

300617



**UNIVERSIDAD LA SALLE A.C.**

**Escuela de Ingeniería**  
Incorporada a la U.N.A.M.

5

**"DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALINEACION POR LASER DE  
SEMICONDUCTOR PARA MAQUINAS SEMIAUTOMATICAS  
ARMADORAS DE LLANTAS"**

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A  
FRANCISCO JAVIER TORRES LOPEZ

ASESOR DE TESIS:  
ING. JOSE ANTONIO TORRES HERNANDEZ

MEXICO, D.F.

2000

246296



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**A Mis Padres**

A ustedes que me dieron la vida y que siempre trabajaron para darme lo mejor, con gran respeto y admiración les doy las gracias, por ser lo que soy y por haberme dado la oportunidad de estar aquí para entregarles este presente.

**A Tere, Mi Esposa**

Por ser mi compañera, amiga y amante en este viaje que es la vida; Te amo, y una vez mas gracias por nuestros hijos.

**A Mis Hijos: Francisco, Alejandro e Iker**

Como una muestra de amor y de ejemplo a seguir de su padre. A ustedes que son mi fuente de inspiración y esfuerzo, gracias por sus sonrisas, sus lágrimas, sus travesuras y hasta sus enseñanzas que me animan y me impulsan a salir adelante en todo momento.

**A Mis Hermanos: Lucía, Fernando y Luis Arturo**

Por haberme apoyado siempre en el trayecto de mi vida, por la niñez que compartimos, por los detalles y momentos que pasamos juntos, mil gracias.

**A Mis Abuelos**

Mi especial agradecimiento por brindarme su amor, sus valores y sus principios, y sobre todo por predicar con el ejemplo: Fe, Esperanza, Caridad, Fortaleza, Templanza y Prudencia.

**A Mis Tios**

Por su ejemplo y ayuda para forjar personas de bien, sincera y desinteresadamente, muchas gracias.

**Mi más sincero agradecimiento a**

Ing. José Antonio Torres Hernández  
Ing. José Luis Sánchez Todoberto  
Por toda la ayuda que me facilitaron para la realización de este trabajo.

# I N D I C E

<b>INTRODUCCION</b>	<b>i</b>
---------------------	----------

<b>CAPITULO I:</b>	<b>Principios de Autonomización como parte de una Estrategia de KAISEN Orientada a la Producción</b>
--------------------	--

<b>1.1</b>	<b>Generalidades</b>	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>El Concepto de KAISEN</b>	<b>3</b>
<b>1.3</b>	<b>KAISEN e Innovación</b>	<b>4</b>
<b>1.4</b>	<b>La Autonomización o <i>Jidohka</i></b>	<b>9</b>

<b>CAPITULO II:</b>	<b>Funcionamiento de una Máquina Semi-Automática Armadora de Llantas</b>
---------------------	--

<b>2.1</b>	<b>Generalidades</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Partes de una Llanta</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Proceso de Fabricación de una Llanta</b>	<b>18</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Proceso de Mezclado</b>	<b>20</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Proceso de Extrusión</b>	<b>21</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Proceso de Fabricación de Cejas</b>	<b>22</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Proceso de Calandrado</b>	<b>23</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Proceso de Cortado</b>	<b>24</b>
<b>2.3.6</b>	<b>Proceso de Fabricación</b>	<b>25</b>
<b>2.3.7</b>	<b>Proceso de Vulcanización</b>	<b>26</b>
<b>2.3.8</b>	<b>Terminado e Inspección Final</b>	<b>27</b>

<b>2.4</b>	<b>Funcionamiento General de una Máquina Armadora de Llantas</b>	<b>27</b>
2.4.1	Armado de una Llanta Convencional	29
2.4.2	Armado de una Llanta Radial	31
<b>2.5</b>	<b>Importancia del Armado</b>	<b>36</b>
<b>2.6</b>	<b>Planteamiento del Proyecto y Validación Económica</b>	<b>37</b>

### **CAPITULO III: Lasers y Fotosensores**

<b>3.1</b>	<b>El Laser</b>	<b>43</b>
3.1.1	Generalidades	43
3.1.2	Nota Histórica	45
3.1.3	Definición y Descripción del Laser	46
3.1.4	Principios de Funcionamiento	49
3.1.5	Partes de un Laser	52
3.1.6	Tipos de Laser	53
3.1.7	Propiedades de la Luz Laser	59
3.1.8	Seguridad usando Laser	62
3.1.9	El Laser de He-Ne	63
3.1.10	El Laser de Semiconductor	69
<b>3.2</b>	<b>Fotosensores</b>	<b>79</b>
3.2.1	Generalidades	79
3.2.2	Fotoceldas	79
3.2.3	Fotodiodos	83
3.2.4	Fototransistores	86

