuario y no en etiquetas sobre el producto.

Ejemplos de etiquetas explicativas:

Clase 1



Clase 1M

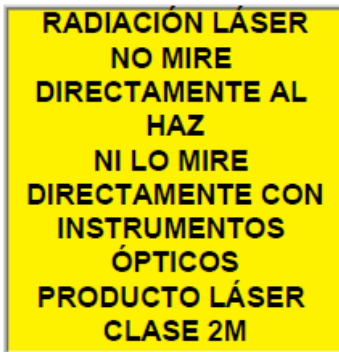




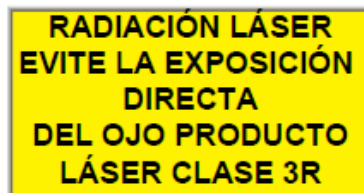
Clase 2



Clase 2M:

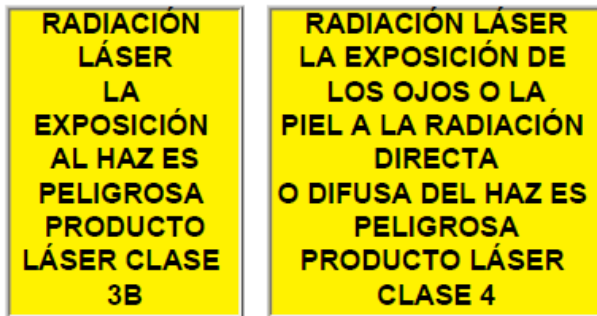


Clase 3R

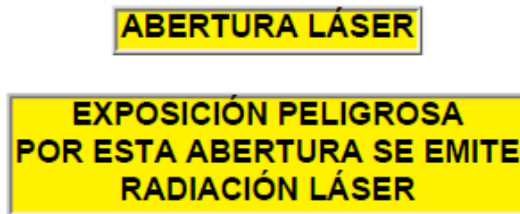




Para longitudes entre 400 y 1400 nm:



Etiquetas de apertura:



De igual manera si el equipo posee un panel de acceso o una cubierta protectora que al retirarse exponga al trabajador a radiación Laser que supere el LEA de clase1, estos de ben de estar también etiquetados en función de lo indicado por la norma EN 60825-1/A2:2002. A continuación un ejemplo de una etiqueta en un panel para clase 3R:

Etiqueta de panel:



A manera de ejemplos del uso de las etiquetas descritas anteriormente, en las figuras 6.1 y 6.2 se muestran respectivamente etiquetas de seguridad en algunas de las maquinas con emisiones laser usando unidades Rofin.



Figura 6.1. Ejemplo de etiqueta de seguridad en el paso de rayo Laser por un telescopio



Figura 6.2. Ejemplos de etiquetas de seguridad en una boquilla donde hay emisión intermitente Laser y en una tapa de seguridad de un instrumento de medición.

Como comentarios finales a este punto cabe mencionar que la prevención y la protección siempre juegan un papel importante en el manejo de la seguridad. El uso de lentes especiales de protección cuando se están haciendo calibraciones en láseres, evitar por completo el uso de objetos metálicos o reflejantes que puedan emitir destellos accidentales y el tener cuidado siempre de no observar a través del paso de un haz laser aunque no haya emisión, son algunos puntos básicos que se deben de comprender y aplicar al estar en un entorno donde se sabe hay radiación láser. De la misma manera y basados en la normas que delimitan el rango seguro para su uso, es responsabilidad de quien manipula o efectúa cualquier trabajo con Láseres el aplicar las reglas y proteger a las personas a su alrededor.



7. APLICACION DEL LASER EN PROCESOS DE CORTE

Aplicaciones donde se usa rayo laser para el corte

El uso del laser en la industria ha demostrado a través de los años su amplio rango de utilización en los diferentes mercados de la manufactura. Algunas de estas aplicaciones que actualmente son ampliamente solicitadas son por ejemplo la rotulación de alta precisión en diversos materiales, la soldadura y corte de metales, el uso y fabricación de instrumentos de medición de alta precisión, sensores, indicadores, etc.

El corte de materiales abordado en este trabajo de manera específica conlleva ciertos aspectos de los láseres utilizados y de la maquinaria que los controla que se desprenden directamente del mercado y la aplicación donde se desea estudiar la manufactura con laser.

En la industria automotriz específicamente podemos mencionar el amplio uso de esta tecnología para la fabricación de vehículos de todos tipos. Su uso podemos encontrarlo en el armado de la carrocería donde se aplica soldadura y corte con laser, en el corte de todo tipo de elementos para los interiores y en la elaboración de los sistemas de seguridad o bolsas de aire. Esta ultima como un área de rápido crecimiento e implementación cada vez mas adoptada en todos los automóviles de nueva o vieja tecnología, esto debido a que el armado de sus elementos seguirá en ascenso independientemente de la energía que los mueva.

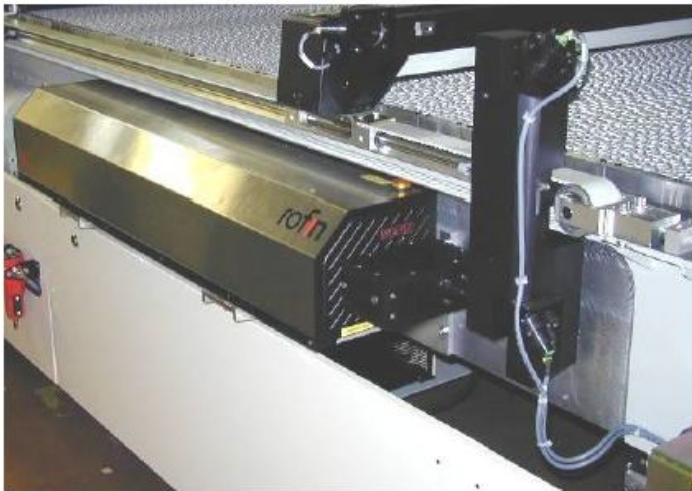
Algunas de las ventajas que presenta el corte con laser son: rapidez en la producción de partes cortadas, precisión y alta calidad en las formas producidas, bajo costo de operación y en el caso de las bolsas de aire, el sellado por temperatura de los entornos cortados, cualidad del corte laser que permite utilizar materiales ligeros y resistentes que no van a sufrir desgarramiento al ser extendidos debido a orillas no terminadas.

En la industria aeroespacial es también de amplia utilización este tipo de corte debido a que no deja residuos que pueden dañar o deteriorar otros elementos utilizados en la construcción de aeronaves o satélites. Si el láser es usado adecuadamente para cortar elementos que no generen gases tóxicos, los residuos de algún medio externo en el material cortado son practicante nulos ya que no existe contacto físico con ningún metal o liquido que introduciría componentes químicos al proceso.

Es importante destacar también que la aplicación o el material que se desee cortar definirá la potencia, tipo de gas en el resonador de la fuente y características del haz que se habrán de utilizar para lograr los resultados esperados.



Así por ejemplo si se desean cortar telas extremadamente ligeras y que no deseamos que se desgarren en ninguna fase de los procesos subsecuentes, el corte con laser de baja potencia permitirá realizar cortes de alta velocidad con el sellado de las orillas sin dañar en el proceso agregar ningún componente químico al material. Este proceso se hace usualmente con maquinaria de baja potencia como la mostrada en las figuras 7.1 y 7.2, con un laser de 300 watts de potencia.



Rofin SC30 Laser Head on a FOCUS-1.8L300

Figura 7.1. Unidad Laser de 300 watts para corte de paracaídas.



FOCUS-1.8L1500 with a Rofin DC15 Laser Head

Figura 7.2. Unidad laser de 2000 watts para corte de bolsa de aire



Por otra parte, si se desean cortar varias capas de bolsas de aire a alta velocidad sin producir marcas de quemado y con alta precisión en sus formas, puede recurrirse a emisiones de más potencia, lo que en la aplicación requerirá utilizar fuentes de más energía para generar un haz laser de más potencia en una misma máquina de corte como se muestra en la figura 7.2.

Es también destacado mencionar que en los procesos de corte con laser el uso adecuado de los sistemas de enfoque, enfriamiento y extracción de humos permitirá obtener los resultados que se esperan en la aplicación deseada. El cálculo de la energía necesaria para el corte de diferentes materiales es un punto clave, ya que el desconocimiento de este concepto puede generar reflejos indeseados por debajo de los materiales debido al exceso de energía usada que es reflejada después del corte.

De esta manera, si sabemos cuanta energía luminosa puede o es capaz de absorber cada material y considerando la energía disipada que puede alcanzar un haz enfocado durante su emisión, podemos definir la potencia requerida y la velocidad máxima que puede alcanzarse para realizar el trabajo. La íntima relación que tiene la velocidad con la potencia emitida es parte de estudios previos que deben de contemplarse antes de definir la maquinaria y fuentes laser. Si consideramos que un haz laser es capaz de perforar una placa delgada de metal, la primera pregunta que debería de surgir es: En cuanto tiempo de exposición? Y prácticamente obligada después: De que potencia es el haz laser? O Que potencia desenvuelve el haz enfocado con tal o cual boquilla de enfoque?. Estas preguntas nos llevan invariablemente a la definición de las siguientes consideraciones para realizar un corte en cualquier material:

1.- Entre mas permanezca un laser incidiendo sobre un material más lo consumirá, así que si el material es muy delgado y el haz es muy fuerte, el laser no deberá permanecer en un solo lugar por más de cierto tiempo ya que de no ser así habrá energía no usada que será reflejada o transferida a otros elementos.

2.- Entre mas sea espesor del material, mas debe de ser la potencia del laser y mejor su sistema de enfoque, ya que de él depende que se alcance la energía necesaria en el punto de focal que invariablemente debe coincidir con el centro del espesor del material.

De esta manera, podemos definir que si el material a cortar requiere una mayor energía de un laser específico en una boquilla de enfoque dada, la velocidad no deberá de ser alta puesto que el material requerirá mayor exposición para ser cortado en su totalidad. Por otra parte si el material es muy delgado y requiere poca potencia del laser, la velocidad se puede aumentar considerablemente y cortar limpiamente.

La comprensión de estos conceptos permite entonces utilizar la energía necesaria para la aplicación a una velocidad óptima sin daños por exceso de potencia ni al material, la boquilla o la superficie de



corte, ya que la energía no utilizada será siempre transferida a otros elementos que se verán afectados eventualmente.

En los apartados mas adelante se dan como ejemplos diferentes boquillas de enfoque utilizadas por maquinas de corte de materiales textiles usados en la industria automotriz, especialmente bolsas de aire. En la figura 7.3 se puede ver la distribución de la potencia en el haz de corte a través de una aplicación de software.

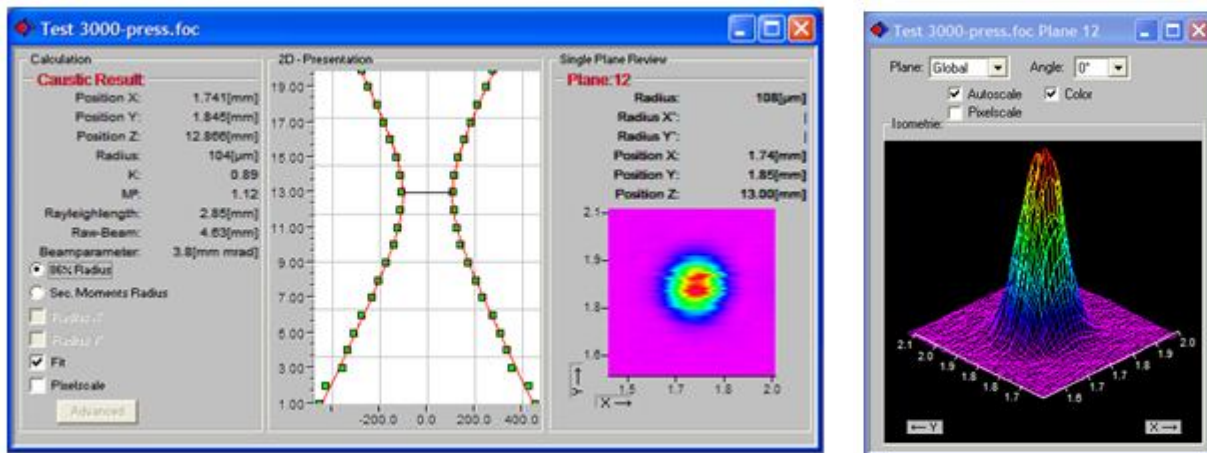


Figura 7.3. Ejemplo de un programa de prueba de potencia en boquillas de enfoque donde se estudia el perfil del haz transversalmente y en 3D durante el corte de ciertos materiales.

7.1 Descripción detallada de las etapas y partes constitutivas

Las etapas del corte Laser dependen del tipo de aplicación o los materiales que se esté intentando cortar, entre ellas, como se describió anteriormente son los análisis previos de los materiales a cortar, la potencia de la fuente laser, el tipo de boquilla que se utilizara y la definición de las velocidades máximas que se podrán alcanzar. Estas consideraciones son del ámbito técnico en el uso de laser para cortar y son tan extensas como lo son los tipos de materiales, las diferentes aplicaciones y maquinaria con sistemas de manejo del haz laser.

Podemos sin embargo enfocarnos en los procesos a través de los cuales se planea a nivel de producción el uso de esta tecnología.

Entre estos puntos se encuentra definido el proceso usado en la elaboración de bolsas de aire y corte de interiores de vehículos desde el punto de vista de producción, dejando a un lado la parte de los cálculos técnicos que definen la maquinaria y la fuente laser (correspondientes a los estudios que las compañías hacen para el diseño de su maquinaria), podemos analizar como estas herramientas son integradas en la industria de quienes las adquieren para agregarlas en sus procesos y como el



personal a cargo de dichos procesos aporta los diferentes elementos que requiere la operación, uso y mantenimiento de maquinaria con fuente laser.

7.1.1 Generación de las geometrías a cortar

A través de programas de software desarrollados especialmente para el diseño de piezas en dos o tres dimensiones, el especialista de la planeación de la producción se encarga de elaborar en el lenguaje adecuado y compatible con la maquinaria de corte a utilizar, las geometrías e instrucciones necesarias para llevar a cabo el proceso. Es aquí donde se definen a través de especialistas en los materiales utilizados a cortar los niveles de potencia y velocidad óptimos que la maquinaria puede desempeñar. Parámetros de velocidades, aceleraciones y potencia de acuerdo al objetivo buscado son definidos y la información procesada para ser leída por la máquina de corte es generada en un lenguaje comprensible por el software de corte.

Esta información es entonces enviada a la cortadora para ser procesada en la línea de producción.

7.1.2 Programacion del software de corte

La información elaborada en el paso anterior es ingresada al software de corte que controla a la maquina y los elementos a cortar son preparados. En esta etapa la planeación previa es de vital importancia puesto que la expectativa de producción debe de estar contemplada y planeada previamente para lograr la máxima eficiencia del proceso. Las funciones del operador del equipo se encuentran limitadas con la intención de reducir al máximo el riesgo de error, sin implicar esto que no deba estar ampliamente entrenado en el manejo de Láseres así como en el conocimiento de las normas de seguridad en esos ambientes.

7.1.3 Resonador o fuente Laser

Una vez que el programa de corte se encuentra listo el operador se debe asegurar que la unidad Laser se encuentra lista y en condiciones de trabajo. En el caso de un Laser de gas que tiene un resonador alimentado por corriente eléctrica, el control de la potencia que se le demandara desde el programa de corte, será modulada por varios elementos en la unidad laser. El primero de ellos, que es ampliamente utilizado para la regulación de la potencia emitida por este tipo de láseres es el triodo de alta potencia enfriado por agua, como el que se muestra en la imagen 7.4.

Este elemento amplificador se encargara de regular la excitación eléctrica en el resonador fluyendo desde su cátodo por medio de la corriente de control o de rejilla.

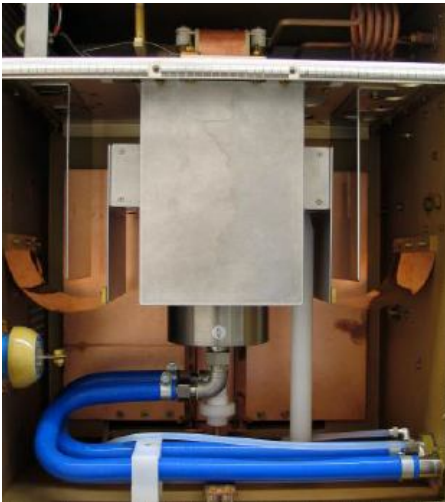


Figura 7.4. Imagen de un tríodo enfriado por agua

En el momento que el tríodo se encuentra listo con el alto voltaje presente en el resonador y con el medio activo excitado, en este caso el compuesto de gas, se dice que el Laser está listo para disparar o en modo de espera.

La señal de disparo proveniente del control electrónico será quien dicte el momento en que se haga la emisión del Laser y la forma y tamaño de la señal modulada de control quien defina la potencia del haz a generar.

7.1.4 Camino óptico del haz

Al ser generado el haz Laser desde la fuente o resonador, este viaja a través de un camino óptico que lo guíara hasta el punto donde se encuentra el material a cortar. Debido a que los elementos donde se realiza el corte deben de ser móviles, existen diferentes formas de “transportar” el haz de luz desde la fuente hasta la boquilla de enfoque. En este punto el haz se desplaza dentro de un telescopio por el que es reflejado por diferentes espejos en los ángulos necesarios para alcanzar su posición final, en la figura 7.5 pueden observarse un ejemplo de estos elementos mencionados.

Debido en muchas ocasiones a la energía que se transmite por el haz, es necesario que dichos espejos sean enfriados para disipar la energía absorbida del Laser, dependiendo de las potencias utilizadas algunos son enfriados por aire y otros por agua cuando se alcanzan miles de watts.

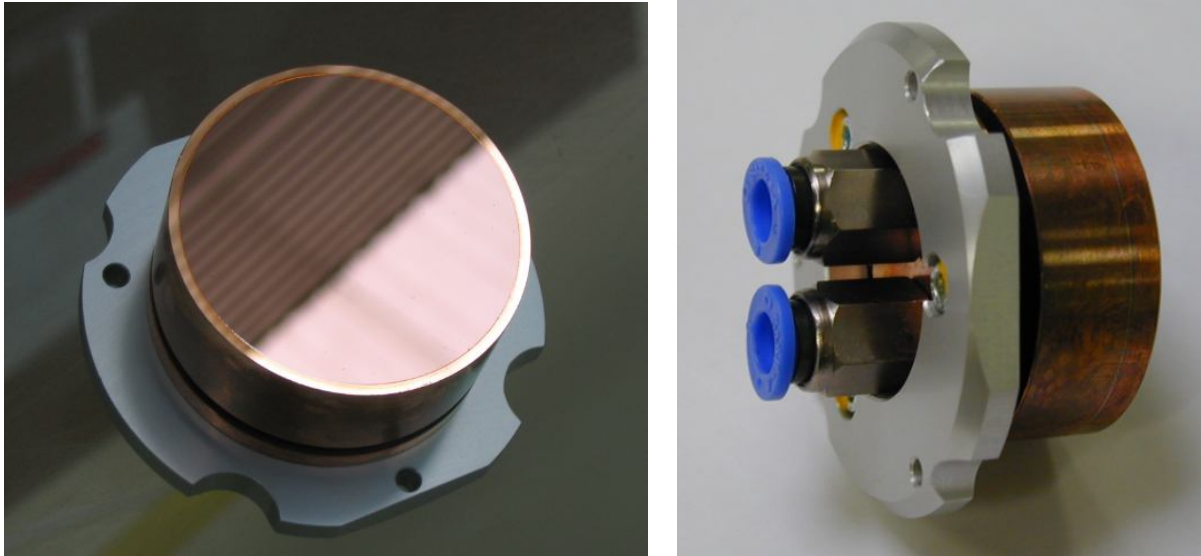


Figura 7.5. Imagen de un espejo enfriado por agua

Otro detalle a mencionar y que resulta de suma importancia es la forma del haz.

En el camino hacia la boquilla de corte la integridad de los espejos y la buena calibración de los elementos en el resonador permitirán que la forma del rayo Laser sea adecuada para realizar un corte. Esto es debido a que en la última etapa donde se enfoca el haz, si este no presenta una forma adecuada el resultado será un chorro de energía con deficiencias que pueden producir reflexiones no deseadas, quemado en áreas donde no se supone realizar corte alguno o cortes deficientes que parecerían asociados a una falta de potencia para atravesar el material a cortar cuando en realidad se trata de un perfil defectuoso.

Asociado a el camino del haz y a su generación esta el cuidado que el operador o el técnico a cargo de monitorear en periodos establecidos la calidad del haz para atender y resolver el problema antes de que se generen daños en la producción o a los elementos ópticos dentro del camino óptico.

Abajo se muestran unas pruebas de quemado en acrílico en donde se puede observar el perfil deseado para un Laser de corte. La forma ideal de un quemado por laser en un bloque de acrílico es circular en el plano de dos dimensiones y cónico cuando se observa a lo ancho.

Estos perfiles son utilizados generalmente para visualizar el frente de potencia del haz antes de ser enfocado en la boquilla de corte. El tiempo de exposición, potencia y características del haz son definidas por la prueba que desea realizarse. En base a los resultados de quemado en acrílico en tres dimensiones pueden realizarse las calibraciones o alineaciones necesarias para completar cualquier ajuste, esto puede verse en el acrílico de la imagen 7.6. Esta es generalmente la prueba final y suele



incluirse una o varias placas de acrílico en cada laser nuevo como muestra de que ha sido calibrado y probado antes de ser entregado.