**CAPITULO IV:      Diseño de un Monumento Electrónico y un Módulo Laser  
Puntual Utilizando un Diodo Laser.**

<b>4.1</b>	<b>Restricciones de Diseño</b>	<b>90</b>
<b>4.2</b>	<b>Diseño de un Monumento Electrónico</b>	<b>93</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Definición</b>	<b>93</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Restricciones de Diseño Específicas</b>	<b>93</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Diseños Preliminares</b>	<b>94</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Diseño Definitivo</b>	<b>101</b>
<b>4.3</b>	<b>Diseño de un Laser Puntual con un Diodo Laser</b>	<b>104</b>
<b>4.3.1</b>	<b>¿Por Qué un Diodo Laser?</b>	<b>104</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Diseños Preliminares</b>	<b>107</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Diseño Definitivo</b>	<b>118</b>

**CAPITULO V:      Diseño de un Módulo de Control Para Lasers y Monumentos**

<b>5.1</b>	<b>Definición</b>	<b>121</b>
<b>5.2</b>	<b>Restricciones de Diseño Específicas</b>	<b>122</b>
<b>5.3</b>	<b>Prototipo Básico</b>	<b>125</b>
<b>5.4</b>	<b>Diseño Definitivo</b>	<b>128</b>
<b>5.5</b>	<b>Pruebas de Campo del Sistema Completo</b>	<b>136</b>

**CONCLUSIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

## I N T R O D U C C I O N

Dada la situación actual del país, en donde los medios productivos se enfrentan, por una parte a los retos y oportunidades de un mercado cada vez más global y competitivo y, por otra, a una economía contraída; algunas empresas han sobresalido optimizando los recursos con los que cuenta, tanto físicos como humanos, económicos y tecnológicos.

Este proyecto surge como resultado del trabajo en equipo, utilizando los recursos disponibles, integrando a la Gerencia, el Personal involucrado y un proveedor desarrollado para tal efecto; Teniendo como base la actual implementación de estrategias de KAISEN y filosofías de Calidad Total en la Cía. Hulera GYO México.

El objetivo del presente trabajo es plantear y ejemplificar, de una forma general, los fundamentos teóricos y prácticos que permitieron la concepción de un sistema "Inteligente" de alineación por Laser de semiconductor para máquinas semi-automáticas armadoras de llantas, más preciso y confiable en comparación con los sistemas de alineación con luz Bima que se utilizaban anteriormente.

La finalidad de este proyecto, es eliminar y/o disminuir paulatinamente los problemas relacionados a la uniformidad en el armado de una llanta; problemática que se presenta en el armado y que es detectada hasta la inspección final del producto.

La manera en la que se estructura el presente trabajo es la siguiente:

El Capítulo I, trata de una forma general, las bases teórico-administrativas que fundamentan el desarrollo del presente proyecto y que forman parte de una estrategia de KAISEN implementada en varias áreas de la Cía. Hulera GYO México. Y que particularmente a nivel producción, toman como ejemplo las características estructurales del sistema de producción implementado por Toyota en sus plantas denominado: *Jidohka* (Autonomización).

Para sustentar técnicamente el desarrollo del presente proyecto, en el capítulo II se estudia superficialmente las partes y el proceso de fabricación de una llanta; profundizando en la importancia de su armado y el funcionamiento de una máquina semi-automática armadora de llantas, para luego definir el proyecto de mejora que involucra el presente trabajo y su validación económica desde un punto de vista antes y después de la implementación.

Conscientes de las implicaciones del proyecto en el capítulo III se inicia un estudio de Lasers y Fotosensores, abarcando sus definiciones, partes, principios de operación, tipos y propiedades, con el fin de sentar las bases para la selección de un Laser y un Fotosensor a utilizar en este sistema de alineación.

Finalmente, los capítulos IV y V forman las memorias de diseño para los Lasers puntuales, los monumentos electrónicos y el módulo de control. En estas se describen las restricciones de diseño, la evolución de los prototipos hasta el diseño definitivo y las pruebas de campo realizadas con el sistema completo.

*Principios de Autonomización como parte de una  
Estrategia de KAISEN Orientada a la Producción*

**1.1 Generalidades:**

Si miramos en retrospectiva los más de 40 años que siguieron a la Segunda Guerra Mundial, veremos como Japón logró la condición de un poder económico mundial, pasando por las cinco fases de adaptación hasta llegar a ser un formidable competidor en varias áreas de productos.

Estas fases son <sup>1</sup>:

- \* Absorción a gran escala de tecnología importada de los EUA y de Europa.
- \* Un gran impulso a la productividad nunca antes visto.
- \* Un programa nacional de mejoramiento de calidad inspirado por las ideas de los Drs. W. E. Deming y J. M. Juran de los EUA.
- \* Un gran grado de flexibilidad en la manufactura y por último.
- \* Multinacionalidad.

---

<sup>1</sup> Inai Masaaki, KAISEN La Clave de la Ventaja Competitiva Japonesa, Editorial CECSA, México, 1990.

Al ir asimilando con éxito la tecnología extranjera, y luego lograr una productividad muy elevada y máxima calidad, los japoneses comenzaron también a crear filosofías, teorías y herramientas administrativas que posteriormente fueron exportadas a todo el mundo.

Tal es el caso de Kaoru Ishikawa, uno de los gurús del Control Total de la Calidad de Japón, de Taiichi Ohno, vicepresidente anterior de Toyota que inició los sistemas "Justo a Tiempo", *Kamban* (Sistema de Letreros) y *Jidohka* (Autonomización), y de Masaaki Imai, quien organizó bajo un concepto de fácil comprensión denominado KAIZEN (Mejoramiento) las filosofías, teorías y herramientas administrativas que se han desarrollado y utilizado durante años en Japón.

Actualmente, y dentro de este contexto, las industrias japonesas se están concentrando en tecnologías flexibles para las manufacturas. Esto significa tener la capacidad de adaptar la manufactura en un tiempo muy corto a los requisitos cambiantes del cliente y del mercado. En donde las palabras clave son: mecanización, automatización, robotización y sistemas relacionados.

## 1.2 El Concepto de KAISEN:

Según Masaaki Imai <sup>2</sup>, la estrategia de KAISEN es el concepto de más importancia en la administración japonesa; en otras palabras, es la clave del éxito competitivo Japonés.

Por si sola la palabra KAISEN significa mejoramiento. Desde el punto de vista Japonés KAISEN significa mejoramiento progresivo y continuo que involucra a todos, desde la Alta Dirección hasta los trabajadores. La filosofía de KAISEN supone que nuestra forma de vida (laboral, social o familiar), merece ser mejorada de manera constante.

Tomando el concepto de KAISEN, según lo plantea M. Imai, podemos obtener una visión mas clara en cuanto a la esencia de todas las prácticas y filosofías administrativas japonesas después de la segunda guerra mundial.

Ya que prácticas como el Control de Calidad Total, Círculos de Control de Calidad, Cero defectos, Justo a Tiempo, etc... pueden explicarse a partir de este concepto, ya que son el resultado de mejoras graduales en diversas áreas.

---

<sup>2</sup> Imai Masaaki, KAISEN La Clave de la Ventaja Competitiva Japonesa, Editorial CECSA, México, 1990.

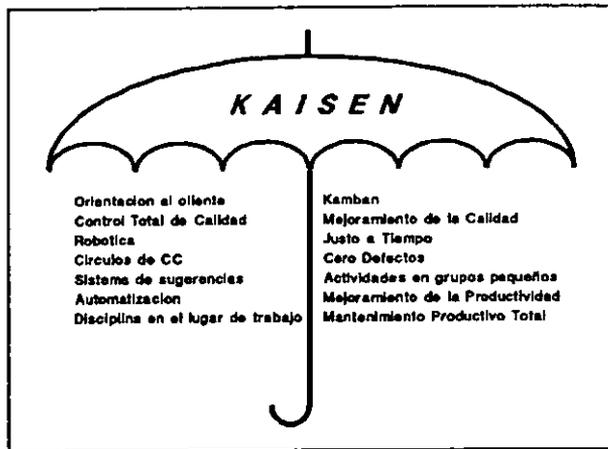


Figura 1.1

### 1.3 KAISEN e Innovación:

En la figura 1.2 podemos observar como se perciben las funciones del puesto en Japón. Como se indica, la administración tiene dos componentes principales: Mantenimiento y Mejoramiento. El Mantenimiento se refiere a las actividades dirigidas a mantener los actuales standares tecnológicos, administrativos y de operación. El Mejoramiento se refiere a las actividades dirigidas a mejorar los standares corrientes.

El Mejoramiento puede dividirse en KAISEN e Innovación. KAISEN mantiene y mejora el standard de trabajo mediante mejoras pequeñas y graduales; La Innovación produce mejoras radicales como resultado de grandes inversiones en nueva tecnología y/o equipo. La figura 1.2 muestra también la subdivisión entre mantenimiento, KAISEN e Innovación según lo percibe la administración Japonesa.

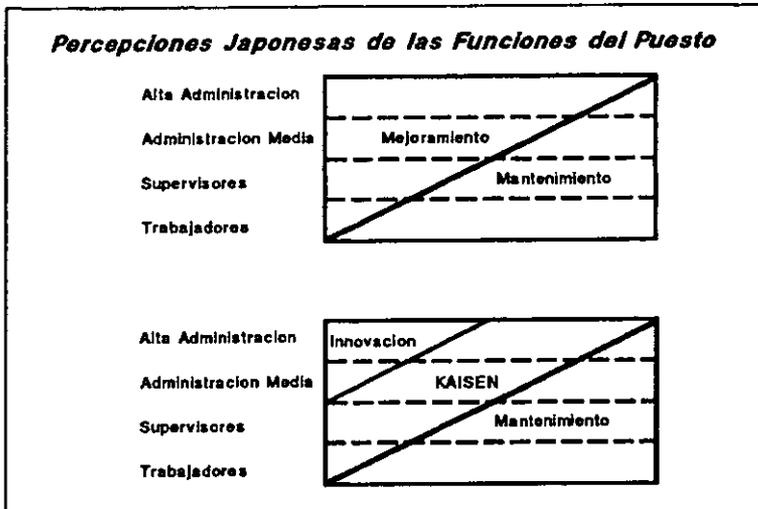


Figura 1.2

Mundialmente, el Mejoramiento presenta dos enfoques contrastantes: el enfoque gradual y el enfoque del gran salto hacia adelante. Por lo general, las compañías Orientales están a favor del enfoque gradual y las compañías Occidentales optan por el enfoque del gran salto hacia adelante.