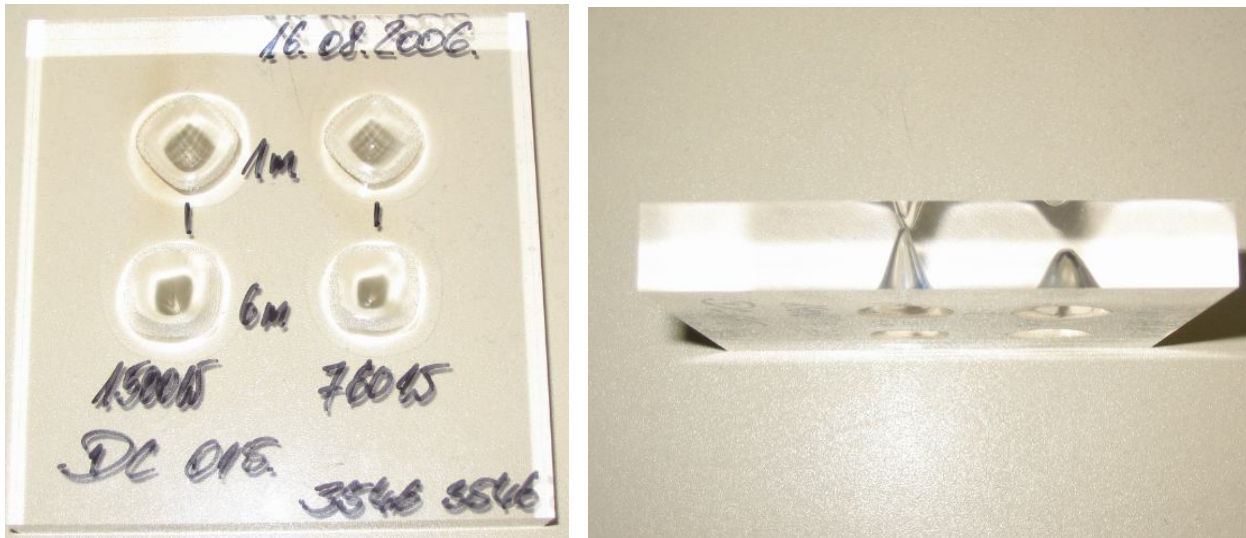


Figura 7.6. Pruebas de quemado en placas de acrílico para observar el perfil de energía del rayo Laser de corte.

7.1.5 Sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento de la unidad laser y el proceso de corte es parte primordial para su funcionamiento y desempeño. Antes incluso de que haya una emisión Laser y esta se lleve a través de un camino óptico, se debe de estar seguro que los sistemas de enfriamiento trabajan adecuadamente. Regularmente existen controles de temperatura que se encargan de enviar señales de alerta al operador si es que algún valor se encuentra fuera de tolerancia o de desactivar el Laser si es que presenta fallas en su sistema de enfriamiento. Estos controles se encuentran en los controles como los mostrados en la figura 7.7.

Normalmente en el corte con Laser existen tres tipos de circuitos de agua de enfriamiento que manejan temperaturas diferentes y características distintas.

Tríodo enfriado por agua. Para este elemento se requiere de una temperatura específica que permita al tríodo mantenerse en niveles adecuados de calor así como estrictas características de conductividad del agua utilizada para evitar arcos de alto voltaje dentro del tríodo, lo que podría dañarlo irremediablemente.

Gabinete electrónico y resonador enfriado por agua. Debido a que se necesita generar altos niveles de voltaje continuo para excitar la cavidad del resonador, se producen también temperaturas que



deben de ser controladas para evitar sobrecalentamientos y daños en el gabinete de control. Este circuito de agua de menor temperatura que el descrito anteriormente y separado de aquel del tríodo enfría también la cavidad del resonador. Sensores en varios lugares se encargan de controlar esas condicionantes de temperatura para el disparo de el haz Laser.



Figura 7.7. Sistema de enfriamiento Damplex usado para resonadores Laser

Espejos enfriados por agua. Otro circuito adicional de agua se utiliza para enfriar a los espejos del camino óptico del Laser. La temperatura de enfriamiento de este circuito es mayor a los dos descritos anteriormente y es crítica por un lado para mantener a los espejos frescos mientras transfieren el haz de alta potencia y al mismo tiempo evitar condensación en su superficie. Una temperatura un grado por debajo del valor estipulado generaría condensación en el espejo que desembocaría en la destrucción inmediata del mismo al reflejar el haz con partículas de vapor en su superficie como el que se muestra en la imagen 7.8.



Figura 7.8. Espejo dañado por condensación



7.1.6 Cabeza o boquilla de enfoque

Para realizar el corte al final del camino óptico, lentes de enfoque son necesarias para llevar el haz a su máxima potencia concentrada en un punto. Este paso del proceso es sumamente importante porque un buen corte depende de que se haya enfocado la lente de manera correcta antes de iniciar corte en producción. También es crítico el que estas lentes soporten altas presiones mecánicas debido a que en muchas ocasiones se manejan gases de enfriamiento por un lado de la lente y gases de corte por el otro. De la misma manera que sucede con los espejos en el camino óptico cualquier fisura o partícula quemada en la superficie de la lente la destruiría instantáneamente en una reacción en cadena.

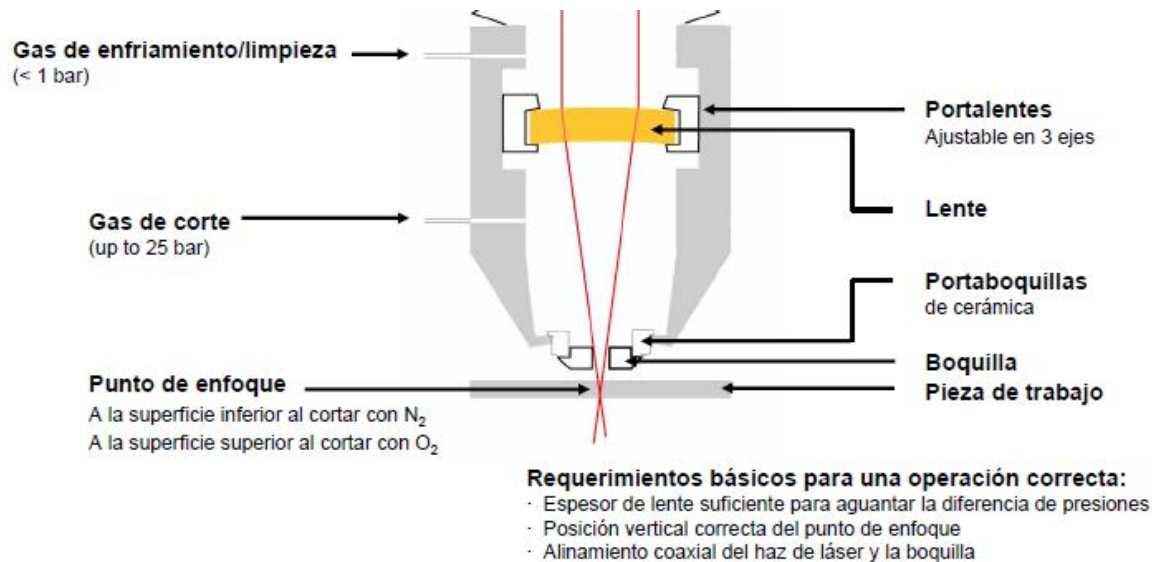


Figura 7.9. Diagrama descriptivo de una boquilla de corte.

Existen diferentes tipos de boquillas y sistemas de enfoque que garantizan que se realice el corte de diferentes materiales de manera satisfactoria. Dependiendo de la composición, el grosor o la distancia al material los diferentes tipos de lentes de enfoque son seleccionados y ajustados en las boquillas específicas para dichas aplicaciones. Ejemplos pueden verse en las imágenes 7.9 y 7.12.

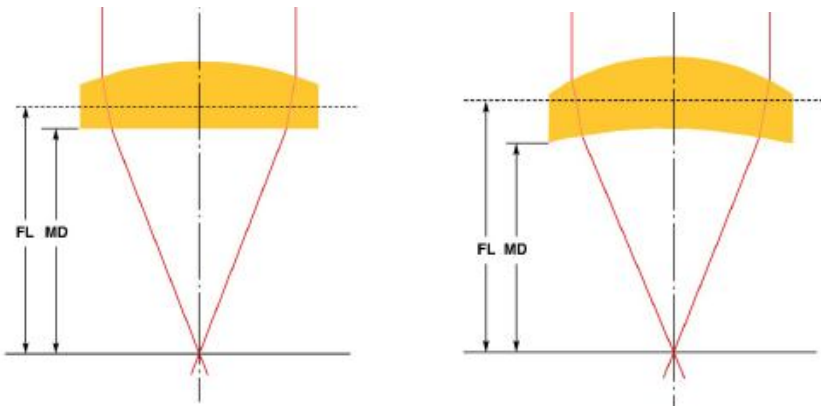
En la siguiente ilustración 7.10 se muestra una boquilla para corte de bolsa de aire. Como puede observarse en la apertura de salida que no excede los 5 mm de diámetro existen unos orificios por los que circula el aire de enfriamiento. El haz debe pasar por el centro de este espacio sin ninguna deformidad o reflexión en la misma boquilla ya que de no hacerlo así las emisiones resultantes podrían dañar el material a cortar.



Figura 7.10. Boquilla de corte para bolsa de aire.

En la figura 7.11 se muestran algunas lentes utilizadas en cabezales de enfoque para corte de diferentes materiales:

Una lente plano convexa es usada para un punto de enfoque más lejano, con una lente de menisco cóncavo – convexa en enfoque se desplaza hacia arriba.



FL- Distancia de enfoque, MD – Distancia de montaje

Figura 7.11. Dos tipos de lentes donde se puede observar la diferente distancia focal dependiendo su forma.

En las boquillas de enfoque también son utilizados espejos a 45 grados que permiten desviar el haz 90 grados y enfocarlo simultáneamente. Estos espejos conocidos como parabólicos debido a su forma en la superficie requieren de enfriamiento por aire o agua dependiendo de la potencia del Laser que se esté utilizando.

Una limitante en este tipo de boquillas es la variación del foco del haz, por lo que estas son utilizadas mas en láseres de baja potencia en los que no se cambian los espesores de los materiales a cortar no se requieren ajustes de potencia durante su uso regular.

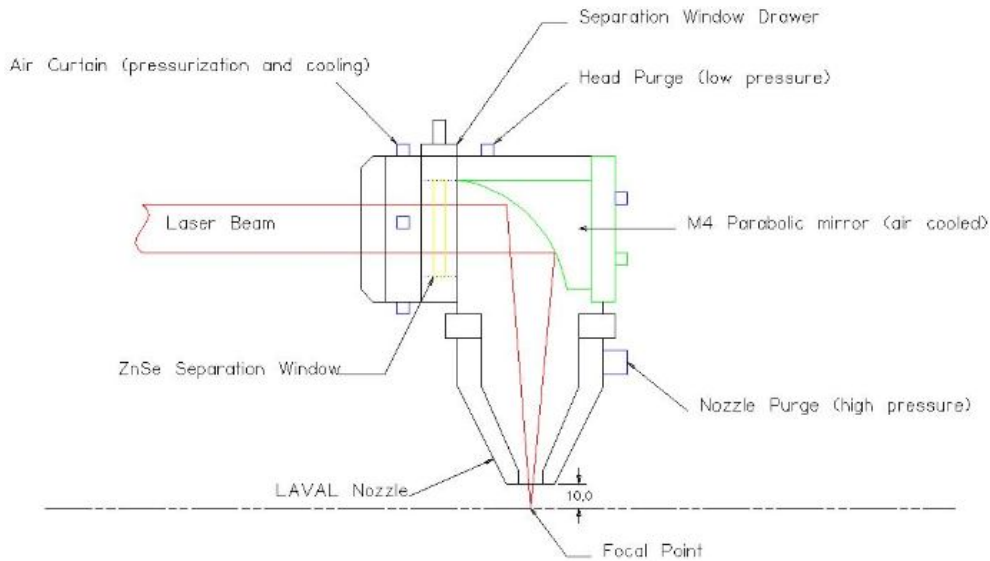


Figura 7.12. Grafico de un cabezal de enfoque con espejo parabólico a 45 grados

Así mismo la utilización de lentes como las descritas anteriormente permite la utilización de espejos planos al desviar el haz de corte 90 grados hacia el material. Este tipo de boquilla se utiliza cuando se requiere hacer ajustes del punto focal entre un material y otro. Esto se puede lograr al desplazar la lente que en el dibujo 7.14 se presenta en color rojo y se muestra en la imagen 7.13, hacia el frente o hacia atrás, desplazando proporcionalmente el punto focal en la superficie de corte.

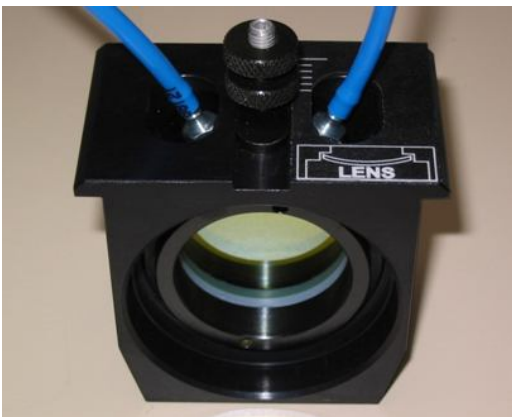


Figura 7.13. Lente enfriada por agua en ventana de separación de cámaras de una boquilla de enfoque

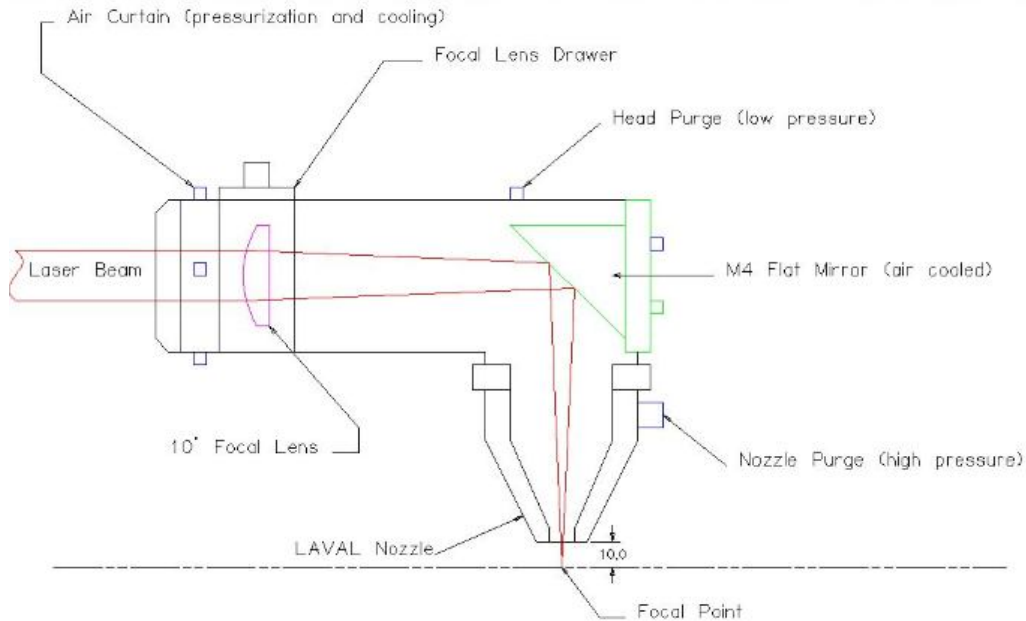


Fig. 7.14. Cabezal de corte con lente de ajuste plano convexa y espejo de 45 grados plano que permite realizar ajustes en el punto focal de corte dependiendo el espesor de los materiales o el número de capas a cortar.

Como un ejemplo adicional de cabezales de corte Laser se encuentra el que lleva sistema de enfriamiento, lente de ajuste y sistema de alineación de la boquilla. Este cabezal se utiliza en Láseres de alta potencia en donde el enfriamiento es crítico para mantener una temperatura adecuada durante el corte de materiales de mayor espesor. El haz de corte utilizado puede alcanzar las siguientes características una vez enfocado: diámetro del laser en el punto focal de 200 μm , energía en el punto focal de 9.5 Mega Watts/cm² con capacidad de corte de hasta 8 mm.

En la ilustración siguiente se puede observar la cámara de enfriamiento donde se encuentra el espejo de 45 grados plano enfriado por agua separada de la presión externa donde se encuentra el lente plano convexo a través del cual la distancia focal puede ser ajustada.

Este tipo de boquillas más complejas son generalmente utilizadas en el corte de materiales más gruesos que requieren ajustes continuos en el punto focal y en la potencia. El uso de gases o aire adicional de enfriamiento agrega complejidad a las características de sus componentes, ya que las presiones que se manejan son diferentes y se debe tener cuidado que no haya flujo de una cámara a la otra o que las presiones sean las adecuadas, figura 7.15. También las lentes usadas deben de cumplir con requisitos de resistencia mecánica a la diferencia de presiones entre cámaras bajo diferentes temperaturas sin perder sus propiedades ópticas.

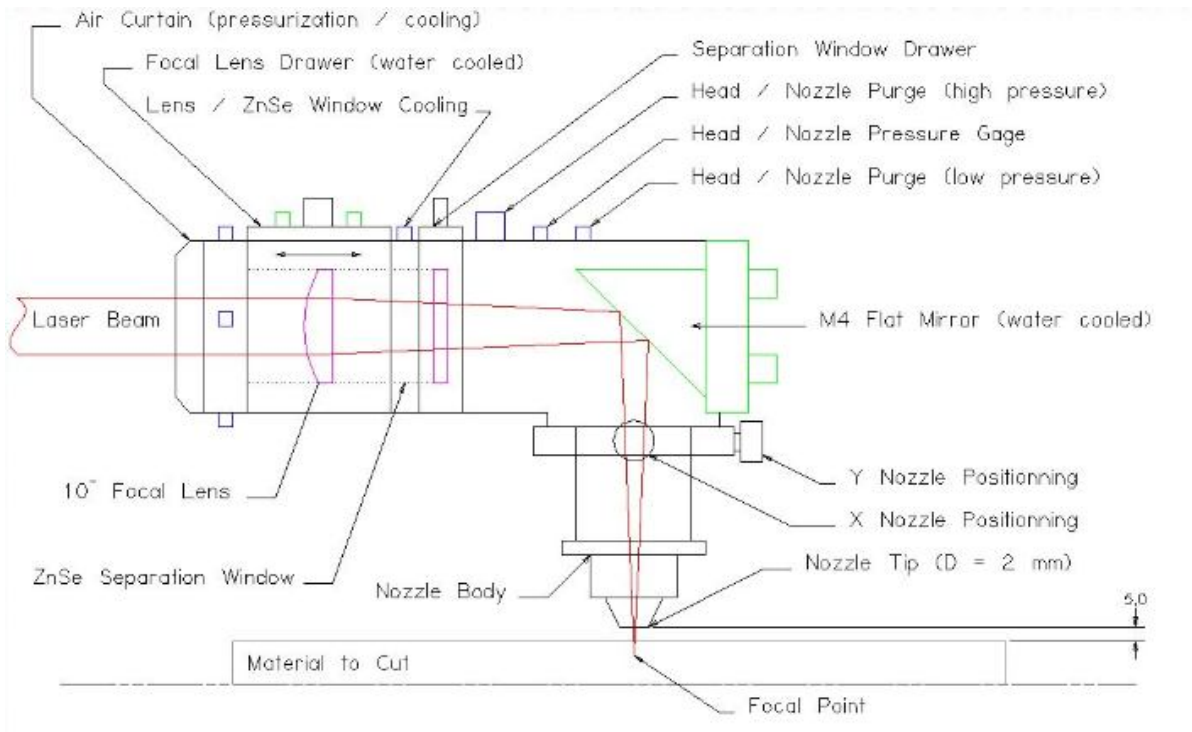


Fig. 7.15. Ejemplo de un cabezal de corte con camara de enfriamiento y lente de separación.

7.1.7 Sistema de extracción de humos

Como parte final del proceso de corte esta el sistema de extracción de humos y residuos producto del corte. Este sistema a través de una turbina de succión retira los gases o humos al exterior de la zona de corte. Debido a que la emisión y el corte laser se hacen en un área confinada dadas las características del laser de potencia, es de vital importancia que ese espacio se mantenga libre de cualquier gas o residuo ya que cualquier acumulación de estos elementos seria un riesgo inminente de incendio y daño en los elementos ópticos de la boquilla de enfoque.

Para este efecto existen diferentes sistemas de extracción con turbinas pequeñas y con sistemas adicionales de enfriamiento así como filtros que se encargan de mantener un nivel aceptable de calidad del aire entrando a la turbina o saliendo de ella

El sistema de extracción puede ser puntual en el área del corte o general para toda la cabina donde se realiza la manipulación y corte del material. La interrupción del funcionamiento de este sistema (presencia de presión negativa a la salida de la turbina de succión) activa una alerta en la maquina a través de un switch on / off que le indica que el proceso de corte debe de ser suspendido.



7.2 Diagrama de bloques general del proceso de corte

El proceso de corte se divide dos etapas básicas: el posicionamiento de la boquilla emisora del haz Laser a través de ejes coordinados X-Y, lo cual implica el control de servomotores que desplazan ambos ejes y el control de la emisión Laser dependiendo de la posición específica.