Mientras que la administración Occidental se basa, en gran medida, en la Innovación (adelantos tecnológicos, conceptos administrativos o técnicas de producción) que logra cambios dramáticos y acapara gran atención; La administración Oriental se basa en KAISEN, en donde los cambios frecuentemente no son dramáticos y los resultados rara vez son visibles de inmediato.

La siguiente tabla compara las principales características de KAISEN y de la Innovación:

	KAISEN	Innovación
1. Efecto	Largo plazo y larga duración pero sin dramatismo	Corto plazo pero dramático
2. Pasos	Pequeños	Grandes
3. Itinerario	Continuo e incremental	Intermitente y no incremental
4. Cambio	Gradual y constante	Abrupto y volátil
5. Involucra a	Todos	Selección de unos pocos
6. Enfoque	Colectivismo, esfuerzos de grupo	Individualismo, ideas y esfuerzos individuales
7. Modo	Mantenimiento y Mejoramiento	Chatarra y reconstrucción
8. Chispa	Conocimiento convencional y estado del arte	Nuevas tecnologías, nuevas invenciones, nuevas teorías
9. Requisitos Prácticos	Poca inversión y gran esfuerzo para mantenerlo	Gran inversión y poco esfuerzo para mantenerlo
10. Orientación al esfuerzo	Personas	Tecnología
11. Criterios de Evaluación	Proceso y esfuerzos para mejores resultados	Resultados para las utilidades
12. Ventaja	Trabaja bien en economías de crecimiento lento	Mejor adaptada para economías de crecimiento rápido

Para comprender mejor como los conceptos de KAISEN e Innovación se diferencian y se complementan, podemos compararlos con una rampa y una escalera. La estrategia de Innovación se supone que genera avance en una progresión de escalera, según se describe en la figura 1.3:

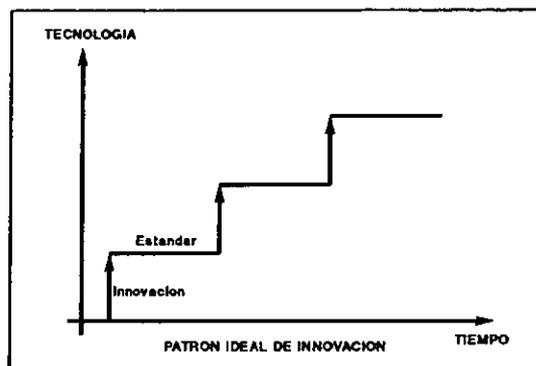


Figura 1.3

En esta gráfica, al presentarse una Innovación, tecnológica y/o administrativa en cualquier ámbito, esta permanece como standard hasta que se presenta otra Innovación en la misma área, elevándose por consiguiente el standard cada vez que aparece una nueva Innovación.

En la realidad, en vez de seguir el patrón de escalera mostrado en la figura anterior, el progreso real logrado a través de la Innovación, por lo general seguirá el patrón mostrado en la figura 1.4. Esto sucede porque un sistema, una vez que ha sido instalado como resultado de una Innovación nueva, está sujeto a un deterioro uniforme, a menos que se hagan esfuerzos continuos para mantenerlo y mejorarlo.

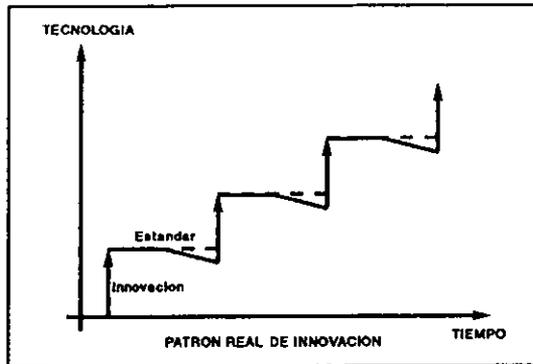


Figura 1.4

Quando a Inovação e KAISEN se unem, se obtiene el patrón mostrado en la figura 1.5. En este, al presentarse una Innovación, el standard establecido es mantenido y mejorado constantemente, como resultado del esfuerzo de todo el personal de la planta (Estrategia de KAISEN).

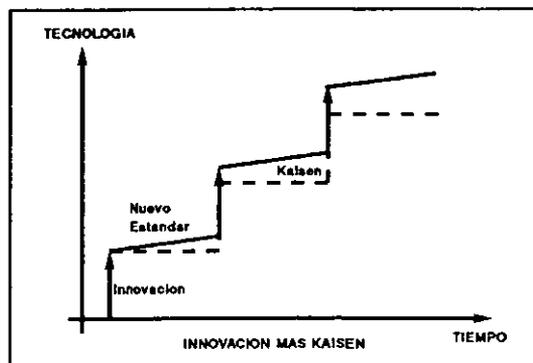


Figura 1.5

La ventaja de utilizar KAISEN, radica en que al mantener y mejorar gradualmente los estándares se logra un crecimiento gradual y sostenido, con una inversión de implementación mínima en relación a la inversión necesaria para implementar las últimas innovaciones tecnológicas; ya que con una estrategia de KAISEN es muy viable obtener mejoras en los procesos productivos. Lo cual se refleja en productos y servicios con más y mejor calidad.