La regulación de la potencia del Laser se hace a través del control electrónico de la máquina de corte que es la encargada de enviar la señal correspondiente al gabinete de control Laser, esta información contiene el nivel de potencia que debe de emitirse y la duración de la emisión. El gabinete de control del Laser se encarga de definir los valores de corrientes y voltajes necesarios para hacer la emisión de la potencia requerida así como de transmitir el pulso de disparo al resonador.

A continuación en la figura 7.16 se muestra un diagrama de bloques del proceso mencionado anteriormente:

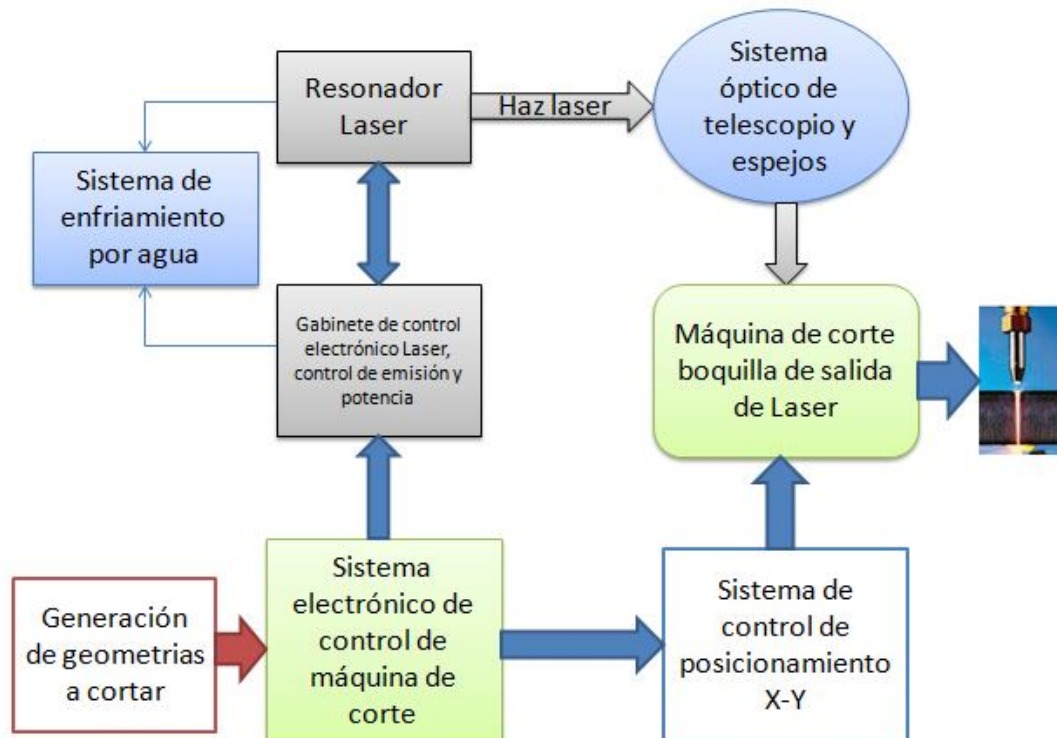


Fig. 7.16. Diagrama a bloques básico del proceso de corte

Los niveles de potencia necesarios para realizar un corte adecuado y la velocidad a la cual la boquilla puede desplazarse son definidos por el software que controla la máquina de corte y que ha procesado



las geometrías a cortar. Dichas decisiones dependen de la aplicación en la que se está utilizando el Laser y el material a cortar.

7.3 Diagrama elemental de interacción y forma de las señales

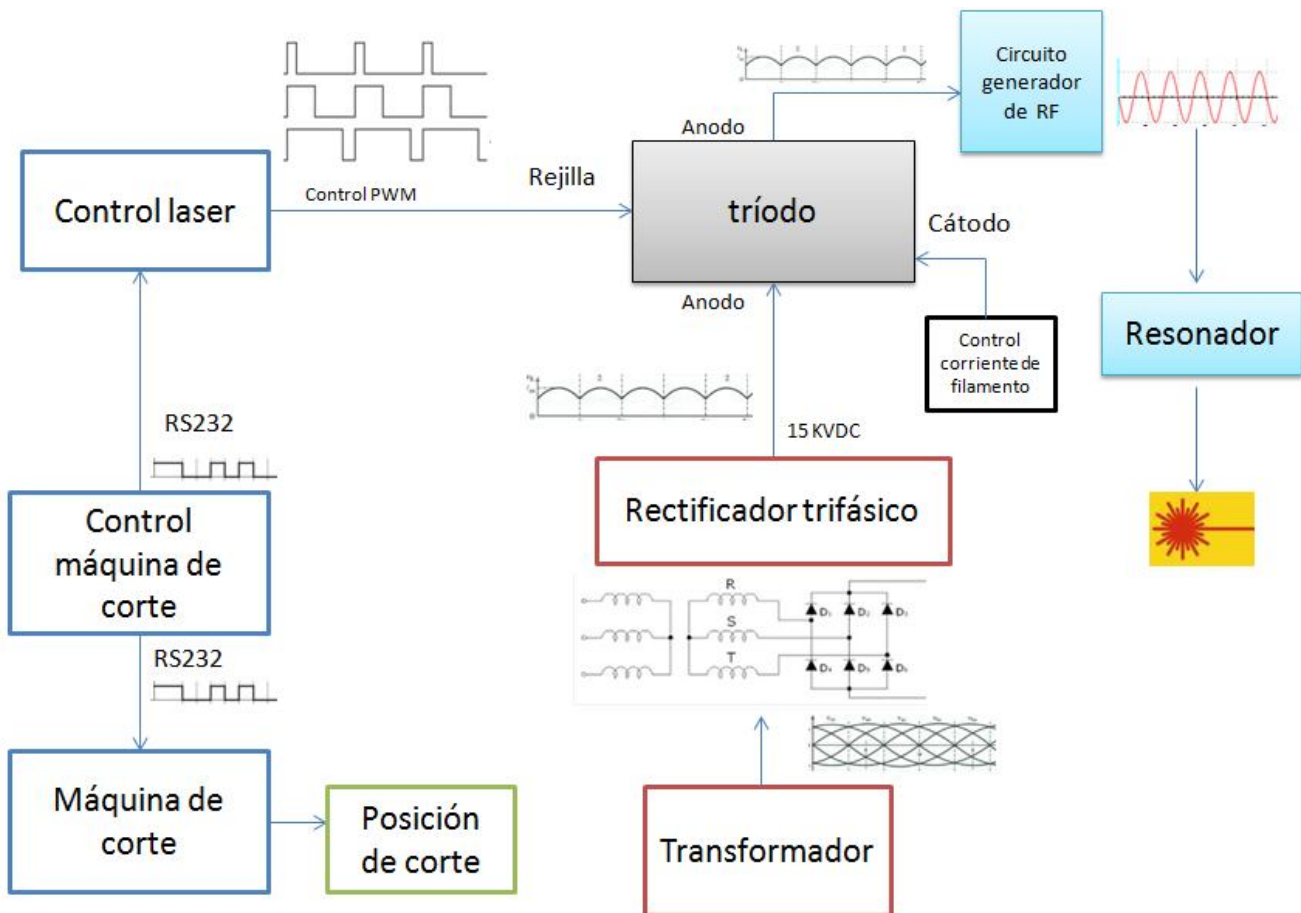


Figura 7.17. Diagrama de bloques de las señales usadas en una fuente laser.

En la máquina de corte así como en la unidad laser, se tienen diferentes señales de control y de comunicación que permiten la interacción de los diferentes elementos, los cuales pueden observarse en la figura 7.17. Por un lado la máquina de corte debe de mantener un control sobre la posición del brazo de corte en los ejes coordenados X e Y al mismo tiempo enviar una señal a la unidad Laser de la cantidad de potencia que debe de ser emitida. La unidad Laser se encarga entonces de producir los valores necesarios para alcanzar la potencia requerida. Dadas estas condiciones, podemos decir que se tienen dos bloques diferentes a abordar en este apartado, primero el control de posición en la



máquina de corte y luego el control de potencia en la unidad laser.

Como punto final la interacción entre ambos sistemas podrá dar una visión más clara de los procesos involucrados de manera general.

7.3.1 Maquina de corte, control automático de los motores DC

En un sistema de control en el que se tienen un procesador de señales dedicado con DSP (de las siglas en ingles "Digital Signal Processor") y dos o más motores de DC , uno por cada eje, X e Y , el control automático y la función de regulación de posición y velocidad son operadas de manera digital de la manera mostrada en la figura 7.18.

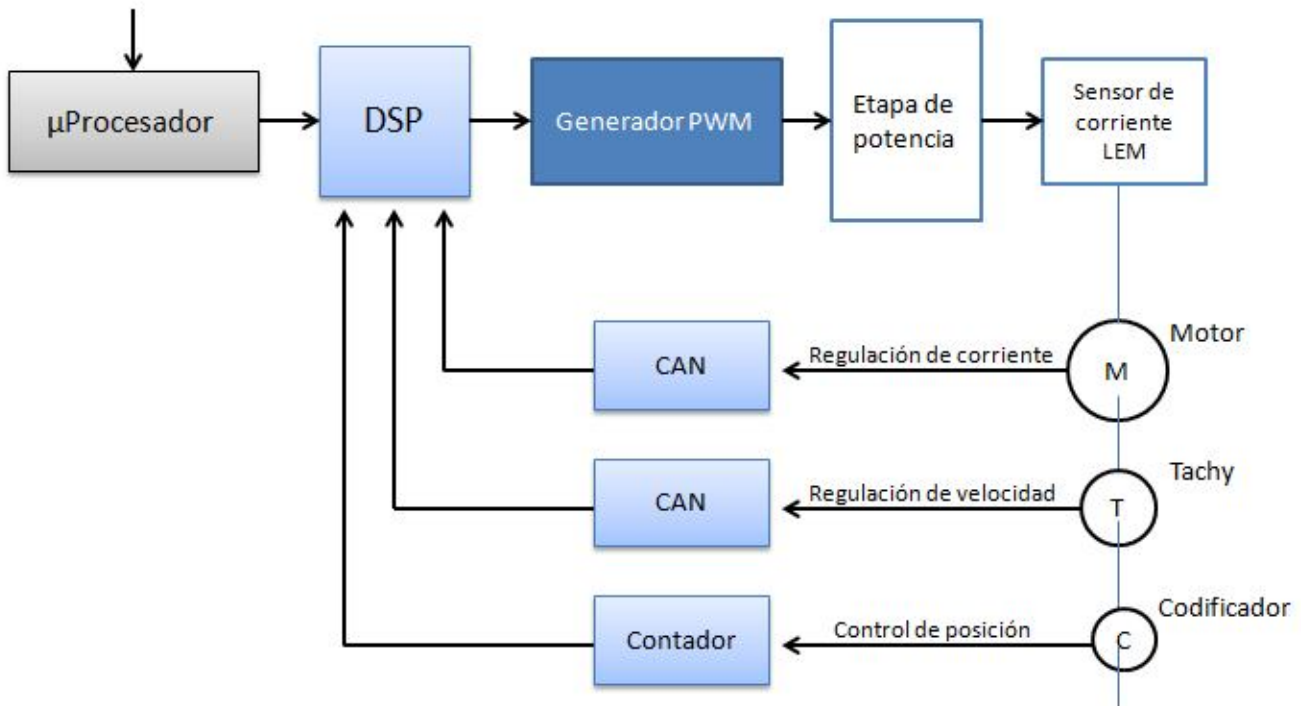


Fig. 7.18 Diagrama de bloques del control de los motores de posición X-Y.

Se le pide al control principal llevar la herramienta de corte a una posición específica a través de las coordenadas de dicho punto, este control envía la solicitud al DSP, quién controla y regula los movimientos necesarios de los motores. El DSP entonces define la nueva posición calculando una instrucción de velocidad obtenida de la diferencia entre la posición anterior y la actual provista por el encoder acoplado mecánicamente al motor. Con la finalidad de asegurarse de que el motor está



operando correctamente, el DSP monitorea los valores de corriente suministrada al motor medida por el sensor con transductor LEM. Debido a que en estos desplazamientos de la herramienta de corte hay también esfuerzos mecánicos que afectan la velocidad, ésta también es monitoreada y controlada automáticamente por los tacogeneradores también acoplados a los motores.

La señal PWM transforma entonces el valor de control calculado por el DSP en una señal proporcional que representa el movimiento requerido y que es aplicada a la etapa de potencia que se encarga de suministrar el voltaje al motor en sus terminales, traduciéndose finalmente en el desplazamiento solicitado.

Este proceso descrito anteriormente puede ser explicado más claramente en la figura 7.18 en el que se muestra los elementos en la malla de control de la posición del motor de DC. Cabe recordar que se tienen dos controles diferentes, uno para cada eje, es decir dos mallas de control con dos encoders, etapas de potencia y taco generadores.

7.3.2 Control automático de posición

El control automático de posición es controlado por el DSP basado en la retroalimentación transmitida por los encoders acoplados a los motores.

Estos encoders se encuentran dentro de los motores de los ejes X e Y generando dos tipos diferentes de señales desfasadas, A, /A y B, /B con una resolución de 1000 pasos por vuelta.

La diferencia de fase de las señales depende de la dirección en la cual los motores se encuentran rotando (la señal B parece estar invertida cuando el motor cambia de dirección como se muestra en la figura 7.19).

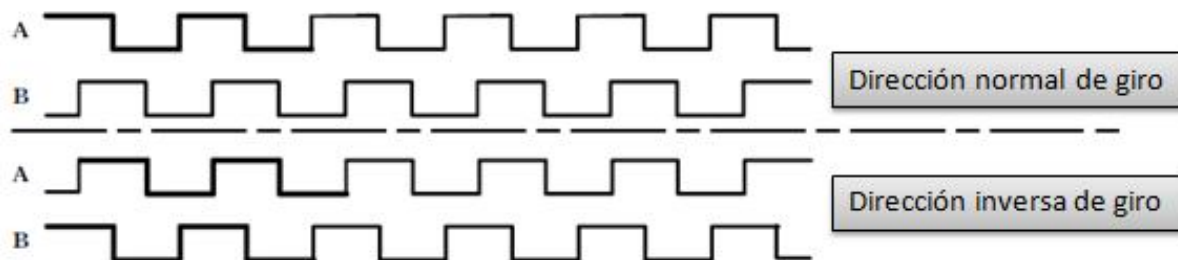


Fig. 7.19 Ejemplo de la forma de señales de los encoders de X-Y

7.3.3 Estructura del contador

En el contador para los ejes X-Y, las señales A y B son decodificadas y el resultado se introduce en una entrada UP o DOWN dependiendo la dirección del contador, el contador entonces cuenta hacia arriba



o hacia abajo produciendo un valor de 24 bits.

Durante una lectura, dependiendo de los valores binarios A0 y A1 suministrados por el DSP y correspondientes a cada eje, un multiplexor transfiere el resultado obtenido a un comparador donde se sincroniza con una señal de referencia READ para poder ser leído.

El contador interpreta entonces esa señal y envía una salida al DSP para aplicar alguna corrección, este proceso puede verse en la figura 7.20.

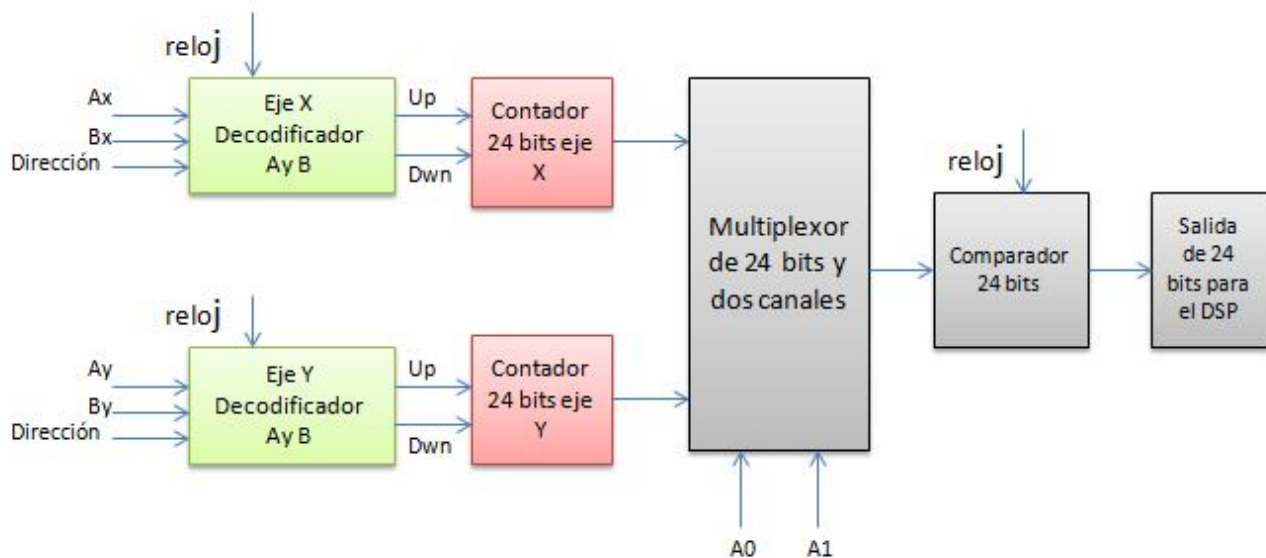


Fig. 7.20 Ejemplo de control usando las señales A B de los encoders de los ejes X-Y.

7.4 Características particulares y principio de operación de sensores, servo motores y codificadores

Dentro de los diferentes procesos involucrados en el corte con energía láser se encuentran una enorme gama de sensores y actuadores que permiten el control de las diferentes variables que pueden influir en su funcionamiento.

Solo con hacer un breve recuento de los diferentes valores que se encuentran en el laser podremos darnos cuenta que se trata de un sistema de control con una enorme cantidad de señales de retroalimentación. Veamos por ejemplo en el sistema láser y empezando por la cavidad resonante en sí. Debido a que allí se encuentra un gas como material activo que debe de ser contenido bajo ciertas condiciones físicas, tenemos sensores de presión para el resonador, sensores de flujo para el sistema de enfriamiento con agua de las placas reflejantes, sensores de presencia de espejos, detector de potencia emitida y múltiples medidores de corrientes y voltajes casi todos ellos basados en sensores



de efecto Hall.

Por el lado de la máquina de corte tenemos sensores de detección de presencia de aire, humedad del mismo, detección de la extracción de humos, de la apertura de tapas y puertas así como numerosos botones de paro de emergencia que actúan interrumpiendo la emisión del haz o cortando voltajes peligrosos en caso de ser activados al igual que las tapas.

Con respecto a los servomotores que en su flecha tienen acoplados decodificadores para su control de posición y tacogeneradores para el de velocidad, tenemos que se trata de motores de corriente directa que son controlados por sistemas "push and pull" o circuitos en H con semiconductores IGBT regulando el flujo de corriente y sentido.

Se encuentran también los motores de avance de material a la entrada y a la salida de la cabina de corte. Estos motores son de corriente alterna y son controlados a través de variadores de frecuencia que se encargan de suministrar la corriente adecuada para el arranque y el frenado que es aplicada de manera trifásica a las tres bobinas de sus carcasas.

En el caso de estos ejes adicionales de carga y descarga, dos decodificadores acoplados directamente a las bandas de avance del material retroalimentan la posición del sistema a los controles electrónicos de ambos motores para que sus señales sean comparadas con una referencia generada en la máquina de corte. Esta referencia se produce por la tarjeta madre al efectuar las operaciones de desplazamientos x-y y avance de material dando como resultado de esta manera que se obtenga una rectificación que permita mantener el avance siempre sincronizado con el corte.

Todas estas variables y retroalimentaciones compuestas de todo tipo de señales son en un principio interpretadas por los controles locales de cada eje o elemento externo para ser finalmente llevados a la tarjeta madre o control principal que reside en la máquina de corte. Ella se encarga de tomar las decisiones necesarias de acuerdo a cada actividad. Es allí donde se coordina la emisión laser con la velocidad de la maquina y muchos otros parámetros de influencia en el corte. En ella reside también un programa interno que es la interface con la computadora que a su vez es la interface con el operador. Lo que en un software en la computadora es un valor en una casilla o una instrucción oprimiendo un botón virtual, en la tarjeta son condiciones para el DSP de cómo serán suministradas las diferentes salidas a las etapas de potencia de los ejes y la unidad Láser.

En las tablas siguientes se hace un recuento de los sensores que pueden encontrarse en la máquina de corte y en la unidad láser, sus características básicas y su principio de funcionamiento asociado:



Sensores	Características	Principio de operación	Ubicación	Función
Límite X	Micro switch on-off (1/0), Normalmente abierto	El movimiento de un brazo por medio de una fuerza externa cambia el estado eléctrico del dispositivo de no conducir a conducir, cerrando el circuito donde se encuentra conectado.	Máquina de corte	Envía señal de salvaguarda de límite fijo en X
Límite Y			Máquina de corte	Envía señal de salvaguarda de límite fijo en Y
Fuera de límite X	Micro switch on-off (1/0), normalmente cerrado	El movimiento de un brazo por medio de una fuerza externa cambia el estado eléctrico del dispositivo de conducir a no conducir, abriendo el circuito donde se encuentra conectado.	Máquina de corte	Paro de emergencia cuando se ha rebasado el límite en X
Fuera de límite Y			Máquina de corte	Paro de emergencia cuando se ha rebasado el límite en Y
Presión de aire	Medidor de tensión mecánica piezoresistivo	A través del efecto piezoresistivo de un material se mide la presión sobre el mecanismo de detección.	Máquina de corte	Garantizar adecuada presión para escudo de aire en espejos
Humedad de aire	Higrómetro de resistencia	La resistencia de un elemento conductivo varía con el contenido de humedad	Máquina de corte	Evitar que se produzca condensación en elementos ópticos
Presencia de aire	Presostato normalmente cerrado	El aire ejerce una presión sobre un pistón interno haciendo que se desplace hasta que se separen dos contactos, cuando la presión baja un resorte regresa el pistón y el contacto a su posición inicial.	Máquina de corte	Garantizar funcionamiento de sistema neumático
Nivel de alto voltaje	Diferencia de potencial medida en un circuito de bajo voltaje	Se calcula el nivel de alto voltaje a partir de un voltaje en el rango de las decenas de volts en el circuito de control de alto voltaje el cual es calibrado usando una punta de alto voltaje.	Unidad Láser	Retroalimentación de estatus al operador
Flujo de agua	Sensor de efecto hall	Un rotor de agua gira cuando el agua circula a través de él, como su velocidad cambia dependiendo el valor del flujo, el sensor de efecto Hall produce una señal de pulsos equivalente.	Unidad Láser	Garantizar funcionamiento de sistemas de enfriamiento
Temperatura de agua	Termómetro de resistencia	La resistencia de un alambre de metal varía con el cambio de temperatura	Unidad Láser	Garantizar funcionamiento de sistemas de enfriamiento
Potencia de haz Laser	Sensor piroeléctrico	Las propiedades eléctricas de un material se ven modificadas al aplicarle cambios de temperatura efecto de una radiación incidente	Unidad Láser	Control de potencia
Presión de gas en cavidad	Medidor de tensión mecánica piezoresistivo	A través del efecto piezoresistivo de un material se mide la presión sobre el mecanismo de detección.	Unidad Láser	Control de elementos para funcionamiento del resonador
Detección de sobrecorriente	Sensor de efecto Hall	Una diferencia de potencial es generada usando una placa semiconductor cuando un flujo magnético interactúa con una corriente aplicada.	Unidad Láser	Seguridad eléctrica para protección de elementos electrónicos



Temperatura en transformador	Termistor	El valor de resistencia de un metal cambia de acuerdo a los cambios de temperatura a los que se ve expuesto	Unidad Láser	Seguridad para protección del transformador
Temperatura en espejos	Termistor	El valor de resistencia de un metal cambia de acuerdo a los cambios de temperatura a los que se ve expuesto	Unidad Láser	Seguridad para protección de los espejos
Red de seguridades				
Telescopio Láser	Micro switch on-off (1/0), normalmente cerrado	El movimiento de un brazo por medio de una fuerza externa cambia el estado eléctrico del dispositivo de conducir a no conducir, abriendo el circuito donde se encuentra conectado.	Máquina de corte	Garantizar un entorno cerrado donde hay haz de energía
Espejos en posición			Máquina de corte	Detener emisión si algún espejo no está en posición
Apertura de tapas			Máquina de corte	Garantizar un entorno cerrado cuando hay emisión de potencia
Paros de emergencia			Máquina de corte	Seguridad para usuarios
Cubierta del resonador			Unidad láser	Detener emisión si la unidad Láser es abierta
Puerta de control electrónico			Unidad láser	Detener emisión si la unidad Láser es abierta
Compuerta de disparo			Unidad láser	Garantizar compuerta está cerrada cuando no se está efectuando una instrucción de corte
Servo -motores				
Movimiento X	Motor DC controlado por voltaje	Motor de DC varía su velocidad de acuerdo al nivel de voltaje aplicado	Máquina de corte	Desplazar boquilla de corte en el eje X
Movimiento Y	Motor DC controlado por voltaje	Motor de DC varía su velocidad de acuerdo al nivel de voltaje aplicado	Máquina de corte	Desplazar boquilla de corte en el eje Y
Avance de conveyor	Motor AC controlado por variador de frecuencia	Un control electrónico envía la señal de instrucción para el motor a un variador de frecuencia que se encarga de alimentar al motor con una frecuencia específica de acuerdo a la velocidad requerida	Máquina de corte	Desplazar el material a cortar
Descarga de material	Motor AC controlado por control On-Off	Un circuito detecta la presencia de corriente en el motor de conveyor y acciona a través de elementos de estado sólido la alimentación trifásica al motor AC de carga/desgarga.	Máquina de corte	Descargar el material cortado
Carga de material	Motor AC controlado por control On-Off		Máquina de corte	Ingresar al area de corte el material a tratar



Codificadores				
Posición X	Encoder de cristal acoplado a la flecha del motor	Señales A-B son retroalimentadas a un contador para que se apliquen correcciones a través de un DSP que regula la posición	Máquina de corte	Control de la posición en X
Posición Y	Encoder de cristal acoplado a la flecha del motor		Máquina de corte	Control de la posición en Y
Posición conveyor	Encoder de cristal acoplado a la flecha del motor	La señal proveniente del encoder del conveyor es copiada para controlar la velocidad de los elementos asociados al avance del material	Máquina de corte	Control de la posición en conveyor
Posición sistema de alimentacion			Máquina de corte	Control de la posición en la carga
Posición sistema de descarga			Máquina de corte	Control de la posición en la descarga

8. ALCANCE DE LA APLICACION

Problemas a resolver

Dentro de la industria automotriz donde se implementan las cortadoras de las que hablo en este reporte, se presentan múltiples necesidades en diferentes niveles que requieren ser atendidas con soluciones completas que satisfagan las exigencias impuestas por la relación calidad / rentabilidad. La empresa en la que laboro ofrece a sus clientes con alto estándar de calidad en sus productos, soluciones que cumplan con sus normativas y expectativas de productividad. En un primer nivel de acercamiento se intenta resolver al reunir diversos esfuerzos tecnológicos el problema más básico que se establece en una planta de corte de cualquier recurso: máximo ahorro de material y máxima velocidad en la producción. Esto resulta evidente al considerar que si se están cortando moldes de bolsas de aire para autos, por cada milímetro que se desperdicia en los procesos de corte en una pila de material por metro, (habrá que multiplicar por el número de capas, por la longitud final del tendido y por las miles de veces que se corta repetidamente en un año) se estarán tirando a la basura cantidades exorbitantes de dinero. Por otro lado, si la producción de los componentes requeridos en las plantas de ensamblaje de autos no es entregada a la velocidad y con la consistencia con la que están siendo demandados, las pérdidas en los contratos involucrados serían millonarias. Es así que aquellas maquiladoras de diversos productos se encuentran en la interminable carrera contra el tiempo y la calidad de alto nivel por un lado y el ahorro y rentabilidad por el otro.

Dicho lo anterior y tomando en cuenta que habrá que encontrar una solución a ese problema de alta calidad en el corte y alto nivel de ahorro, se verá que si varios bloques de piezas pueden ser cortados



con prácticamente ninguna separación o tolerancia entre ellos, una velocidad alta que solo se logra al no tener ningún elemento de corte en contacto con el material y con una precisión que un haz de luz tiene al atravesar un bloque de material, una cortadora Laser puede ahorrar y producir con eficiencia. En las figuras 8.1 y 8.2 puede observarse como una máquina de corte usando rayo Laser puede cortar dos piezas prácticamente juntas en un bloque de 30 lienzos con una precisión consistente.

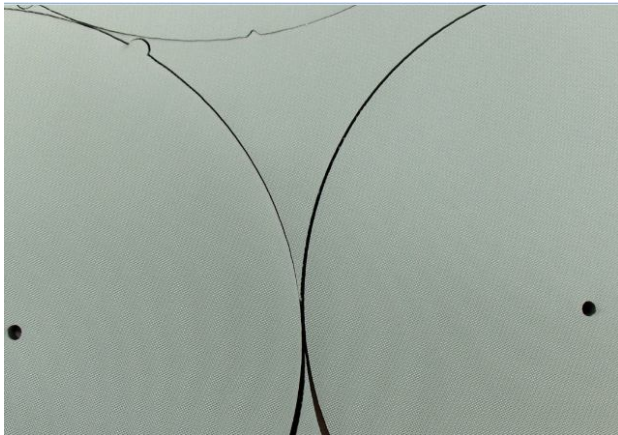


Fig. 8.1 Corte de bolsa de aire a 30 capas con separación de 0 mm entre piezas.

En un segundo nivel de acercamiento a la problemática que se desarrolla de este punto, podremos percatarnos que esta condición en la que la maquinaria puede estar produciendo de manera eficiente no será permanente durante su vida útil. Es claro que los desgastes físicos causados por las inercias y constantes fricciones eventualmente generaran juegos mecánicos que se manifestaran en la dificultad para alcanzar una precisión como la mostrada en las imágenes.

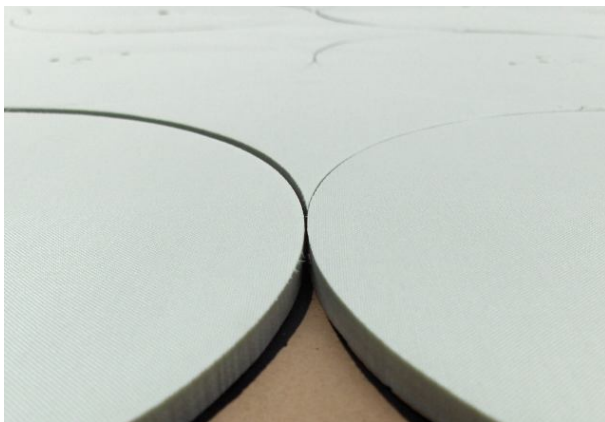


Fig. 8.2 Corte de 30 capas de bolsa de aire con silicón con alta precisión



A partir de este punto podemos enumerar los elementos que sufrirán deterioro en el tiempo de manera natural y que deberán de considerarse para mantener las condiciones deseadas por el cliente.

Condiciones esperadas

- 1.- Precisión en el corte
- 2.- Cortes completos y sellados de todas las capas
- 3.- Funcionamiento continuo sin paros para ajustes imprevistos
- 4.- Confiabilidad de la maquina (sin fallos mecánicos, eléctricos, etc. sorpresivos)
- 5.- Velocidad en la producción
- 6.- Facilidad en su operación y seguridad

Problemas derivados

- 1.- Perdida de precisión en los cortes, cortes traslapados, desperdicio de material rechazado
- 2.- Las piezas no quedan completamente separadas y se rasgan al retirarlas
- 3.- No se produjo el sellado de los contornos
- 4.- Continuos paros momentáneos para ajustar alineaciones
- 5.- Baja velocidad en los cortes
- 6.- Baja calidad en las formas de los contornos (medidas fuera de especificaciones)
- 7.- Desgaste excesivo de partes mecánicas, reemplazos frecuentes
- 8.- Largos paros de producción por fallas continuas en elementos eléctricos o electrónicos
- 9.- Seguridades sin funcionar que exponen a los operadores
- 10.- Perdidas continuas de potencia en la unidad Laser

La atención y resolución de esta problemática descrita está compuesta de infinidad de elementos que pueden adoptarse dependiendo de la etapa de daño en la que esta se encuentre. Resultaría tal vez claro imaginar que una prevención a tiempo y un disciplinado plan de mantenimiento serian



suficientes para mantener todas las condiciones esperadas, pero la implementación de los planes de prevención en sí mismos generan problemas adicionales que deben de ser atacados desde su origen con el fin de evitar que desencadenen la omisión en la implementación de las acciones preventivas. Es así que en un plano diferente encontramos este segundo grupo de problemática que deberá ser atendido de igual manera a un nivel acorde a la necesidad:

Problemas que impiden la implementación de soluciones

- 1.- Planes de producción que anulan acceso a la maquinaria para ajustes
- 2.- Uso de partes para mantenimientos en mal estado
- 3.- Desconocimiento de partes críticas en stock
- 4.- Accesibilidad a la maquinaria insuficiente para acciones correctivas
- 5.- Mantenimientos preventivos incompletos o fuera de especificaciones en tiempo y forma
- 6.- Presupuesto inadecuado para adquisición de partes de repuesto
- 7.- Consumibles de bajo costo y de mala calidad
- 8.- Baja capacitación de operadores debido a alta rotación de personal
- 9.- Desconocimiento de normas de seguridad por operadores y mecánicos
- 10.- Expectativas de producción fuera de la capacidad real de la maquinaria (valores fuera de rango)
- 11.- Falta de las herramientas necesarias para calibraciones

Como se podrá ver la atención de estas problemáticas incumbe diferentes niveles de acción en la maquina y en la unidad laser pero también dentro de la empresa que recibe los servicios en diferentes áreas de su organización interna. La estructuración e implementación de estas soluciones será descrita más adelante como parte de las actividades del ingeniero de campo en los diferentes puestos con diferentes rangos de acción.



8.1 PRESENTACION DE LAS CORTADORAS FOCUS Y LASERS ROFIN

A manera de circunscribir la descripción de las actividades y dar una perspectiva más definida de las soluciones que se ofrecen a la problemática descrita, hago una presentación breve de las maquinas y sus diferentes modelos dentro de la empresa. Esta compañía distribuye un amplio rango de maquinaria y software para los diferentes mercados con una amplia gama de opciones. En mi trabajo con la empresa me enfoco en el estudio de las maquinas de corte Laser de manera especial, en el manejo del software de diseño y control y en sus diferentes opciones.

Este grupo de maquinaria consta de varios elementos que se ofrecen en el mercado automotriz. De manera general un sistema de corte laser Focus está compuesto básicamente por dos elementos, la fuente laser y la máquina de corte. Para el primer elemento, se tienen fuentes Laser fabricadas y distribuidas por la empresa Rofin-Sinar, quienes tienen un convenio con nosotros en lo que a la venta y servicio de estos equipos se refiere. Se tienen para estas fuentes diferentes potencias comerciales que se seleccionan de acuerdo al cliente y necesidades: DC015 (fuente de 1500 watts), DC020 (fuente de 2000 Watts) y DC030 (fuente de 3000 Watts). Para algunas aplicaciones especiales se usan fuentes pequeñas modelo LC30 (300 watts).

Para las cortadoras Focus tenemos los modelos Focus 15 HP (High production) con fuente laser DC015 y óptica enfriada por aire, Focus 15 VHP (Very High Production) con fuentes DC020 y espejos enfriados por agua, Focus 15 XHP (Multicapa) con fuente DC030 y espejos enfriados por agua. Hay un modelo más llamado Focus 10 con fuentes DC015 y SC300 y con espejos enfriados con aire. Esta última versión de cortadora es de baja capacidad y de menor tamaño en comparación con la Focus 15.

Para las unidades láser de gas que distribuye la compañía donde trabajo se tienen dos módulos generalmente que se colocan próximos a la máquina de corte. Uno se conoce como el resonador que es donde reside la caja de resonancia y la cavidad de vacío y el otro como el gabinete de control donde se encuentra el transformador de alto voltaje y la electrónica. Existen diferentes disposiciones de los elementos mencionados dependiendo de los espacios disponibles y las necesidades. Algunos clientes colocan estructuras especiales sobre las maquinas de corte para optimizar las áreas encomendadas para la maquinaria como la mostrada en la imagen 8.3.

La empresa por la que he trabajado por estos años distribuye y da servicio solo a equipos de la marca Rofin de los modelos mencionados y son de estos a los que en los procedimientos descritos me refiero al igual que las maquinas de corte modelo Focus 15.



Fig. 8.3 Disposición con mezanie de unidad laser.

El control de la máquina de corte se hace a través de un software diseñado y desarrollado por la empresa llamado "Focus Pilot" el cual funciona bajo los sistemas operativos Windows XP, Windows 7 y 8. El programa de corte cuenta con varios módulos, entre ellos el de mantenimiento, que permite controlar los movimientos de la maquina y hacer diversas pruebas con la capacidad de ver valores de retroalimentación como contajes de encoders, corrientes en motores o señales de entrada y salida. Los módulos operativos son los que se encargan del control y los procesos de organización del corte, en que se definen niveles de potencia, velocidades, porcentajes de vacío, señalización, etc. También desde ellos se controlan los criterios que se utilizaran para tomar las decisiones respecto a la manera en la que se cortaran las diferentes geometrías. Sobre-cortes, dirección de las líneas internas, secuencia en el corte de círculos y otras formas geométricas son controladas y establecidas en este software.

Del lado del sistema Laser se tiene un software especial que solo corre dentro del gabinete electrónico y que se intercomunica con la máquina de corte a través de un control específico diseñado y distribuido por la compañía en cada una de sus cortadoras con el fin de permitir la comunicación. Los procedimientos y actividades en los que se enumeran las calibraciones durante su instalación e implementación en la producción las describo en el apartado siguiente.



9. PARTICIPACION PROFESIONAL

Reporte y descripción de actividades en el ámbito profesional

Partiendo de la problemática descrita anteriormente en el capítulo 8 en la que la atención y solución de problemas se debe abordar a diferentes niveles, explico en los apartados siguientes las actividades en las que he estado involucrado por 18 años dentro de la empresa. Desde los inicios de mi ingreso en donde me enfoqué en el aprendizaje de los equipos y los procedimientos de corrección de fallas, hasta la estructuración al lado de los clientes de sus planes de prevención y medidas de contención.

A través de los diferentes puestos por lo que he transitado, varios roles me fueron asignados y responsabilidades de acuerdo a los criterios aplicados con los clientes. Como ingeniero de campo me dediqué en los primeros años a la recepción de equipos o a su ubicación y alineamiento. Con el tiempo me involucré en la instalación y calibración de los diversos componentes que forman las maquinas laser. Tuve que tomar varios cursos con nuestro proveedor de la unidad laser *Rofin* con el fin de certificarme y poder intervenir los equipos y hacer ajustes y reparaciones. Dentro de la normatividad de la empresa *Rofin-Sinar*, nadie que no este certificado puede intervenir una unidad laser, ni revisar la óptica o cambiar elementos ya que un desconocimiento de las medidas de seguridad a tomar o de la fragilidad involucrada en elementos precisos podría resultar en costosos daños en un pequeño descuido o accidentes fatales en los peores.

Paralelamente a la certificación en la unidad laser, continué con el aprendizaje de la maquina y de su funcionamiento. Para un ingeniero de campo es importante conocer todos los elementos que la componen y poder intervenirlos para corregir una falla. Solo para citar un ejemplo consideremos que se recibe un reporte de que la unidad laser ha perdido potencia y ya no emite 3000 Watts como se espera sino menos de 1000W. Como se podrá imaginar, con una pérdida de potencia de ese nivel la producción se ve impactada fuertemente, por lo que hay que acudir a evaluar el incidente y además de repararlo señalar como el especialista, las acciones para evitar que ocurra de nuevo. Es así que para un ingeniero de campo certificado le será posible abrir la unidad laser y a través de los procedimientos establecidos rastrear el problema. Se encuentra entonces que un espejo está quemado y se sustituye para regresar a producción la maquinaria, sin embargo el criterio para determinar la causa será importante y se definirá de acuerdo a la experiencia, por lo que un ingeniero



con el conocimiento analizará y observará el espejo dañado para determinar cómo se dañó, si fue falta de limpieza, mala alineación o algún otro tipo de contaminación. Después de varios análisis podrá encontrar que la generación de humedad en la superficie del espejo fue causa de la contaminación y eventual daño. Al revisar entonces las temperaturas de enfriamiento del agua de los espejos se encontrará que por estar un grado más fría de lo necesario se provocó una condensación en la superficie del espejo que acarreo la falla al quemar con alta potencia agua. Siguiendo hacia la causa raíz, se deberá entonces analizar por qué la temperatura fue incrementada y por quién. Al final se encontrará que un mecánico observó errores continuos de baja temperatura en el sistema de enfriamiento, por lo que incrementó un grado el ajuste de la temperatura haciendo desaparecer la falla pero generando otra que provocó varias horas de paro. Ver apartado 7.1.5.

En el problema descrito anteriormente, en mi posición como ingeniero de campo mi labor ha consistido en no solo instalar e implementar la maquinaria en la que me especializaba siguiendo los procedimientos establecidos, sino en determinar también las causas raíz de las fallas, corregirlas y repararlas. Más adelante me fueron asignados proyectos completos de implementación de varias maquinas para objetivos más amplios, lo que implicó que estuviese a cargo de otro nivel de análisis de problemas con los clientes y de la tarea de implementar las acciones correctivas con ellos. A través del puesto de gerencia en el que me desempeño ahora dentro de la misma empresa, he podido aplicar esas experiencias y criterios en los diferentes niveles con nuestros clientes y de manera interna con la empresa, actividades que describo mas a detalle y de manera progresiva de acuerdo a mi posición a lo largo de los años posteriores a haber egresado de la Facultad de Ingeniería.