Dado lo anterior podemos corroborar lo dicho anteriormente en la tabla comparativa entre KAISEN e Innovación: Que una estrategia de KAISEN es muy aplicable a economías de crecimiento lento, como México y América Latina; caracterizadas por procesos obsoletos, gran desperdicio de energía y materiales, sobrecapacidad y mercados estancados e inestables. Ya que la correcta implementación de una estrategia de KAISEN en cada compañía, disminuiría considerablemente estos problemas repercutiendo esto finalmente, en la economía de cada País.

#### 1.4 La Autonomización ó Jidohka:

La Autonomización o *Jidohka* es una palabra acuñada en un principio para describir una característica del sistema de producción Toyota, por el cual una máquina es diseñada para detenerse automáticamente siempre que se produzca una parte defectuosa.

Este término surge como resultado de una estrategia de KAISEN llevada a cabo en la planta Motomachi de Toyota por su administrador Taiichi Ohno al principio de los años setentas. En ese tiempo, nació la necesidad de desarrollar un sistema para fabricar pequeñas cantidades de muchas clases distintas de automóviles. Al mismo tiempo, Ohno estaba determinado a eliminar todas las formas de desperdicio. Para eso, clasificó el desperdicio incurrido en el proceso de producción en las siguientes categorías:

1. Sobreproducción.
2. Desperdicio del tiempo dedicado a la máquina.
3. Desperdicio involucrado en el transporte de unidades.
4. Desperdicio en el procesamiento.
5. Desperdicio en tomar el inventario.
6. Desperdicio en movimientos.
7. Desperdicio en la forma de unidades defectuosas.

Para eliminar el problema de desperdicio, Ohno ideó un sistema de producción en dos principales características estructurales: (1) El concepto de **Justo a Tiempo**, y (2) **Jidohka** ó Autonomización

El concepto de **Justo a tiempo** significa que el número exacto de las partes requeridas se lleva a cada etapa sucesiva de producción en el momento adecuado, teniendo como ventajas: la reducción de tiempos de entrega, reducción de tiempos dedicados a trabajos improductivos, inventarios reducidos, aclaración de problemas, etcétera.

En cuanto a la **Autonomización ó Jidohka**, se puede decir que es la característica estructural básica del sistema de producción de Toyota; en este sistema, cada vez que se produce un trabajo defectuoso, la máquina se detiene y todo el sistema deja de trabajar. Bajo este concepto, en una máquina, el trabajador no tiene que atender a la máquina cuando ésta está funcionando correctamente, sólo cuando se detiene; permitiendo que un trabajador se haga cargo de muchas máquinas a la vez, mejorando así su productividad. Este método también proporciona mayor flexibilidad en la disposición de las máquinas y procesos de producción.

Actualmente la **Autonomización** a evolucionado con ayuda de las estrategias de KAISEN utilizadas en los diferentes procesos industriales, hasta poder definirse en cuatro estadios ó principios básicos para su implementación en equipos industriales:

#### **1º Principio: Basic Selftest**

Auto-prueba nivel Básico, en este estadio el equipo cuenta con un sistema predeterminado de verificación funcional (standard interno) ó calibración el cual es ejecutado al encender la máquina, utilizando puntos donde se puede generar una descalibración. Obteniéndose únicamente una señal luminosa de advertencia en el punto de falla indicado.

## **2º Principio: Intermediate Selftest**

Auto-prueba nivel intermedio, en este estadio además del sistema de verificación funcional, se obtienen indicaciones luminosas del "Status" del equipo en un tablero central y en los puntos de falla además de una alarma sonora. Aquí el sistema es capaz de efectuar la Auto-prueba tantas veces como sea necesario durante la operación continua del equipo para verificar constantemente el funcionamiento del equipo.

## **3º Principio: Advanced Selftest**

Auto-prueba nivel avanzado, utiliza totalmente las bases del 2º principio, y además el equipo puede parar automáticamente su operación en caso de encontrarse fuera de las especificaciones dadas.

## **4º Principio: JIDOHKA**

Autonomización, en este estadio final, el equipo es capaz de autodetectarse fuera de especificaciones y así mismo, efectuar acciones correctivas para poder continuar operando dentro de estas especificaciones; es decir, el equipo se vuelve autónomo productivamente hablando.

Dentro de las ventajas de la Autonomización, podemos concluir que se gana control del equipo por medio de la eliminación de fallas comunes y facilita la elaboración de un historial de fallas, lo cual nos permite disminuir los tiempos muertos por mantenimiento y los desperdicios por la fabricación de productos fuera de especificación, además de elevar la productividad de cada trabajador, contribuyendo así a mejorar la calidad del producto final.

## C A P I T U L O   I I

### *Funcionamiento De Una Máquina Semi-Automática Armadora De Llantas*

#### 2.1 Generalidades:

La rueda fue inventada por los Sumerios hace 5000 años, y desde entonces se ha refinando y ramificando en varias aplicaciones; En Inglaterra, en 1846 R.W. Thomson obtuvo la patente de un "Aparato con cámara neumática" (Air Tube Device), lo que se considera el primer paso hacia la rueda neumática ó Llanta. Dicha invención permaneció sin uso hasta 1888, año en el cual comenzó a lograr una amplia aplicación.