9.1 INGENIERO DE CAMPO

En la posición de ingeniero de campo se estructura un esquema de aprendizaje que comienza con capacitación en los equipos de diferentes mercados y aplicaciones en la casa matriz en Francia. Este proceso se complementa involucrando al personal de nuevo ingreso en la recepción de maquinaria y colocación en sitio. Gradualmente se comienza a asignarle responsabilidades y a solicitarle tareas de un nivel más complejo. La aplicación y entendimiento de los procesos de mantenimiento, reemplazo de partes durante los mantenimientos y ajustes de rutina van dando consistencia y oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos durante sus estudios. A través de calibraciones diversas y certificaciones, el ingeniero de campo se involucra en la reparación de fallas y especialmente, ya en un nivel de experiencia más avanzado, en la determinación *responsable y profesional* del origen real de las fallas y la explicación clara de sus diagnósticos. Esto como será entendible es crucial para la empresa ya que las evaluaciones y diagnósticos de los ingenieros de campo a cargo de



implementaciones de productos serán utilizados en negociaciones de alto nivel asociados a corrección de malos hábitos o deficiencias y establecimiento de contratos, muchas veces a nivel mundial. Un mal manejo de estas situaciones por una falta de criterio o deficiencia en los análisis puede llevar a pérdidas millonarias de contratos importantes en otras regiones del mundo afectando gravemente a la empresa. Tomemos como ejemplo una implementación de una cortadora Laser en México que será utilizada como evaluación de la confiabilidad de la misma para la adquisición de 50 equipos más en otra región del mundo implicando contratos con la matriz en Francia en venta de partes y servicios por varios millones de dólares. Un mal manejo de aquellos instalando, implementando y guiando al cliente a un uso y mantenimiento exitosos desencadenaría una desconfianza en el equipo que impactaría la venta. Así mismo un comentario erróneo o mal establecido por un análisis o diagnóstico superficial y mal definido, podrá también causar el rápido deterioro de la fiabilidad de las acciones conjuntas que permiten llevar dicho proyecto a buen término. A continuación describiré las actividades en esa posición.

9.2 RECEPCION DE EQUIPOS

La recepción de equipo nuevo marca el primer paso en sitio con el cliente para la implementación de una solución de corte. Es por eso que se considera crítico que se encuentre personal de ambas partes, cliente y *Lectra* supervisando el manejo adecuado de los elementos así como su ubicación correcta de acuerdo al plan analizado previamente. Una ubicación incorrecta al recibir los equipos puede resultar en pérdida de tiempo al tener que desplazar unidades posteriormente con falta de espacio o sin las tarimas de protección que permiten hacerlo con seguridad.



Fig 9.1 Resonador *Rofin-Sinar* al ser retirado de su contenedor

Estas actividades están descritas en los manuales técnicos como en las figuras 9.1 y 9.2 y deben de ser



aplicadas de acuerdo al criterio del ingeniero recibéndolo, es decir que si se debe inclinar o jalar un contenedor y no hay detalles al respecto en la documentación, este deberá considerar los centros de gravedad, puntos de apoyo y otros elementos para tomar la decisión adecuada. De la misma manera el manejo de la maquinaria que se recibe es crítico desde el aspecto de la seguridad de quienes se encuentran haciéndolo. Hay que considerar que deben bajarse contenedores en ocasiones con varias toneladas de peso usando grúas y que el hecho del no tomar en cuenta los puntos de apoyo adecuados puede ser un factor de riesgo.



Peso máximo de todos los componentes del equipo

Cortadora FocusAirbag-XHP	3.300 Kg (7.275 lb)
Panel de control	85 Kg (187 lb)
Resonador láser DC030.....	550 Kg (1.213 lb)
Armario de control láser.....	570 Kg (1.260 lb)
Grupo de enfriamiento SVK360/1 - DC030.....	485 Kg (1.070 lb)
Cinta transportadora de descarga.....	400 Kg (882 lb)
Campana de ventilación 15.000 m ³ /h	400 Kg (882 lb)

Fig. 9.2 Descarga de parte de un equipo de corte con montacargas y descripción de peso

Durante la recepción e los equipos se debe también considerar la instalación de los servicios necesarios, es decir, tomar en cuenta que se tendrá que posicionar la maquinaria de acuerdo a la disponibilidad de tomas de energía eléctrica, agua y aire. Si los trabajos de puesta en sitio de esas estructuras no se han terminado aun, deberá decidirse no colocar la maquinaria cerca de plantas de soldar o donde haya montacargas circulando con carga hasta que se tenga todo listo.



9.3 INSTALACION DE CORTADORAS FOCUS

Como actividad posterior a la recepción está la instalación de los elementos. Una vez que se han colocado en sitio se debe de considerar la alineación precisa donde quedaran definitivamente. La revisión de las tomas eléctricas, cajas de distribución, condiciones del aire, la calidad del agua, etc., son obligatorias antes de comenzar a realizar conexiones. Todas las condiciones deben de ser observadas antes de proceder con la distribución de mangueras, cables y cubiertas. A continuación en la figura 9.3, se muestra una tabla de los requerimientos para una maquina Laser *Focus 10* con fuente *Rofin* de 1500 watts

Supplies	Electric	Main supply of the equipment3-phase - 400 V - 50 / 60 Hz3 Ph + G / 60 kVA maxi
		Backed-up supply of the Control part (optional)Monophase - 230 V - 50 / 60 HzPh + N + G / 1.5 kVA
Refer to the Installation chapter before connecting to the network		
	Pneumatic	Nominal pressure.....7 bars Minimum pressure.....6 bars Maximum flow.....12 m3 / hour
Environment	Temperature	10 to 40 °C
	Hygrometry	30 to 80 % without condensation

Fig 9.3 Características en manual sobre alimentaciones de una unidad Laser

Posterior a la ubicación de la máquina de corte hay diferentes etapas en la implementación que serán descritas en los apartados posteriores

9.3.1 Distribución de cableado

Labor consistente en revisar las conexiones en las cajas de distribución y aplicar las correcciones necesarias. Debido a que la máquina de corte laser está compuesta de diferentes elementos interconectados entre si y compartiendo señales, las seguridades, sensores y alimentaciones deben de ser checadas y confirmar su funcionamiento adecuado.

Voltajes deben de ser revisados en cada elemento para asegurarse que está dentro de los rangos especificado para cada elemento complementario.

Los subsistemas involucrados en este paso se encuentran interconectados por tuberías con diferentes cables, mangueras de agua y aire. Todos ellos deben de ser organizados y colocados de una manera



apegada a la documentación específica. Pueden colocarse canaletas o tuberías especiales para cumplir con las normas de seguridad del sitio donde se está instalando el equipo como puede verse en las fotografías de la figura 9.4. Es importante considerar esto ya que existen limitantes después de la ubicación de los cableados. Si se comete una omisión o error en la distribución, extraer cables y mangueras para corregir el problema puede ser laborioso y sobre todo tomar mucho tiempo adicional no contemplado en el proyecto inicial.

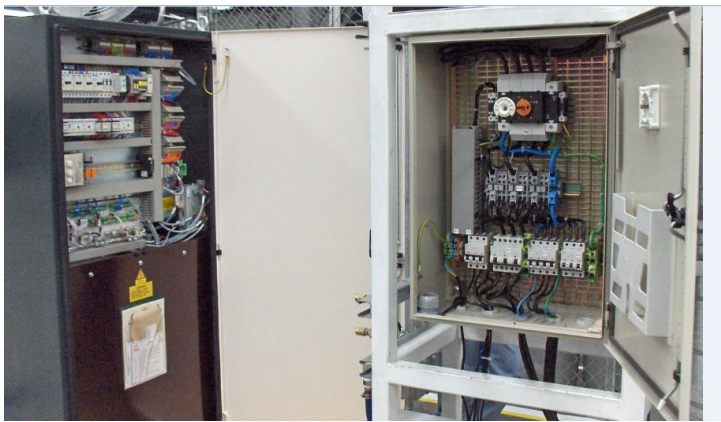


Fig. 9.4 Cajas de distribución de maquina *Focus* y *Laser*

9.3.2 Conductos de aire y agua de enfriamiento

Para la conexión de las mangueras y filtros de los sistemas de enfriamiento, deberá considerarse los diámetros de las tuberías de acuerdo al caudal que los manuales de instalación estipulan. De la misma manera, la inspección de los filtros y su correcta colocación es importante debido a que fugas en los sellos pueden ser en un principio imperceptibles y después manifestarse con daños en las conexiones de metal o mangueras. En los equipos de enfriamiento o *chiller* como se les conoce en el medio, también hay conexiones eléctricas y se seguridad que hay que observar. En el caso de fallas en estos equipos con los sistemas de refrigeración donde puede requerirse que se revise la presión del gas o los controles de encendido y apagado de los ventiladores, se recomienda por el fabricante contactar directamente al soporte local suministrado por ellos con la finalidad de evitar perder derechos de servicio o reemplazo de partes bajo garantía.

En resumen los puntos importantes a considerar son :

- a) Dirección correcta del flujo



- b) El gabinete electrónico del laser y el sistema del resonador deben de ser conectados en paralelo al sistema de enfriamiento
- c) Las mangueras no deben de exceder 20 metros
- d) Solo deben de usarse tuberías y mangueras oscuras
- e) Conexiones y coples deben de ser solo de acero inoxidable o cobre
- f) Sentido de los ventiladores en el *Chiller* debe de ser verificado
- g) La temperatura final a la que se establezca el enfriador debe de ser obligatoriamente verificada con un termómetro infrarrojo en diferentes puntos de prueba.

Por otra parte, el agua utilizada para el sistema de enfriamiento del Laser (figura 9.5) deberá de ser tratada con diferentes químicos para evitar la formación de algas y la proliferación de bacterias. El primer químico que se debe de agregar es un anticorrosivo en las proporciones designadas por la documentación del Laser. El segundo es un químico inhibidor de bacterias y algas que será también agregado en mucho menos proporción al anterior y respetando siempre lo descrito en el manual de los equipos. Ambos químicos deben de ser manejados con extrema precaución y protección adecuadas.



Fig. 9.5 Conexiones en sistema de enfriamiento *Koolant Coolers*

9.3.3 Ubicación de tuberías de desfogue de gases

El corte con rayo laser genera diferentes componentes químicos al ser mezclado el rayo con los materiales que se están procesando en el corte. Los químicos o humos resultantes dependerán de la



combinación del gas que se esté utilizando en el resonador con la química de la tela o material a cortar. Independientemente de los gases resultantes y debido a que la cabina de corte es completamente cerrada, por cuestiones de seguridad clase 3 del laser, estos deben de ser extraídos de la maquina hacia el exterior de la planta. Como un ejemplo puede verse la figura 9.6.



Fig. 9.6 Tubería de extracción de gases producto del corte

Es un punto de especial importancia el volumen de gas extraído y lo los componentes químicos que acarrea. El primer tema de seguridad está relacionado a la cantidad de humo dentro de la cabina durante el corte, este volumen es crítico, ya que si la extracción no es adecuada o es pobre, la acumulación de gases puede provocar un incendio súbito dentro de la cabina difícil de apagar. El segundo tema está relacionado a la composición de esos gases, ya que si no se tienen precauciones y las tapas son abiertas durante un incendio, el personal involucrado se verá expuesto a tóxicos que pueden causar daños en su sistema respiratorio. Dentro de las especificaciones de materiales permitidos para ser cortados con el gas que provee *Rofin* se hace principal hincapié en cuales no deberán ser cortados bajo ninguna circunstancia debido a los residuos altamente venenosos que pueden generarse.

Las características de la tubería y el material con el que debe de estar fabricado son también definidos de manera específica en la documentación de la cortadora. El sistema de extracción deberá de ser revisado y puesto preferentemente fuera de la planta donde se colocaran los filtros necesarios y tuberías de desfogue asociadas. El diámetro, fijación de la tubería y caudal de aire que es posible extraer son revisados y validados antes de hacer cualquier prueba de corte. La fuerza y volumen de aire extraído puede ser medida con un lienzo de material que se extenderá sobre la cama de corte. La



fijación de este lienzo sobre los *slats* metálicos de corte indicara el volumen y consistencia del vacío.

9.3.4 Nivelación de elementos con unidad laser

En este paso importante resaltar que se debe considerar la alineación del telescopio saliendo del resonador laser con respecto a los tres planos como en las fotografías en la figura 9.7. La base del resonador debe de estar perfectamente horizontal y a una distancia adecuada de la máquina de corte, de tal manera que el haz entre perfectamente alineado al primer espejo ya en la cortadora y este a su vez lo refleje en un ángulo preciso al siguiente espejo. Telescopio, Laser y cortadora tienen puntos de ajuste para lograr esta condición.

Switches de seguridad en el telescopio aseguran que si este es movido o retirado la emisión laser será interrumpida. Parte de la inspección de seguridad en este paso incluye la verificación del funcionamiento de esta seguridad de manera adecuada y oportuna.

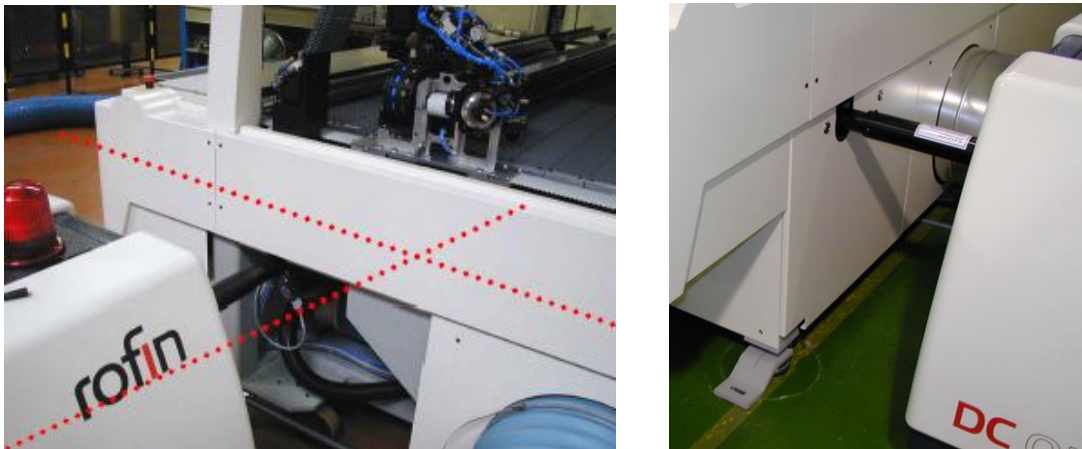


Fig. 9.7 Telescopio hacia la cortadora desde el resonador laser

9.3.5 Conexiones y voltajes

En este punto se debe confirmar que los circuitos asociados a la seguridad de las tapas y el encendido de la maquina funcionan adecuadamente. Se debe de probar que al abrir las tapas la alimentación es cortada así como al retirar algún espejo o telescopio. Una vez confirmado que estos circuitos funcionan se puede proceder a pruebas y ajustes adicionales que implican encender y mover la maquina.

En la imagen 9.8 puede observarse el gabinete electrónico que resguarda el cableado y los elementos



de control de la cortadora. En él están las conexiones y control de los circuitos de seguridad que provienen del laser y de las mesas de alimentación o *conveyors*. Allí también pueden encontrarse los variadores que alimentan los motores X y del *conveyor* o cama de corte.



Fig. 9.8 Foto de cableado de encendido y seguridades de maquina laser *Focus 15*

Como medida adicional también se recomienda y forma parte de las acciones del ingeniero de campo a cargo de la instalación, el confirmar que no hay conexiones en mala posición o arneses con cables demasiado tensos o doblados. Es primordial que se dedique el tiempo necesario para inspeccionar el cableado entre elementos o por donde se han colocado mangueras, arneses y tuberías. Una colocación errónea durante la instalación de los diferentes cables y sus componentes puede ser el origen de problemas futuros. Cables rozando partes móviles, cerca de tapas que se abren frecuentemente o conexiones expuestas a tuberías que sabemos generarán condensación, deben de ser razonablemente y bajo criterio reubicados a discreción. Todas las variables deben de considerarse de manera minuciosa y apegada a los manuales de instalación. Cables de comunicación con señales de retroalimentación de control o con oro tipo de señales no deberá de pasar cerca de transformadores de alta tensión o junto a cables alimentando motores ni tuberías de agua.

9.3.6 Conveyor de corte y mesa de alimentación

En este paso deben de hacerse las calibraciones de sincronización de la cortadora con su mesa de alimentación de material. Se prueba y calibra de tal forma que la tela sea alimentada de una manera estable y sincronizada con el corte. En algunas aplicaciones se utilizan mesas automáticas con sistemas de extendido de tela en las que el avance del tendido se inicia automáticamente una vez que la maquina tendedora ha terminado, de tal manera que durante el proceso de corte se tenga



alimentación continua de material sin necesidad de hacer paros para la carga. En esos sistemas deben de hacerse pruebas de detección del material y del avance sincronizado. Esta revisión conlleva varios ajustes con los sensores ópticos del material y de la sincronización de los movimientos así como de la secuencia. Las máquinas de corte de Lectra en su totalidad poseen un control que permite cortar mientras se avanza el material llamado "Eclipse". Esta funcionalidad se prueba una vez que se ha comprobado que el *conveyor* está sincronizado y que la secuencia de inicio de avance y alimentación de las mesas de tendido se lleva a cabo con estabilidad. En el caso que durante la instalación y prueba del alimentador se encuentre algún problema o mal funcionamiento, será necesario entonces recurrir a la documentación de la programación del variador en cuestión y revisar los parámetros relacionados. Si se trata de algún efecto en el inicio o al final del avance, si es una diferencia de velocidades entre ambas bandas o un movimiento descontrolado, deberán de revisarse rampas de arranque, frenado y valores de ganancia en el control de sincronización para lograr un avance consistente y estable.

Para los sistemas de alimentación de una sola capa de tela se tiene una mesa de transferencia que permite extender el material y alinearlos adecuadamente antes de entrar al proceso de corte, como se ve en la imagen 9.9.



Fig. 9.9 Sistema de alimentación de una capa con escáner.

En algunas aplicaciones se usa un escáner que se encarga de retroalimentar al programa de control para que se hagan las correcciones necesarias en el ingreso a la cabina de corte. Para todos los casos la sincronización de las mesas se debe de confirmar así como la secuencia de las acciones que se están efectuando, carga, desenvolvimiento, avance, paro, espera, etc. Todo deberá desenvolverse en el orden esperado y tener los resultados correctos al interrumpir alguno de estos procesos con una seguridad o con un ajuste solicitado por el usuario al pararlo con los botones manuales de carga,



descarga y avance. En caso de alguna irregularidad se debe hacer un seguimiento ya sea del cableado o de los parámetros de control.

9.3.7 Alineación y tensiones de bandas motrices

Para realizar el ajuste de la perpendicularidad de la viga, esta es llevada a un extremo del área de corte donde hay dos orificios en la estructura principal de la cortadora. Utilizando unos postes de metal de aproximadamente 15 cm de largo y 1 cm de espesor que son insertados en los orificios, se puede determinar si la viga está alineada. El hecho de que uno de los dos postes usados de herramienta no cruce ambos orificios, uno arriba en la viga y otro más abajo en la estructura de la maquina, mostrara que existe una diferencia en la posición de la viga respecto a la cama de corte. Para este caso, el ingeniero a cargo debe de determinar de acuerdo a su criterio, en qué dirección y cuanto hay que ajustar para alcanzar la linealidad y si la elasticidad del puente que transporta la boquilla es la adecuada. Si se debe proceder a realinear la viga, esta debe de ser desacoplada de sus bandas de tracción y mecánicamente ajustada utilizando tornillos destinados para ese efecto. Una vez alineada, se procede a la inspección de las tensiones de las bandas motrices de ambos ejes.

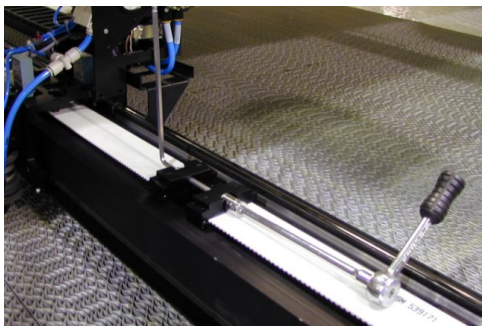


Fig. 9.10 Ajuste de tensión de banda Y

Para la etapa del ajuste de la tensión de las bandas motrices, debe confirmarse que está se encuentre dentro de las especificaciones a través del uso de una herramienta que medirá la frecuencia a la que la banda vibrara en una distancia dada (figuras 9.10 y 9.11). Al aumentar la tensión en la polea de ajuste la frecuencia subirá, dando un efecto de menos elasticidad en los movimientos de la boquilla de corte. Los valores predeterminados que se deben de utilizar están descritos en los manuales de ajuste de cada una de las maquinas y asociados a los ejes en cuestión. Es decisión del ingeniero a cargo determinar que la prueba ha sido concluida adecuadamente o si se debe proceder a cambiar la tensión de las bandas motrices que en el caso de este apartado implica manipular ajustes hechos en la fábrica donde se armó la cortadora.

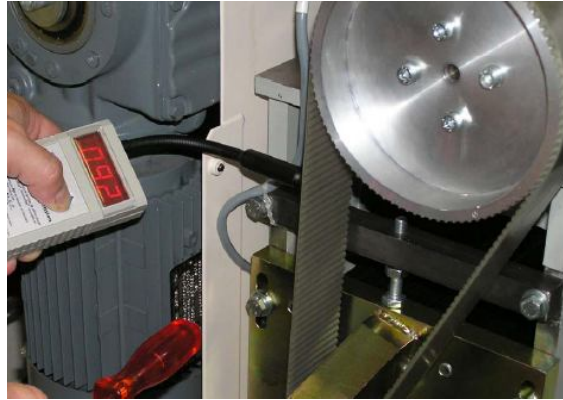
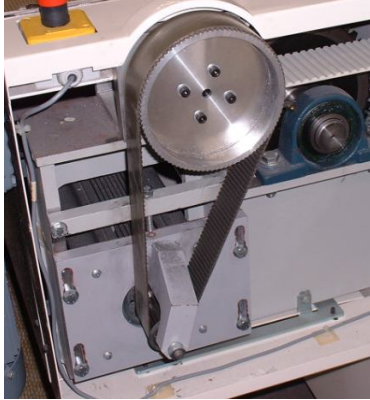


Fig. 9.11 Ajuste de tensión de banda X

9.3.8 Revisión, programación y prueba de variadores

Dadas las velocidades que pueden desarrollarse en estas maquinas en los ejes X-Y, en las que no se tiene un contacto con el material y por consiguiente ningún esfuerzo mecánico involucrado durante proceso del corte asociado a la altura o composición del elemento a cortar, los parámetros cargados en los variadores en la fabrica deben de ser puestos a prueba. Existen diferentes pruebas que pueden realizarse para someter a esfuerzos diversos los ejes a través de movimientos repetitivos a diferentes velocidades y aceleraciones. Ejemplos de unos variadores en una Focus 15 pueden verse en la siguiente imagen 9.12.