Para mucha gente la llanta es una dona de hule, aunque actualmente una llanta es más que eso. Geométricamente, es un toroide (dona); Mecánicamente, es un recipiente a presión de membrana flexible; Estructuralmente hablando, es un compuesto de alto desempeño; Químicamente, una llanta consiste de materiales compuestos por cadenas de macromoléculas. Todas estas definiciones aunadas generan lo que conocemos como llanta ó neumático.

Por otro lado, hablando de las funciones básicas de una llanta, podemos decir que una llanta debe de:

- \* Tener capacidad para acarrear cargas
- \* Dar amortiguación y envoltura
- \* Transmitir el Torque de manejo y de frenado
- \* Resistir fuerzas anguladas (Cornering)
- \* Proveer estabilidad dimensional
- \* Resistir a la abrasión
- \* Proveer respuesta de manejo
- \* Tener baja resistencia al rodamiento
- \* Reducir al mínimo el ruido al rodar y las vibraciones del camino
- \* Ser durable y segura

## 2.2 Partes de una Llanta:

Como se puede observar en la figura, básicamente las partes de una llanta son tres:

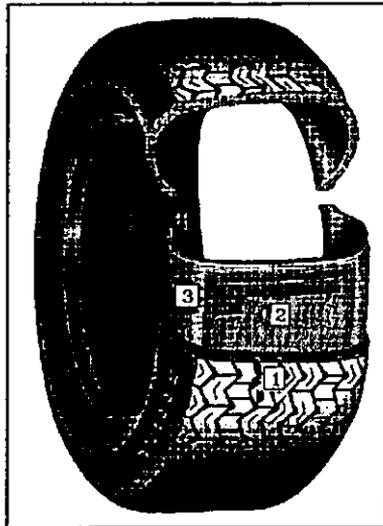


Figura 2.1

1. **Piso:** Es la parte con la cual la llanta entra en contacto con el pavimento, se compone de una mezcla especial de hules los cuales le dan características específicas de tracción, resistencia al rodamiento y resistencia a la abrasión, su dibujo también responde a diseños establecidos los cuales le dan a la llanta características especiales como son: nivel de ruido, frenado, aqua-planeo, curveo, tracción, etc...

2. **Cinturones de Acero:** Son capas circunferenciales hechas de un compuesto de hule y cuerdas de acero que dan rigidez a la banda de rodamiento, asegurando el contacto de la misma en las curvas, y a la vez mantienen su integridad al rodar a altas velocidades.
  
3. **Carcasa:** Funciona básicamente como el esqueleto de una llanta, se compone entre otras cosas por las capas textiles o de acero, que son la parte medular de una llanta y se encargan de mantener la forma de la llanta cuando esta es sometida a las diferentes fuerzas debidas al funcionamiento de la misma; las "Cejas", las cuales son aros formados por alambres de acero recubiertos de un compuesto de hule muy duro generalmente de forma cuadrada o hexagonal que proporcionan rigidez a la zona de montaje evitando así que la llanta se salga del rin correspondiente al rodar.

Básicamente y para usos prácticos existen dos tipos de llantas: Radiales y Convencionales; cada una de estas fabricadas para un uso determinado como son: Pasajeros, Camionetas, Camión, Tractor, etc...

### 2.3 Proceso de Fabricación de una Llanta:

La fabricación de una llanta, en forma general, consta de ocho procesos que son: mezclado, extrusión, fabricación de ceja, calandrado, corte, armado, vulcanización y pruebas; haciéndose notar que cada proceso tiene una importancia específica en el producto final.

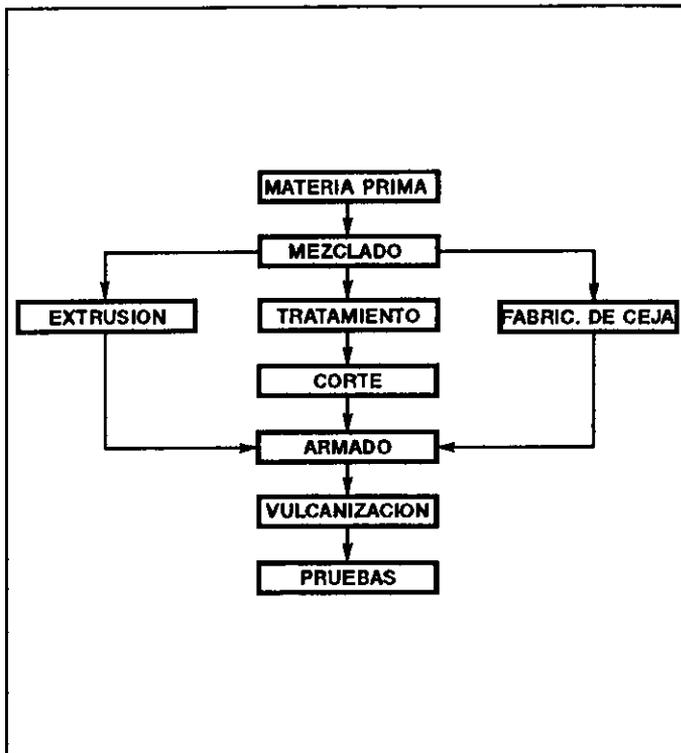


Figura 2.2 Fabricación de una Llanta

Por otro lado, las materias primas para su fabricación varían según el fabricante, pero de forma general son:

Hule natural

Hules sintéticos

Pigmentos

Aceites de proceso

Negro de humo

Resinas

Oxido de Zinc

Azufre

Alambre de acero

Cable de acero

Aceleradores

Antioxidantes

Acido Esteárico

### 2.3.1 Proceso de Mezclado:

En este proceso la materia prima es mezclada en "molinos de hule" ó en mezcladores internos tipo *Banbury*<sup>1</sup>. Al salir de estos mezcladores se agrega una solución anti-adherente, y posteriormente el hule se estiba en láminas continuas para su utilización en los demás procesos.

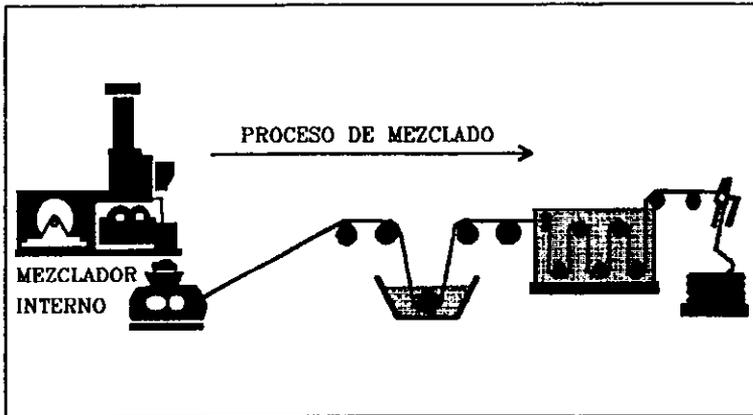


Figura 2.3

Cabe hacer notar el uso de mezcladoras tipo *Banbury*, las cuales son de grandes dimensiones, necesitándose un sistema de control automático para estos, en donde se controlan el peso de negro de humo y aceite así como el tiempo de mezclado, las temperaturas de mezclado etcétera.

---

<sup>1</sup> Marca Registrada

### 2.3.2 Proceso de Extrusión:

En este proceso se utilizan las láminas continuas de hule que salen de los molinos para formar por extrusión una tira continua de hule, la cual tiene un perfil ó contorno dado, con ella se obtienen las preformas de piso y costado.

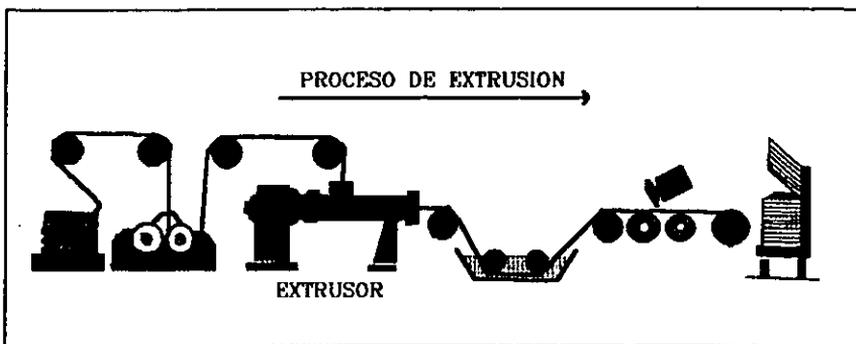


Figura 2.4

Básicamente el proceso se resume en los siguientes procedimientos:

- a) El hule laminado se hace pasar por un molino en el cual, por fricción, eleva la temperatura de este (hasta 90°C).
- b) Acto seguido se hace pasar por una extrusora en frío ó caliente (dependiendo del modelo de ésta), forzando el hule a través de una plantilla dándole un contorno de acuerdo al tipo de componente de la llanta en donde será usado.
- c) Después, dicho perfil es pasado por agua para ser enfriado.
- d) Finalmente es cortado para su almacenaje y distribución a los siguientes pasos de la producción.

### 2.3.3 Proceso de Fabricación de Cejas:

Como se mencionó anteriormente, la ceja de una llanta proporciona rigidez a la zona de montaje de una llanta, evitando así que ésta se salga del rin correspondiente.

Su proceso de fabricación puede explicarse a partir de la siguiente figura:



Figura 2.5

Se alimentan a una extrusora: el hule mezclado en los *Banburys*, y alambre de acero recubierto de Bronce<sup>2</sup>; de donde se obtiene una tira de alambre de acero recubierto de hule, que es utilizada en una máquina formadora en la cual se genera la ceja que es un aro consistente de varias vueltas de este alambre recubierto de hule; una vez formada la ceja es almacenada y distribuida a las máquinas armadoras de llantas.

<sup>2</sup> Este recubrimiento de Bronce se utiliza para asegurar la adhesión entre el hule y el alambre de acero

### 2.3.4 Proceso de Calandrado:

En este proceso, se recubren con un compuesto de hule, cuerdas y tejidos de polyester ó nylon; para formar algunos de los tratamientos que conforman la carcasa de una llanta.