Fig. 9.12 Variadores de Y, X y del *conveyor* de una cortadora Laser *Focus 15*

Estas herramientas se encuentran en un programa cargado dentro de la cortadora en su tarjeta madre y pueden ser ejecutados antes de hacer pruebas con el software. Cualquier error que se detecte



durante estos asistentes de esfuerzo se deberá de corregir revisando los componentes mecánicos involucrados en la alerta. Dado que se han realizado hasta este punto todas las revisiones de alineación y tensiones, se puede proceder a revisar parámetros en los variadores de control de los ejes de acuerdo al mensaje obtenido en las pruebas. Para todos los variadores se tienen boletines con los valores de fábrica que deben usarse para las verificaciones mencionadas. Valores deberán de ser confirmados y reingresados de ser necesario en los variadores de cada eje siguiendo los procedimientos de acceso y salvaguarda. Este proceso debe repetirse hasta que no haya más errores.

9.3.9 Sistemas de enfriamiento de espejos

Antes de hacer cualquier prueba con el laser en los espejos, es imperativo revisar las cortinas de humo en los diferentes espejos y boquilla en el camino del haz. Este aire debe de estar perfectamente filtrado y libre de cualquier tipo de humedad. Es claro que si cualquier partícula o gota de agua es expulsada hacia cualquiera de los espejos, sobrevendrá una reacción en cadena durante el tránsito de un haz de partencia, destruyendo por completo el espejo.

Para tener un aire de alta calidad disponible en la máquina de corte, esta cuenta con un sistema interno de filtrado y desecación de aire que debe ser revisado periódicamente y ajustado de ser necesario. Este sistema cuenta con un filtro que deberá de ser cambiado cada 100° horas de corte de la maquina.

En algunas maquinas de alta potencia de corte los espejos son enfriados con agua, pero la cortina de aire sigue siendo la misma. Para estos casos la temperatura de esa agua de enfriamiento es crítica puesto que se debe de mantener una temperatura por debajo del punto de condensación del agua. De la misma manera que al usar aire contaminado se genera un quemado y destrucción en los espejos, la producción de condensación por un ajuste incorrecto de la temperatura tendrá las mismas consecuencias.

9.3.10 Interface de comunicación con el Laser

En el gabinete de control de la unidad laser se encuentra un circuito de interface que se utiliza para recibir las señales de instrucción de disparo y potencia provenientes del control electrónico de la máquina de corte. Este circuito debe de ser revisado y en su caso ajustado de acuerdo a los niveles de voltaje o corriente que maneje la señalización de la cortadora. En algunos modelos el control de potencia emitida se hace a través de niveles de corriente y en otras de voltaje. Es en esos casos cuando una referencia en volts, generalmente de 0V a 10V es ajustada para ser detectada sin



problemas y de una manera lineal. Lo mismo aplica cuando se trata de una señal de corriente, se coloca un multimetro en serie y se hacen los ajustes necesarios de las referencias en las tarjetas de interface. En la figura siguiente 9.13 se muestran las conexiones a la tarjeta de interface con las líneas de comunicación y de control de potencia. En algunas aplicaciones las conexiones cambian de acuerdo a la cortadora que se esté instalado, por lo que habrá que considerar la información en la documentación para realizar el cableado adecuado de acuerdo a la aplicación.



Fig. 9.13 Control de potencia e interface de comunicación entre laser y cortadora

9.3.11 Alineación final del haz laser usando un apuntador *HeNe*

Para hacer la alineación del haz de potencia primero debe de hacerse una revisión del camino que seguirá utilizando como herramienta un apuntador laser de luz visible rojo, el cual seguirá la misma trayectoria y podrá utilizarse para ajustar los espejos siguiendo los procedimientos de centrado establecidos.

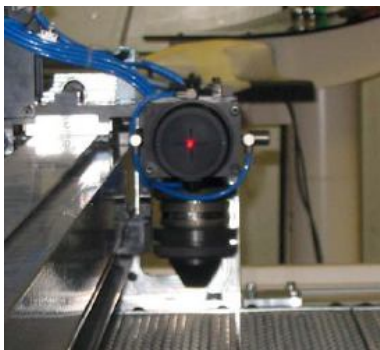


Fig. 9.14 Objetivo para el centrado del haz de potencia usando un laser apuntador rojo



En la imagen anterior 9.14 podemos observar como el apuntador se encuentra al centro de un objetivo con marcas usado para centrar la luz roja. En este ajuste los espejos de todo el camino deben de ser alineados uno por uno a la entrada de cada telescopio hasta que el más lejano queda centrado consistentemente.

9.3.12 Revisión de la computadora y del software

Como parte del arranque de la máquina de corte y antes de que se haga cualquier inicio de pruebas en la unidad laser, debe de confirmarse que la computadora encienda adecuadamente y que las aplicaciones encargadas del control del corte abran sin complicaciones. Se revisa la comunicación entre el ordenador y la tarjeta principal de la máquina de corte utilizando una interface que gestiona el tránsito de la información con protocolo RS232 o serial. Una vez que se ha confirmado y probado este proceso de una correcta comunicación y control, se puede proseguir con el resto de las pruebas ya involucrando la unidad de emisión Laser. A continuación en la figura 9.15 puede verse un gabinete laser de interface:



Fig. 9.15 Computadora con Focus Pilot y gabinete de control del Laser Rofin

9.4 INSTALACION DE EQUIPOS LASER "Rofin Sinar"

A partir de este punto comienza la labor asociada a personal certificado por *Rofin-Sinar*. Normalmente la instalación e implementación de una maquina de corte laser está dividida en dos fases hechas por personas diferentes, una especializada en la máquina de corte y otra certificada y especializada en la unidad Laser. En el primer caso se requieren conocimientos en las labores descritas en el apartado anterior en donde los elementos mecánicos de los elementos X-Y deben de ser revisados así como sistemas de extracción de humos, sincronización de mesas de alimentación, etc. Todo lo anterior siguiendo la documentación y los procedimientos asociados a cada subsistema, teniendo como fin



principal el lograr que la máquina encienda con sus elementos activos. El resto de la implementación es completada por el especialista en Laser quien arranca la unidad *Rofin* y la integra con la cortadora como antesala a la parte final donde se comienzan a realizar cortes con producción del cliente.

Generalmente después de ciertos años de experiencia en la instalación de la cortadora y al hacer la certificación en laser, la misma persona haciendo la parte de la implementación de la maquinaria de corte *Focus*, puede desempeñar ambas labores hasta incluso la capacitación final del cliente.

A continuación enlistaré las actividades realizadas por varios años durante la instalación del láseres siguiendo estrictos procedimientos de mediciones de corrientes, voltajes y formas de onda en el osciloscopio, datos que debían ser asentados en un reporte escrito y entregado a *Rofin* con la firma del especialista que había realizado la instalación junto con el cliente a cargo de recibir la maquinaria funcionando. Todas esas acciones y revisiones o seguimiento del "*check list*" de la maquinaria Laser siendo instalada es revisada regularmente por actualizaciones o cambios asociados a nuevos controles electrónicos o elementos de tecnología evolucionada o mejorada.

9.4.1 Alimentación y cableado de elementos de la unidad Laser

La alimentación eléctrica del gabinete de control laser consiste en tres fases de 400 Volts (imagen 9.16) que a su vez energizan un transformador de alta tensión elevador a 13 000 volts. El control posee también un sistema de monitoreo de la secuencia de las fases, interrumpiendo el encendido inicial si el orden de las fases no es el adecuado. Un pequeño transformador reductor de 3 KVA es utilizado para el resto de las alimentaciones para los relevadores y la electrónica de control.

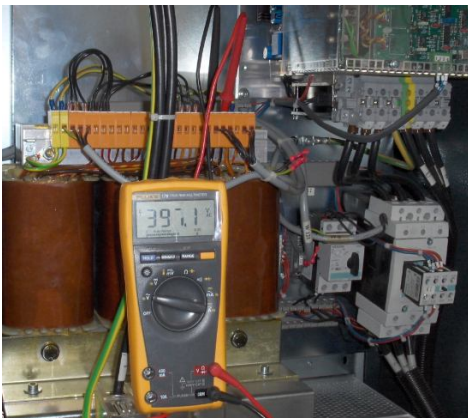


Fig. 9.16 Confirmación del voltaje de alimentación del gabinete de control *Rofin*

Desde el gabinete de control se cablea la salida de alto voltaje hacia el resonador la cual alimentara el



tríodo encargado de la excitación a la cavidad resonadora utilizando un voltaje de hasta 13 000 volts y corrientes de hasta 120 A. Es crítico en esta fase repasar varias veces los listados de procedimientos para asegurarse que no hay ningún riesgo presente o futuro durante la puesta en marcha y funcionamiento, ya que un accidente puede ser de consecuencias fatales. Sensores de seguridad que detectan la presión negativa en el recinto del tríodo deben ser probados para asegurar su funcionamiento adecuado.

Dentro del resonador un subsistema de enfriamiento de agua se encarga de mantener el tríodo y su base a una temperatura adecuada en emisión a plena potencia. El agua en este circuito debe de contar con las condiciones necesarias de conductividad por lo que durante la instalación deberá de medirse esta característica en el agua previamente tratada y no sobrepasar los 6 micro Siemens / cm. El agua en este circuito es enfriada a través de un intercambiador de calor en espiral acoplado a la línea principal proveniente del gabinete de control.

9.4.2 Medición de conductividad del agua de enfriamiento del tríodo

Usando como herramienta un medidor de conductividad se toman varias muestras y se comprueba que la conductividad del agua no rebase como se mencionó los 6 micro siemens/ cm. Esta agua no debe de contener aditivos, el valor mencionado se obtiene con otros procesos de destilación. Si se encuentra que el valor está por encima de los límites, se deberá de indicar al personal de mantenimiento de la planta para que se apliquen las correcciones con su proveedor. El valor final de conductividad debe de ser asentado en el reporte para *Rofin* y más tarde firmado por el encargado.



Fig. 9.17 Deposito contenedor de agua de enfriamiento del tríodo



La temperatura del depósito de agua (figura 9.17) que enfría el tríodo depende directamente de aquella que circula por el gabinete del resonador. El agua mencionada en este punto se mantiene confinada en este circuito para evitar cualquier tipo de contaminación y su enfriamiento a través de este circuito se hace utilizando de un intercambiador consistente en una espiral sobre la tubería principal que transporta el agua de enfriamiento del transformador.

9.4.3 Corriente de filamento

Como parte de los procedimientos de puesta en marcha del laser, se debe de registrar el valor previo y el valor ajustado de la corriente utilizada para excitar el filamento del tríodo. Este elemento encargado de calentar el cátodo posee una función importante en el proceso de amplificación en el tríodo, por lo que su verificación corresponde al primer paso a hacer inmediatamente después de encender la electrónica del Laser. Para tal efecto se utiliza un amperímetro de gancho en el rango de lectura de los cientos de amperes de corriente de directa. La corriente será ajustada bajo las condiciones de polarización o excitación del tríodo (*simmer mode*) y con el alto voltaje desactivado. Si alguna corrección tiene que ser hecha a esa corriente, esta se hará moviendo un potenciómetro de ajuste que se encuentra en la tarjeta de control de dicha alimentación. Este nivel se establecerá de manera gradual hasta que el valor especificado en los procedimientos se ha alcanzado. La corriente debe de medirse varias veces y comprobar que es estable con un amperímetro de gancho TRMS en el caso de sistemas con filamentos excitados con AC. Una tolerancia de ± 0.2 A como limite debe de ser observada.

En la figura mostrada más abajo 9.18 pude observarse el amperímetro de gancho colocado en la línea de alimentación de polaridad negativa del filamento, lo que permite realizar la prueba sin riesgo de ninguna descarga siempre y cuando el circuito no sea abierto en ese punto.



Fig. 9.18 Ajuste de corriente de filamento a 178 A



9.4.4 Corriente de rejilla

El ajuste de la corriente de rejilla se hace utilizando un osciloscopio conectado en una salida coaxial que para ese efecto se tiene en la electrónica de control. El laser se lleva al *simmer mode* y el alto voltaje, o voltaje de ánodo es encendido. Una emisión de 30% de potencia se hace y la señal es registrada en el osciloscopio para ser medida y ajustada a los valores definidos por los procedimientos. El valor será medido como amplitud de onda y se deberá de calibrar desplazando una barra de ajuste en la cavidad del triodo hasta que un valor de 2.3 A es alcanzado. En el osciloscopio se podrá observar la forma de onda de excitación de la rejilla y el porcentaje de potencia como un tren de pulsos modulado PWM (*Pulse Width Modulation*) mostrado en la imagen 9.19.

Para este ajuste se indica que el cable coaxial utilizado debe de medir menos de un metro y debe de estar aterrizado o blindado adecuadamente. Durante el proceso de ajuste debe de observarse el nivel del alto voltaje (voltaje de ánodo) de tal manera que si este nivel estipulado en Kvolts no se encuentra dentro de la tolerancia (0.1 kV) los taps de ajuste del transformados elevador deben de ser reconectados para poder obtener los valores adecuados.

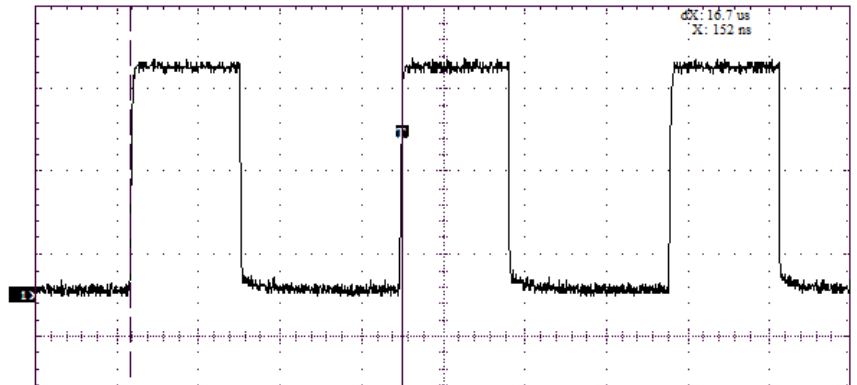
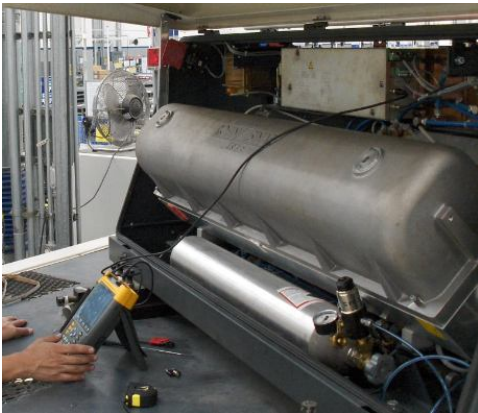


Fig. 9.19 Ajuste de corriente de rejilla a través de un osciloscopio y forma de onda

9.4.5 Voltaje de ánodo (alto voltaje)

Si durante el ajuste de la corriente de rejilla se encuentra que el alto voltaje no es el adecuado, este debe de ser ajustado moviendo los *taps* del transformador del alto voltaje (figura 9.20). En estos *taps* se tienen incrementos o decrementos de 10% del valor de salida. Para realizar este cambio se debe descargar el sistema de alto voltaje utilizando una barra que deberá estar aterrizada y se dejara en un punto diseñado para eso en el que se tiene un tornillo de fijación. La barra se quedará en ese punto



como protección mientras los *taps* son ajustados. La labor de aterrizaje con la barra de seguridad se debe de efectuar con las protecciones adecuadas, especialmente guantes aisladores con los valores dieléctricos acordes a los valores de voltajes que se manejan en esa terminal.

Ajustes adicionales o corroboración del nivel de alto voltaje pueden hacerse con una punta de alto voltaje. Para este efecto se retirará la barra de aterrizaje y se colocara la punta de medición. Las medidas de seguridad deberán de ser aun mayores, de tal manera que se mantenga una distancia segura, guantes de aislamiento en buen estado, señales de seguridad alrededor del gabinete y especialmente una persona ayudando a mantener un doble chequeo de todos los puntos mencionados.

Para todas estas actividades existen listados de confirmación de procedimientos que deben de ser verificados uno a uno antes de cualquier acción. Como parte de la capacitación que implica la certificación, se hace especial atención en el hábito de seguir consistentemente los listados de operaciones en el orden indicado y confirmando que no se efectuara ninguna acción sin haber completado satisfactoriamente las anteriores. Se hace de especial atención que el no seguir estrictamente estas indicaciones puede ser causa de accidentes graves donde la integridad de la vista se ve comprometida en los casos donde se maneja haz de potencia invisible, y de incluso hasta la vida de quien lo realiza o los que lo rodean cuando de voltajes peligrosos se trata.

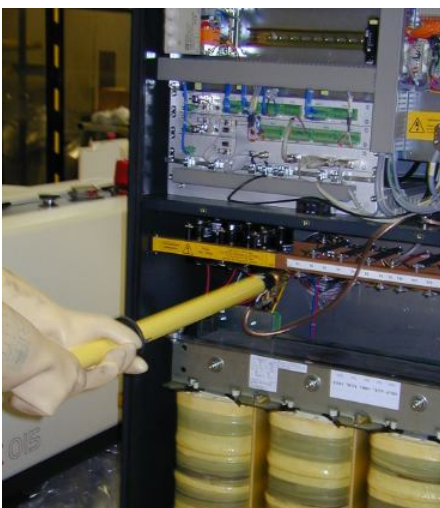


Fig. 9.20 Aterrizaje de protección del circuito de alto voltaje y transformador y taps

Los valores previos y posteriores al ajuste, como mencioné anteriormente, deberán de ser asentados con los detalles del cambio en el reporte de compilación que acompaña el *check list* de la instalación



del laser de manera gradual hasta el final, cuando se firma por ambas partes para enviar a *Rofin*.

9.4.6 Óptica interna del Laser

Dentro del resonador donde la óptica interna del laser se encuentra, debe de realizarse una revisión de los espejos que llevan el haz de potencia fuera de la unidad. Pruebas de quemado (figura 9.21), linealidad y chequeo de integridad de los sistemas de enfriamiento en los espejos y en la cavidad deben de ser ampliamente revisados. Es de principal importancia que se detecte cualquier fuga de agua y que los sensores involucrados en la detección del flujo, nivel de temperatura y potencia del laser estén funcionando de manera optima.

Una vez que se ha probado que la fase electrónica del laser funciona adecuadamente y se obtienen los valores estipulados en el *check list* la calidad del haz debe de ser verificada y corregida utilizando papel térmico y objetivos que permiten central y monitorear la forma del haz. Dependiendo de la forma del quemado del papel térmico, el ángulo de incidencia del laser sobre los espejos debe de ser ajustado y re-direccionado de acuerdo a los resultados.

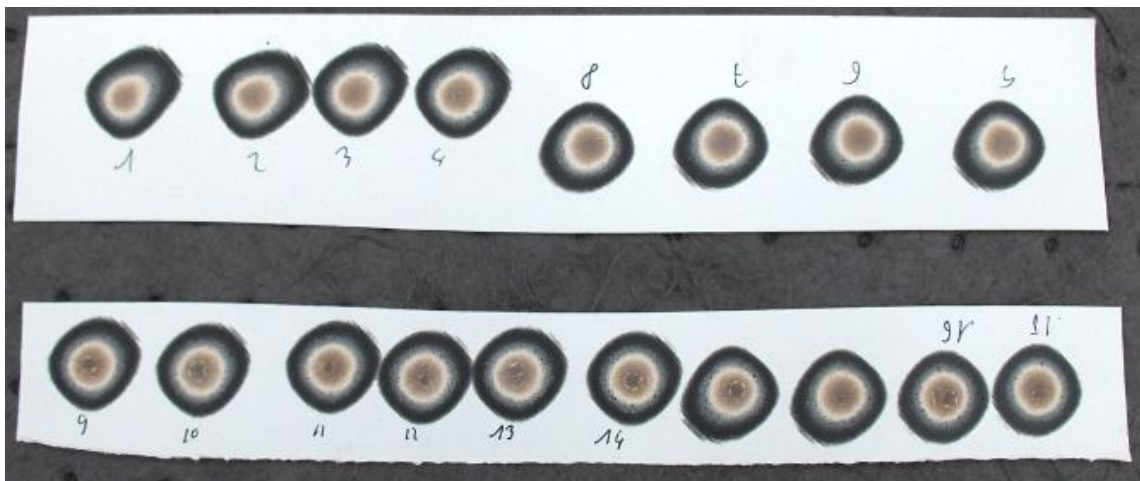


Fig. 9.21 Diferentes pruebas de quemado en la óptica interna del Laser sobre papel térmico.

9.4.7 Ajuste de ganancia en *spatial filter*

Para que el haz de potencia obtenga una coherencia y una forma adecuadas que permitan un corte de calidad y un enfoque adecuado, se tienen dispuestos diferentes tipos de espejos que van dando forma al perfil del rayo laser. El tránsito de este haz por espejos con superficies de diferentes formas va moldeando de acuerdo a las necesidades la curva de potencia que se forma al frente del rayo.



Diferentes espejos con formas cóncavas (elíptica, parabólica y cilíndrica) terminan por definir un frente que asemeja una campana, en donde el centro es el que transfiere mayor potencia.

En una última etapa de filtrado del haz, este se hace converger usando un espejo parabólico en un cierto punto para después invertirlo y direccionarlo hacia el exterior del resonador. En el punto en que se produce el enfoque y se invierte, se tiene un par de placas reflejantes que se encargan de retirar destellos indeseados que acompañan al laser. La distancia entre estas placas a las cuales se les denomina *Spatial filter* (figura 9.22) es crítica y muy pequeña (0.8 mm) y calibrada a través de la medición y detección del punto de mayor potencia del haz.

El voltaje con el cual se partirá para este ajuste es de 10V a 12V de corriente directa. Los pulsos del Laser con los que se realizará esta revisión serán de 30 ms en donde se observará que el quemado este centrado y con forma circular y uniforme como se muestra en la figura 9.19.



Fig. 9.22 Caja Z en un resonador Laser y *spacial filter* en medio del telescopio interno

El nivel mencionado de VDC observado con el multímetro en conjunto con la potencia registrada por el medidor de calor colocado sobre el obturador, determinará el punto en el que al variar la separación de las placas el voltaje cambia de creciente a decreciente, indicando un máximo de potencia confirmado en la lectura asociada en el gabinete. Es allí donde se fija el tornillo de ajuste y se anota el voltaje asociado.

9.4.8 Ajuste de corriente de *Shutter*

Un ajuste importante antes de iniciar las pruebas de laser con quemados es el control del obturador o *shutter*. Este elemento es de vital importancia ya que es el encargado de abrir y permitir el paso del haz de potencia en el momento de la emisión o permanecer cerrado mientras no haya señal. Durante el proceso de corte el obturador permanecerá abierto y solo en largas pausas o cuando alguna



seguridad es activada se cerrará. Siempre que se esté trabajando con el haz de potencia no visible fuera de la fuente de emisión laser, se deberá de confirmar que el obturador permanece cerrado y que la llave de seguridad de su apertura se encuentra en la posición de "lock". Esta llave la porta quien hace la intervención sobre la unidad junto con la que abre el botón de activación del alto voltaje. En ambos casos la finalidad de que se mantenga bajo llave es el evitar que accidentalmente se active alguno de los dos durante el trabajo de alineación o calibración. En este punto la confirmación de que la velocidad y consistencia de la apertura-cierre del obturador se lleva a cabo de manera adecuada se verifica por la corriente de enclavamiento. Esta corriente es la que controla la posición del obturador cuando está abierto o cuando se le mantiene cerrado. Debido a que la oscilación entre apertura-cierre debe de ser en ocasiones alta en algunas aplicaciones, se debe de confirmar que el rango de operación de esta corriente de control se encuentra en un valor intermedio de reacción especificado en la documentación de la unidad en cuestión. En general esta corriente se ajusta con un multimetro TRMS en un rango de 250 mA de AC con una tolerancia de +/- 5 mA @ 50Hz.

En la imagen 9.23 más abajo puede observarse el espejo que desvía el haz y la unidad de disipación del laser con un disipador de calor enfriado por agua que circula en espiral, unidad dispuesta de manera vertical y a 90 grados respecto al telescopio de salida interno. Más allá del espejo de 45 grados del *shutter* se encuentra la compuerta de salida de seguridad que alberga a la unidad de emisión de baja potencia *HeNe* de color rojo utilizado para alinear y que además es concéntrico al de potencia. Especial atención se debe prestar en la apertura del *shutter* durante los procesos de prueba mientras se tiene activo el *HeNe* de alineación, ya que esta acción accidental causara el daño irreparable del apuntador auxiliar al recibir una incidencia directa del laser de potencia.

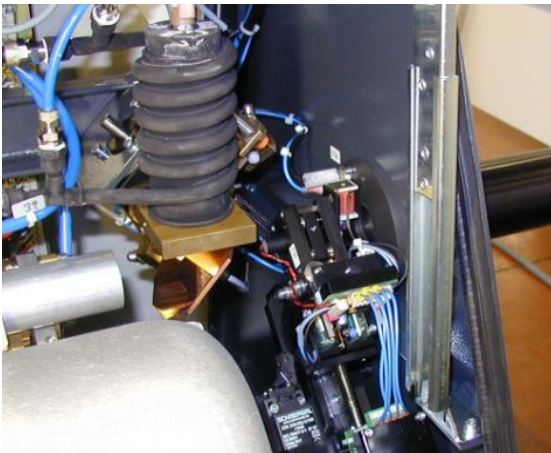


Fig. 9.23 Obturador con disipador de calor. Se puede observar el apuntador HeNe en la salida al telescopio



9.4.9 Seguridades dentro del recinto del tríodo

El tríodo utilizado en el resonador del Laser se encuentra en una caja metálica sellada y propiamente aterrizada en todos sus elementos como la mostrada en la imagen 9.24. Cuenta con un sistema de extracción de aire y durante su funcionamiento se presenta una ligera presión negativa o vacío en su interior. La tapa principal posee un *switch* de seguridad que deshabilitara la alimentación si esta se retira cuando hay voltaje en los circuitos. De la misma manera, si este *switch* se llegara a suprimir del circuito para lograr encender el sistema, este no lo permitirá debido a que también tiene un sensor de presión en su interior que interrumpirá el encendido si una presión negativa no está presente. El fallo de la bomba de extracción también podrá ser una causa de interrupciones en la alimentación si esta no se encuentra funcionando adecuadamente. También tuve oportunidad en algunas ocasiones de encontrar que la tapa había sido retirada sin precaución y el sello había sido dañado accidentalmente, de tal manera que al colocar la tapa se tenía una fuga en el sistema de vacío. Esta condición provocaba que en lapsos espaciados de tiempo se perdiera la alimentación del Laser con una alarma indicando apertura en el sistema de seguridades sin señal alguna de donde provenía la interrupción.

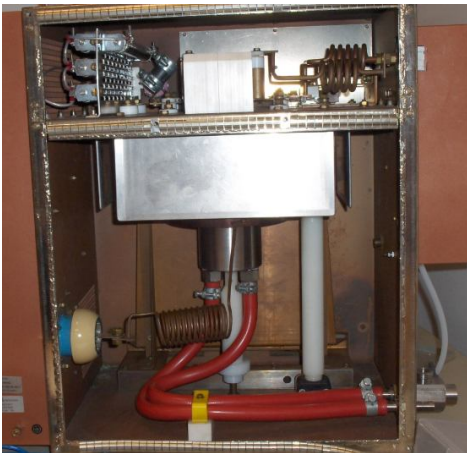


Fig. 9.24 Recinto sellado con presión negativa del tríodo, su base y el sistema de resonancia

Dentro de los procedimientos se requiere revisar que estas seguridades se encuentran en buen estado y que los sellos no han sido dañados durante el transporte. La inspección de la bomba de extracción, el sellado de las tapas y los interruptores de seguridad es también parte de las actividades a realizar durante los mantenimientos preventivos donde se hacen chequeos rutinarios.

Parte de las actividades en el recinto del tríodo (figura 9.24) cuando se efectúa la inspección antes mencionada, es corroborar que no existan fugas de agua en el sistema de enfriamiento, terminales,



sellos y mangueras deben de ser observados para determinar su integridad y buen funcionamiento.

9.4.10 Presión de gas y de vacío en la cavidad del laser

Como había mencionado previamente en este reporte, en el gabinete donde reside el resonador y el triodo, se encuentra la cavidad donde se genera el haz laser. Esta cavidad está permanentemente en alguna de las siguientes condiciones: ya sea al vacío o con una mezcla de gas promotor de los estados necesarios para la emisión del laser descritos en los primeros apartados.

El gas utilizado para ser insertado en la cavidad debe de ser obligatoriamente el que provee la compañía que fabrica los equipos laser (figura 9.25). El proveedor que en este caso es *Rofin*, especifica que cualquier otra mezcla usada en la generación del laser agrega riesgos en la integridad de los elementos internos de la cavidad y puede producir gases tóxicos o fuera de ella al interactuar el haz con los materiales que están cortándose en la boquilla. La integridad de las conexiones en las tuberías debe ser revisada y las diferencias de presiones corroboradas de acuerdo al manual. Parte del *check list* para validar esta parte del sistema incluye una prueba de extracción utilizando una bomba, en la que se genera un vacío permanente y se mide su estabilidad a 200 HPa durante 12 horas. Si la presión se mantiene estable durante ese tiempo, la prueba se considera como positiva confirmando que la cavidad no tiene fugas, así como las conexiones con el tanque de gas.



Fig. 9.25 Tanque de gas Rofin, pueden verse los manómetros de presión en el tanque y en la cavidad

Como parte de la capacitación al cliente es importante señalar al operador los periodos de cambio de gas en la cavidad y los cambios del tanque en el resonador. Estos periodos están definidos en la documentación de operación pero frecuentemente no se respetan completamente. Es común que los tiempos de reemplazo del gas en la cavidad y del tanque se pospongan debido al alto costo del gas. Esto sin embargo impacta directamente la calidad en el corte ya que se pierde potencia en el haz. Otro problema frecuente asociado al gas es el daño de las tuberías o conexiones debido a la premura con la



que se cambia el tanque. Eso ocasiona que se fugue el gas sin que se percate en primera instancia el operador, solo hasta que se observa que los tiempos de cambio se han acortado considerablemente se persigue la posibilidad de fugas de gas. En los planes de mantenimiento se les indica a mecánicos y operadores los cuidados e importancia del cambio del tanque, este debe de ser reemplazado con el tiempo necesario y de manera cuidadosa, evitando generar torsiones en las tuberías o dañar las conexiones.

9.5 INTEGRACION DE MAQUINARIA A PRODUCCION

Una vez que todos los procesos de calibración, chequeo de seguridades y corrientes de control han sido finalizados, es momento de comenzar con las pruebas de potencia sobre diferentes materiales. Estas revisiones finales podrán emitir la información necesaria para la implementación e interacción de la maquina a los procesos del cliente. Como revisiones primarias, se harán pruebas del perfil del haz emitido a diferentes potencias sobre placas de acrílico. De esta manera se podrá determinar que se cuenta con un frente adecuado y se podrán entonces calibrar las distancias de enfoque en la boquilla de corte. El último espejo de enfoque permitirá que el haz tome una mayor coherencia y converja en el punto medio de la altura media de los materiales a cortar. Esto es de importancia ya que la falta de ajuste en esta altura puede causar que la energía se disipe sobre la cama de corte si el punto de convergencia está muy abajo o cortes de baja calidad en lo más bajo si el punto está muy arriba.

La definición del punto de enfoque dependerá entonces de la cantidad de capas que el cliente espere cortar y la composición de los materiales para poder comenzar con la definición de las pruebas.

En este apartado enlistare los pasos a seguir y las actividades relacionadas a la implementación de los procesos de corte de acuerdo a las necesidades del cliente y a las capacidades de la maquina. En esta etapa de la instalación de la maquinaria es de especial importancia la experiencia del personal entregando el equipo al cliente, ya que basado en su experiencia y conocimientos sobre la maquina definirá las expectativas adecuadas para el cliente. Es claro que si el cliente usa condiciones inadecuadas para la maquinaria respecto a su real capacidad, al pasar el tiempo comenzaran a notarse desgastes y daños mecánicos que fácilmente harán decaer sus capacidades de producir con calidad y eficiencia. Varios clientes han experimentado que la combinación de una demanda excesiva o fuera de las capacidades de la maquina incluso con un mantenimiento normal acaban por dañar transmisiones mecánicas afectando directamente la precisión del corte. Generalmente cuando se detecta que ese desgaste se debe a valores fuera de rango, será difícil bajar la "productividad" de la



maquina con el fin de ganar más calidad, ya que planes y esquemas de corte ya han sido elaborados acompañados con promesas de entregas con límites de tiempo. Salir de ese círculo vicioso será entonces complicado y costoso para el cliente debido a los cambios que deberá de implementar para revertir los hábitos establecidos.

La definición de los procesos adecuados a la capacidad de la maquina y de los programas de mantenimiento se establecerán durante esta implementación y los diferentes cursos que la preceden. En ese proceso de enseñanza para el cliente se muestra con pruebas de corte con materiales el máximo punto de calidad y velocidad posibles y los métodos que deben de aplicarse para mantenerlo así. La experiencia del ingeniero a cargo por parte de Lectra es clave para que a partir de la entrega se tengan fallas mínimas y un arranque con una rampa de aprendizaje y desarrollo consistente y suave. A continuación hago una breve descripción de esos elementos mostrados al cliente por el ingeniero de campo, actividades que también fueron mi labor por varios años en la que debí obtener la experiencia necesaria para poder realizarlas.

9.5.1 Calibraciones, ajustes y pruebas previas a las capacitaciones

Las calibraciones asociadas cuando se ha llegado a esta punto están enfocadas a corroborar que la capacidad de la maquinaria para cortar con calidad es llevada a su valor optimo. Ajustes como calibración de escalas x-y, avance de conveyor, cortes de diferentes números de capas de prueba con diferentes valores de potencia, etc. son realizadas repetidamente para observar consistencia en los resultados. En el programa interno de la maquina se tienen diferentes tipos de figuras que pueden ser utilizadas para calibrar el haz, las aceleraciones y velocidades. Todos estos ensayos se realizan en presencia del cliente para asegurar que se dan término a su satisfacción. Al hacer cortes con diferentes capas se debe de confirmar que las orillas del material han sido selladas después del corte y que no has rastros de desgarre o partes sin cortar. También se observa que no haya señas de quemado no deseado abajo del tendido, originado por exceso de potencia del laser que es reflejado por la superficie de corte.

En esta etapa puede decirse que es cuando realmente se prueban todos los subsistemas trabajando en conjunto y donde puede definirse si algún ultimo ajuste o corrección debe de ser efectuado antes de iniciar con la capacitación.

9.5.2 Procesos de mantenimiento de la maquinaria

Con la finalidad de establecer los procesos adecuados de mantenimiento para los equipos se realiza



una capacitación de una semana con el equipo de mecánicos de los clientes. En estas capacitaciones se revisan las actividades diarias, semanales, mensuales y por cada cierto número de horas de emisión de laser que deben de observarse con la finalidad de mantener en buenas condiciones los diferentes elementos. Para estos cursos existen manuales detallados en los que se describen todos los procesos de revisión y ajuste que conforman las actividades preventivas a las fallas más comunes.

Es un área primordial durante esta capacitación el estudio y entendimiento claro de las normas de seguridad que deben de ser consideradas durante la revisión o inspección de los diferentes subsistemas. Desde los equipos de protección que se deben de utilizar durante las intervenciones hasta los listados de acciones de seguridad para cada reemplazo de piezas o pruebas con la unidad laser, estos listados son comúnmente conocidos como "*security chec lists*".

9.5.3 Procesos operativos de corte

Durante esta capacitación se abordan los temas asociados a la parte operativa de la maquina y a las opciones que el software de control posee para establecer los procesos de corte. Se estudia el programa de corte y los diferentes niveles de privilegios y accesos de acuerdo al nivel asignado a los usuarios operándolo. En el programa de corte se tienen diferentes niveles de estructuras organizativas que permiten distribuir las responsabilidades de acuerdo las necesidades de la sala de corte. La organización de esta serie de usuarios asemeja ampliamente a aquella usada con los privilegios asignados en un dominio en un sistema operativo de ambiente Windows. Desde el operador que solo valida las posiciones de inicio y fin del corte, hasta el supervisor o administrador que asigna los diferentes roles son explicados en este curso. Se crea esta estructura junto con el cliente y se establecen velocidades, potencias, porcentajes de avance, etc de acuerdo a las necesidades del cliente.

Al final de esta capacitación, se tendrá un grupo de personas a cargo de los diferentes procesos en la sala de corte y con las responsabilidades asignadas. Al final del curso se tendrá listo en conjunto con el cliente el mapa de uso y mantenimiento del equipo, lo que permitirá transitar hacia el siguiente nivel que consiste en apoyar al cliente en los alcances de la eficiencia y calidad esperados y definidos al inicio de la instalación.

9.5.4 Corte con materiales y definición de parámetros

Como paso final previo a la entrega de la máquina de corte a producción, se corren los últimos ensayos con cortes reales en los que se hacen mediciones de tiempos y evaluación de alcances. En



este punto el departamento de ingeniería ya posee las geometrías y programas listos para afinar los últimos detalles. La definición de parámetros por materiales, longitudes y número de capas se estudia y trata de mejorar hasta alcanzar las metas de eficiencia. En este periodo se cuenta generalmente con personal de calidad evaluando que las medidas de las partes cortadas tomadas de manera aleatoria sean de las dimensiones dentro de especificaciones. En muchas ocasiones y de manera regular, calibraciones y ajustes finales deben de ser realizados en presencia del cliente asegurándose que se encuentra el personal asociado ya con el conocimiento de las razones y efectos de lo que se está haciendo. Se aclara y establece que a partir de ese punto parte de las decisiones y criterios aplicados corresponderán solo al cliente y a aquellos que han recibido la capacitación y la responsabilidad correspondiente.

9.5.5 Integración de la maquina a producción

Una vez que el departamento de calidad ha validado que el número de piezas medidas ha arrojado medidas dentro de las especificaciones, la maquina es entregada a producción y a los departamentos encargados. Preguntas y dudas acerca de diversos temas desde mantenimiento, reemplazo de partes y asignaciones de privilegios deben de poder ser contestadas satisfactoriamente al cliente. El ingeniero de campo a cargo observará la máquina bajo producción un día más y finalmente entregará la documentación asociada para ser firmada a conformidad por los diferentes jefes de las áreas.

La integración final de la maquina se hará en compañía del cliente durante su producción normal trabajando con el equipo a cargo que recibió la capacitación. Este será un proceso conjunto y que se alcanzará en un periodo de varias semanas, durante las cuales la asesoría del representante de Lectra y la retroalimentación del cliente son determinantes. Esta etapa puede decirse también que representa de manera personal trabajando en Lectra una oportunidad para evolucionar en los conceptos y conocimientos asociados a la maquinaria y las soluciones implementadas. Esto también es parte del aprendizaje y la profundización con los conceptos utilizados durante la instalación de los elementos y el conocimiento de los clientes

9.5.6 Monitoreo de actividades operativas y de mantenimiento

De manera periódica y regular se hacen revisiones a todos los elementos que se mencionaron anteriormente aplicando sus esquemas de inspección para la detección temprana de problemas. Este conocimiento es ya del conocimiento del cliente y se evalúa su aplicación correcta a través de auditorías en las que se abordan y comunican los detalles a corregir por parte de los departamentos de mantenimiento o ingeniería. Necesidades operativas son a su vez atendidas con la definición del



origen de los problemas y aportación de soluciones que incluyan capacitaciones adicionales enfocadas en las áreas de mayor necesidad.

Para estas actividades es muy importante el conocimiento del desarrollo del proyecto y la capacidad de poder interactuar con soltura con los diferentes departamentos involucrados y áreas dentro de la empresa que provee la solución (Rofin o Lectra). La estructuración de los planes de mantenimiento se abordará con más detalle en los siguientes apartados.

9.6 MANTENIMIENTO PREVENTIVO A MAQUINARIA Y UNIDADES LASER

Ambas empresas, Rofin y Lectra tienen planes de mantenimiento establecidos y ampliamente estudiados para prevenir problemas durante el uso general de los equipos. En ambos casos el tiempo o frecuencia de las intervenciones se definen primeramente a través de horas de emisión de Laser, de tal forma que en rangos de 2000 horas se deberán hacer revisiones y cambios de elementos de manera obligatoria hasta llegar a las 16000 horas, cuando el ciclo comienza de nuevo. Como un plan adicional se establecen actividades por día, semana y mes en las que se realizaran inspecciones, limpiezas de elementos y engrasado de rodamientos o partes móviles conforme se indique en los manuales.

Debido a que la venta de maquinaria y proyectos no se hace de una manera frecuente y continua, mis labores en gran porcentaje fueron encaminadas a la aplicación de los requerimientos de mantenimiento en un principio y después con más experiencia en la solución de fallas y proposición de soluciones en base al conocimiento adquirido en la interacción con los clientes.

En el caso de las unidades Laser se deberán de revisar periódicamente (cada 2000 horas) las corrientes de rejilla, filamento, ajuste de shutter y del spatial filter. Esto como lo mencione previamente solo puede ser efectuado por personal certificado con Rofin.

9.6.1 Esquemas de mantenimientos preventivos en Focus y Rofin

Para todas las cortadoras que distribuye Lectra se tienen programas de mantenimiento con reemplazos preventivos de partes. Los reemplazos están planeados de acuerdo al uso normal de la maquina. Como un ejemplo, se comprenderá que las partes móviles son las que más frecuentemente se cambiaran, como filtros y grasa y aceite de elementos. Dentro de estas labores preventivas esta la inspección de todos los componentes descritos anteriormente durante la instalación. En la máquina de corte, calibraciones de perpendicularidad o de avance de material, inspección de espejos, chequeo de presencia de grasa en puntos específicos, etc, son labores que deben de desenvolverse por los



encargados de mantenimiento de acuerdo a los periodos especificados en el manual. Estos periodos están delimitados en diario, semanal y mensual.

En la unidad Laser así como en la cortadora, cada cierto número de horas de emisión se deben de revisar las corrientes mencionadas en los puntos previos y confirmar que están dentro de la especificación de la fábrica. Corriente de ánodo, rejilla, filamento y niel de alto voltaje o de ánodo deben de ser revisados cada 2000 horas de emisión. El técnico de mantenimiento por parte de Lectra debe de estar familiarizado con estas actividades y debe de verificar que el cliente las este efectuando de manera adecuada.

9.6.2 Reemplazo de partes de manera preventiva

Como parte de los planes de mantenimiento de las maquinas de corte está el reemplazo de manera proactiva de los diferentes elementos mecánicos de acuerdo a su desgaste normal.

Dentro de un uso regular de la maquinaria se observara el deterioro de los elementos como guías, rodamientos, bandas o poleas. Estas partes se cambiaran antes de que cualquier problema surja de manera preventiva y con costo para el cliente. De esta manera se busca después de amplios análisis, el evitar las fallas más comunes y eliminar rupturas o fallos antes de que estos ocurran.

Como se podrá imaginar, el reemplazo de cada elemento dentro de estos “kits” de partes, conlleva nuevamente las calibraciones asociadas y revisiones necesarias para llevar la maquina lo más cerca posible a las condiciones de fábrica. El ingeniero de campo a cargo efectuando los cambios de partes debe también de aplicar los criterios basados en su experiencia para decidir si partes adicionales deben de ser reemplazadas o si algún otro componente representa un riesgo de falla futura.

Conjuntamente a todas las actividades de reemplazo hay inspecciones detalladas de los diferentes subsistemas que componen la maquinaria. Estos “*check list*” deben de ser ejecutados por personal calificado y entrenado en seguridad también por parte de la empresa.

Estas actividades y recambio de partes son cíclicas y son los ajustes en tiempo y forma lo que mantiene a la cortadora con los niveles de precisión y calidad que los clientes esperan. Es de suma importancia que se sigan todos los programas a tiempo ya que se ha demostrado que el no realizarlos con la secuencia correcta, o sin inspeccionar todos los puntos descritos es el origen más común de fallas en el campo.

A continuación se muestran imágenes de algunos kits de reemplazo de partes para cortadora Focus 15



para diferentes número de horas de trabajo o emisión Laser (figura 9.26 y 9.27)

Cada 2000 horas en el contador horario: realizar las operaciones siguientes, utilizando el kit de mantenimiento 702961

Fuente láser

- Mantenimiento cada 2000 horas de la fuente láser.
- Sustitución del gas láser.

Camino óptico

- Control y limpieza de la lente de enfoque.
- Limpieza de los espejos de reflexión.
- Limpieza del espejo del cabezal de enfoque.
- Control de alineamiento del camino óptico.

Aspiración

- Comprobación o sustitución, en caso necesario, del filtro de aspiración.

Señalización y seguridad

- Control de los dispositivos de seguridad.
- Mantenimiento de los dispositivos de mando.

Grupo frío

- Control del nivel del agua.
- Control de la limpieza del condensador.
- Sustitución del filtro de agua 100 μm .

Cortadora

- Mantenimiento de la cortadora.
- Control de las delgas de soporte de corte.
- Limpieza del compartimento de aspiración de la cortadora.
- Engrasado de los cojinetes de bolas X e Y.

Circuito neumático

- Control y vaciado del prefiltro 1 μm .
- Control y vaciado del filtro 0,01 μm .

Mantenimiento de X e Y

- Sustitución de la correa del motor X.
- Reemplazar los cojinetes de bolas y los manguitos de engrase del carro Y (alto y bajo).

Dispositivos electrónicos de control

- Sustituir los filtros de los ventiladores (cutter-box).
- Sustituir los filtros anti-polvo (puerta de la parte electrónica).

Contrastes y geometría

- Control de los contrastes y de la geometría de la cortadora.

Nota: estas operaciones deben ser realizadas por un técnico certificado.

Fig. 9.26 Ejemplo de actividades a realizar cada 2000 horas de una maquina de corte Focus

De la misma manera si las partes cambiadas de manera proactiva no son instaladas dentro de los procedimientos establecidos como correctos siguiendo tensiones mecánicas, distancias y alineaciones, se generarán problemas prematuros en lugar de prevenirlos



Fig. 9.27. Ejemplo de partes mecánicas a reemplazar a las 12000 horas de trabajo.

9.7 REPARACIÓN DE EQUIPOS LASER Y MÁQUINAS DE FORTE *FOCUS*

Parte fundamental en la reparación de estos equipos es la comprensión de los diagramas electrónicos. Hasta ahora hemos solamente mencionado en detalle factores mecánicos, ópticos y operativos. Sin embargo gran parte de las fallas en esta maquinaria están asociadas a variables electrónicas presentes en los diferentes equipos. Como mencione anteriormente se tienen en estas maquinas gran cantidad de sensores de flujo, temperatura, caudal, así como una enorme variedad de switches y contactores. El conocimiento de los circuitos lógicos de contactares y de la simbología en los diferentes sistemas es vital para poder rastrear cualquier falla.

En esta última fase de las labores del técnico de campo podemos observar que se requieren una amplia variedad de conocimientos y experiencia con la maquinaria en los aspectos eléctrico, electrónico, neumático, mecánico, óptico y operativo a nivel del software que le permitan a través del análisis encontrar la solución a las fallas.



Es también necesario que la persona a cargo de la solución de las fallas conozca sobre redes, usuarios, dominios, privilegios y Windows en general, ya que muchos elementos causantes de fallas se deben a factores de software como la elección de parámetros idóneos para lo que se está queriendo hacer.

A continuación muestro un ejemplo de un diagrama del circuito de seguridades de una maquina de corte Focus, figura 9.28. En ella se podrán apreciar los diferentes elementos involucrados en la seguridad de la cortadora y como están representados en la simbología usada. Referencias con números de parte, puntos de prueba o de medición de voltajes, tipo de switches y sus referencias con el resto de las páginas del manual pueden verse claramente. En promedio solo esta máquina de corte cuenta con alrededor de 40 hojas de diagramas, a las que se le deberán de sumar otras 40 o más del sistema de control y emisión Laser.

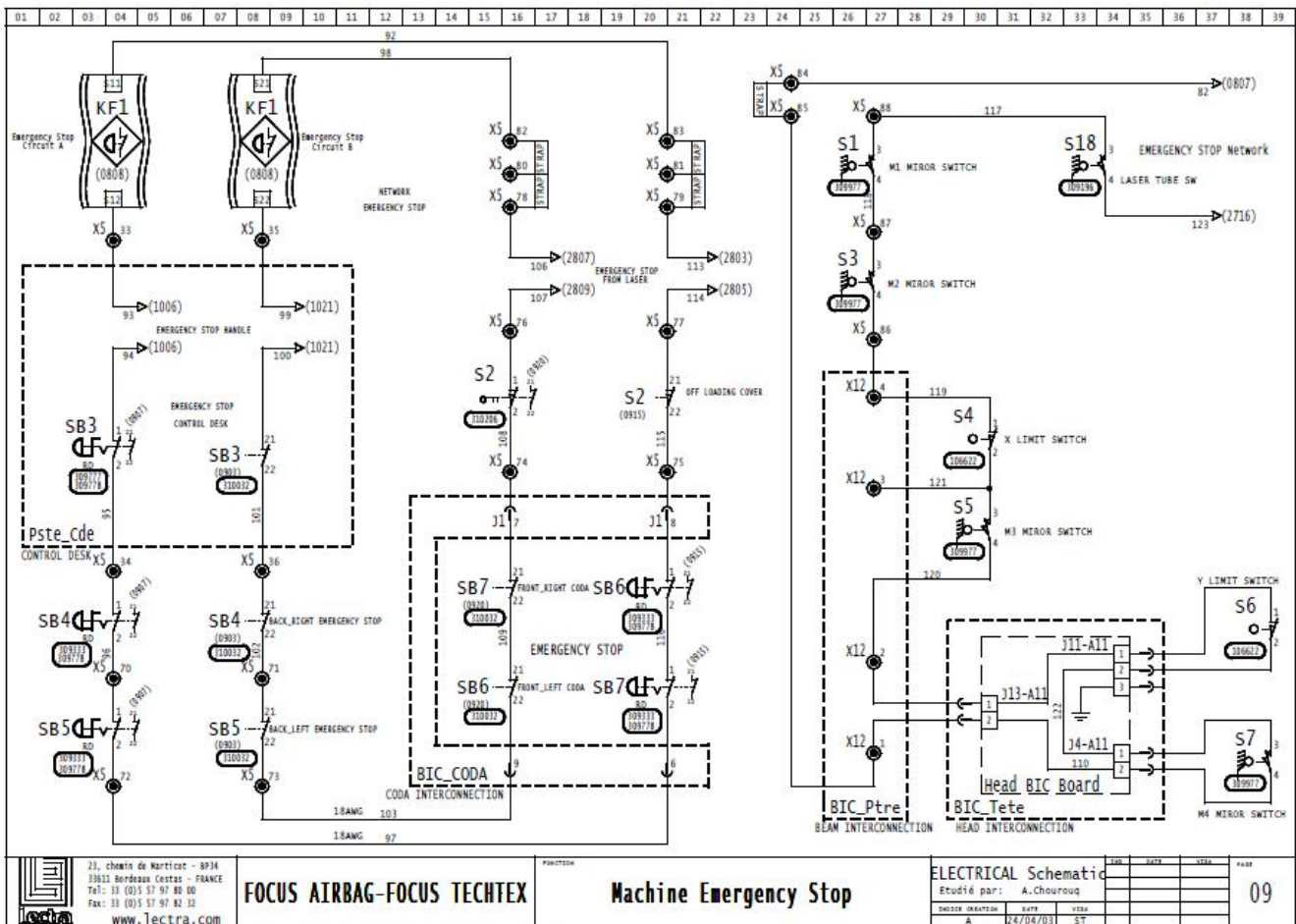


Fig. 9.28 Hoja con diagrama electrónico de circuito de seguridad de una maquina Focus 15



9.7.1 Reemplazo de partes por fallas con fines correctivos

Otro aspecto importante en la reparación de fallas es la aplicación de criterios en el reemplazo de tablillas electrónicas, motores o variadores de control dentro de la cortadora. Estas actividades deben de ser realizadas apegados a los conceptos y lineamientos de los manuales de cada máquina. El procedimiento regular que debe seguirse antes de proseguir al cambio de una parte consiste en rastrear el problema hasta su origen y tomando los diagramas mecánicos y electrónicos como base, establecer una línea de acciones. Existen muy diversas situaciones con problemas de toda índole entrelazados que pueden originar una falla y en ocasiones resulta extremadamente complejo determinar su raíz, sin embargo, si los procedimientos que se indican en los manuales se siguen de manera rigurosa y se realizan las mediciones y pruebas de manera adecuada, personal con la experiencia necesaria será capaz de encontrar el problema. A base de ejemplos simples tomemos un error de desplazamiento en Y de la máquina de corte. De acuerdo a la documentación del equipo, se deben de realizar pruebas operativas desde el programa interno de la maquina y observar conteos de retroalimentación del encoder o del tachy. Si se encuentra que la computadora no está recibiendo retroalimentación de control, se supondrá que el problema radica en el cableado o en el encoder físicamente. Si hay lecturas de los elementos mencionados registrados en el software, entonces el problema yace en el lado operativo. Siguiendo estos procedimientos y herramientas proporcionadas por el mismo sistema, se pueden detectar prácticamente cualquier problema en la parte mecánica y electrónica. Sin embargo, la solución del problema o causa que genero el mensaje de error o la falla en la calidad del corte puede son estar siendo resuelta en sus múltiples raíces y causas reales. Es decir, que si tomamos como referencia el ejemplo anterior, y sabemos que se llevo a la conclusión de que el encoder estaba dañado y el problema desapareció al reemplazar dicho elemento, quedarían pendientes de responder las preguntas, Porque se daño?, Como se daño?, Que acciones hay que tomar para que no vuelva a dañarse o prevenir que ocurra en medio de la producción?. Estas y otras preguntas más corresponden a análisis más profundos de esas fallas y deben de hacerse de manera metodológica con el fin de establecer pautas para su prevención y pronta solución. Estos procedimientos y análisis los explicare brevemente en el siguiente apartado.

Cabe agregar que una vez que ciertos elementos son reemplazados, ya sean motores, tarjetas, espejos, sensores, etc., la maquina o los elementos involucrados deben de ser calibrados y ajustados como se describió durante su instalación. Se deberán de contemplar configuraciones de software o de hardware directamente sobre las tablillas electrónicas que se reemplazan, para evitar introducir fallas adicionales.

9.7.4 Análisis de fallas métodos de solución de problemas

Algunos de los métodos utilizados para el análisis de causa raíz de fallas son: diagramas de Ishikawa y de la ley de las 8 disciplinas. Utilizando ambas herramientas se profundiza en las causas diversas de un problema y se establecen soluciones.

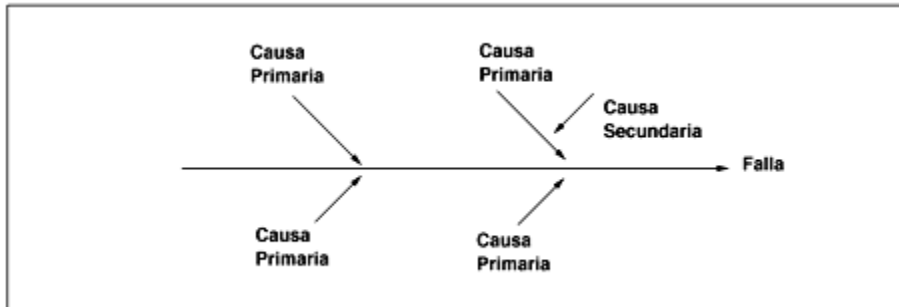


Fig. 9.29 Estructura básica de un diagrama de Ishikawa

En el primer caso, cuando se decide hacer un diagrama de Ishikawa como en las figuras 9.29 y 9.30, o causal se deben de tomar en cuenta los siguientes elementos: 1.- La descripción del problema tiene que ser lo más grafica y simple posible, 2.- señalar entradas o causas en una dirección o sitio y salidas o efectos en otro, 3.- Definir las entradas por categorías, 4.- extender las causas o entradas lo más posible de acuerdo a las categorías preguntando en cada caso: Por qué?

De esta manera el análisis de una falla no se queda solamente en el reemplazo de la parte involucrada o en la corrección mecánica o eléctrica del elemento sino se intenta ir más profundamente a las raíces que combinadas crean un incidente o problema.

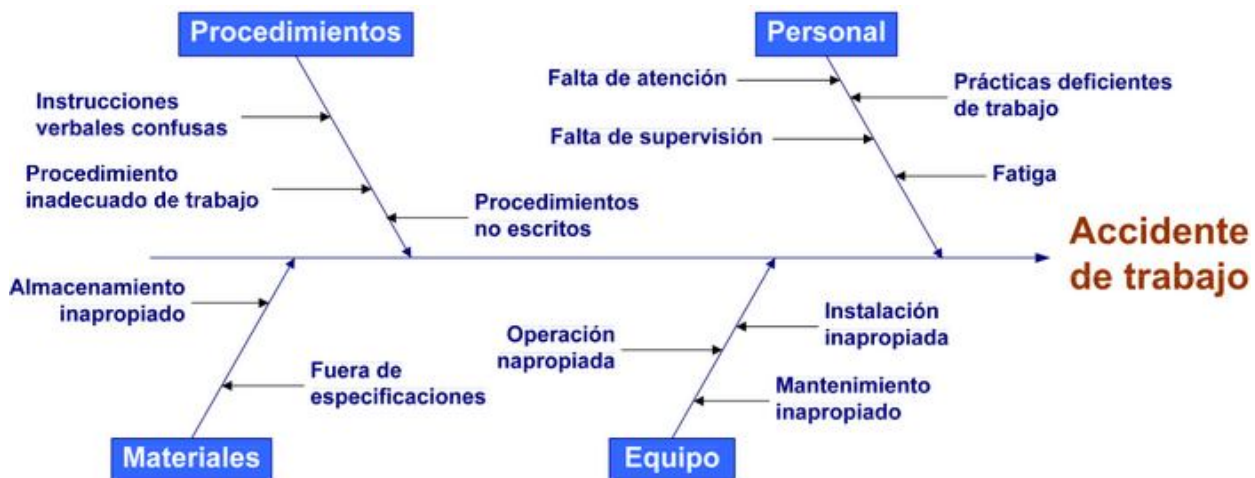


Fig. 9.30 Ejemplo de diagrama de Ishikawa



10. Conclusiones

Concluyendo con el aspecto técnico del reporte, podemos ver que el estudio del rayo laser a través de los años ha ido cambiando el rumbo de las nuevas tecnologías permitiendo en la mayoría de los casos, para aquellas a las que tenemos acceso que no son de índole militar, su uso en la industria con evidentes ventajas.

En el caso específico del rayo laser puede observarse como el desarrollo de nuevas técnicas en la plataforma industrial para optimizar procesos de producción y en experimentos e investigaciones científicas para su uso en nuevas áreas especialmente la medicina, van acumulándose y siendo paulatinamente explotadas de manera cada vez más natural y con mayor acceso a todos los ámbitos.

El amplio espectro en el que estas tecnologías se van combinando y aplicando en la elaboración de innumerables insumos es someramente abordado en este reporte, quedando claro que la maquinaria automatizada seguirá evolucionando a pasos gigantescos en el uso del Laser. Prueba de ello son sistemas de última tecnología en los que podemos observar una reducción extrema en tamaño de la electrónica utilizada, así como el mínimo uso de elementos mecánicos móviles. En el Laser, si bien el principio será el mismo, se ven ya maquinas con múltiples unidades Laser trabajando en conjunto en una misma cortadora y con controles mucho más estables, robustos y a la vez ligeros, de fácil mantenimiento y reparación.

En el aspecto personal, para concluir con este reporte de actividades quisiera describir los diferentes aspectos de aquellos elementos que se incorporaron a mi conocimiento después de salir de la escuela, lo que a mi parecer he aportado a través de los años de trabajo en Lectra y cómo los estudios que cursé en la Facultad han influenciado ese proceso.

En los casi 18 años de labor en esta empresa he reforzado y desarrollado los siguientes aspectos:

- Capacidad de análisis y solución de fallas con clientes
- Desarrollo e implementación de proyectos en base a objetivos definidos
- Desenvolvimiento de la relación profesional con clientes
- Estructuración de soluciones para diferentes clientes de acuerdo a necesidades.
- Comprensión del uso de maquinaria a diferentes niveles encaminado a la solución de problemas.
- Aprendizaje de nuevos conocimientos en otros países teniendo como base mis estudios en la UNAM.
- Como aplicar los conocimientos combinados descritos en el punto anterior para beneficio de la empresa y sus clientes.

Entender el puente que une la teoría con la práctica al buscar e implementar soluciones para clientes con diversas necesidades.

De la misma manera pienso que la retroalimentación de los aspectos descritos anteriormente me han permitido también aportar beneficios a la empresa y a los clientes, como por ejemplo:

- Los conocimientos teóricos aprendidos en la escuela para la implementación de acciones prácticas.
- La aplicación de la experiencia obtenida en cursos y en la labor de día a día al ayudar a clientes en la elaboración de procesos para la prevención, solución y reacción a problemas.
- Poner a disposición mi experiencia profesional en la empresa como una herramienta más que forma el



conjunto de aspectos de diferentes productos, permitiendo a Lectra vender mis capacidades en su oferta mundial de soluciones.

- Mi experiencia se ha convertido para la empresa en un producto que le garantiza a sus clientes que se cuenta con el conocimiento y soporte necesarios que le permitan asegurar el buen fin de los proyectos establecidos o el cumplimiento de las expectativas.

Pienso además respecto a este último punto mencionado, que parte de la enseñanza en la escuela es la habilidad y capacidad para aprender y analizar más que la memorización y el cúmulo de conceptos y conocimientos. Esto es porque a través de los años he observado que resulta primordial que los empleados en una empresa que vende tecnología como Lectra, tengan las bases y disposición para integrarse plenamente y poder explotar los potenciales en la especialización de los conocimientos de su maquinaria y software. En último término lo que los clientes y Lectra persiguen es personal con conocimientos que aprenda sus procesos, entienda sus problemáticas y cree soluciones sólidas que le permitan elevar sus capacidades de producir usando la tecnología disponible con alta calidad.

Tomando los conceptos anteriores podría decir entonces que los estudios me sirvieron como base indispensable para ingresar al medio laboral profesional aportándome los conocimientos básicos teóricos y la habilidad de aplicar la capacidad analítica desarrollada durante el estudio de la carrera.

La comprensión de los diagramas eléctricos y electrónicos, principios mecánicos en las diferentes maquinas, conocimientos de hidráulica, neumática me permitieron integrarme a la vida laboral y tener las bases necesarias para aprender los que se requería.

Si bien durante todos estos años no contaba con un título que me acreditara como ingeniero, pienso que la formación ya se había establecido y fue la que me permitió continuar expandiendo mis conocimientos y experiencia de 18 años en el entorno laboral.





11. BIBLIOGRAFÍA

Guía de estudio de la ciencia fundamental del laser
Dr. Hilario Robledo, Pontevedra España, 2014

Introduction to Industrial Laser Materials Processing
Dr. C. Emmelmann, Hamburg, 2000

Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge
W.R. Bennett Jr and D.R Herriot, US 1961

Procès de coupe et éléments de la machinerie en utilisant rayonnement Laser
Lectra Systèmes, Cestas, France 1998

NTP 654: Láseres: nueva clasificación del riesgo (UNE EN 60825-1 /A2: 2002)
Beatriz Diego Segura, Centro Nacional de Nuevas Tecnologías, España, 2003