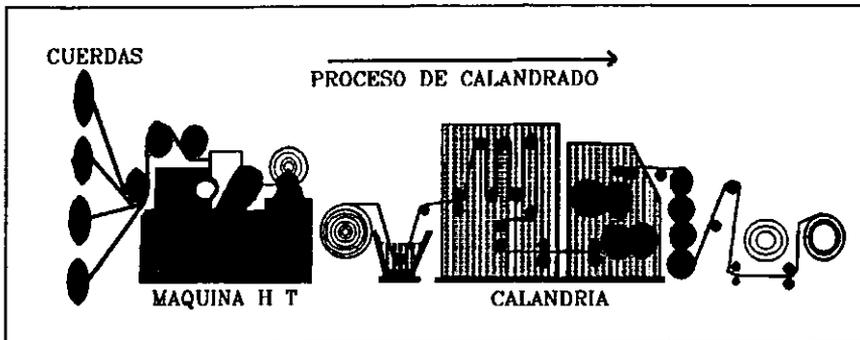


Figura 2.6

En este proceso se utilizan cuerdas de polyester ó nylon que se entrelazan formando una trama o tejido, que se alimenta a una máquina cementadora en donde se le da un tratamiento de tensión, temperatura y tiempo (20 Tons., 140°C, y 60 seg. de residencia típicos). Con esto se obtiene que el tejido no se deforme con el calor al fabricar la llanta. Después, dicho tejido es impregnado de un cemento especial cuya finalidad es la de favorecer la adhesión entre la cuerda y el hule. Posteriormente se alimenta a una calandria en donde, se recubre con una lámina de hule de aproximadamente 1.5mm de grosor formando lo que se llama un Tratamiento, que finalmente es cortado en tramos angulados para ser posteriormente unido con otros formando lo que se conoce como la capa, que mas adelante se usará en el armado de la carcasa.

### 2.3.5 Proceso de Cortado:

Aquí como su nombre lo indica, son cortados los tratamientos (tejido de polyester ó nylon recubierto de hule) y los cinturones de acero; en cuanto a las capas estas son armadas en el proceso de tratamientos visto anteriormente.

En el caso de los cinturones de acero, estos son fabricados utilizando una máquina denominada *Steelastic*, en la cual se hace pasar cable de acero latonado por una extrusora de hule, teniendo como resultado una tira de cables de acero embebidas en el hule extruido, la tira formada es posteriormente cortada en ángulo y armada en lo que es llamado el cinturón de acero o "Breaker".

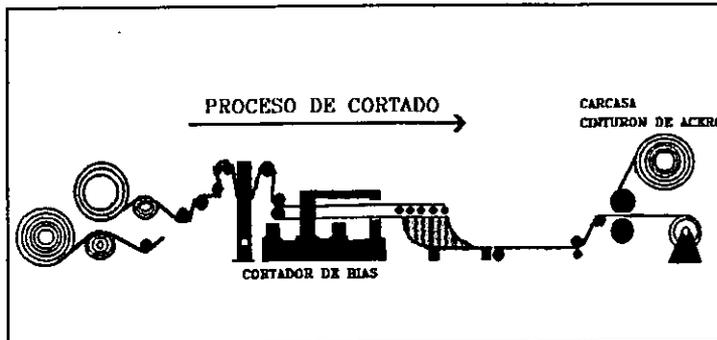


Figura 2.7

### 2.3.6 Proceso de Fabricación:

Este proceso consta de 2 etapas, en la primera se arma la carcasa utilizando: capas, cejas, costado, y cojines esto es, el armazón de la llanta.

En la siguiente etapa, se utiliza la carcasa, a la cual se le incorporan los cinturones de acero y lo que será el piso de la llanta. Con esto la llanta queda lista para ser vulcanizada y probada.

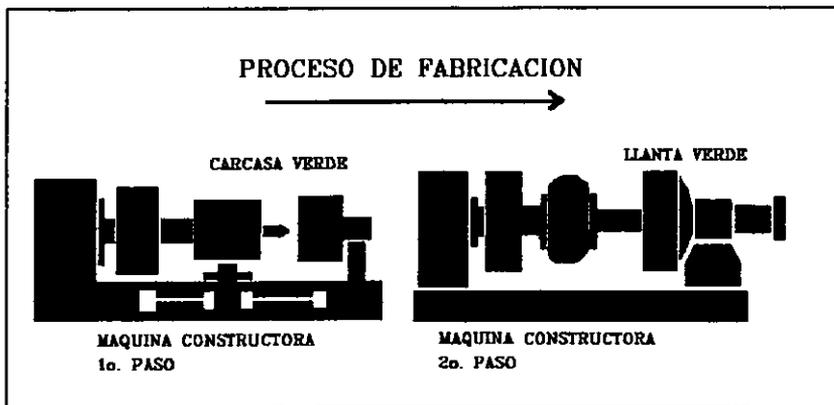


Figura 2.8

### 2.3.7 Proceso de Vulcanización:

Aquí la llanta cruda es introducida en las prensas de vulcanización en donde, por temperatura y presión adquiere su forma y apariencia final.

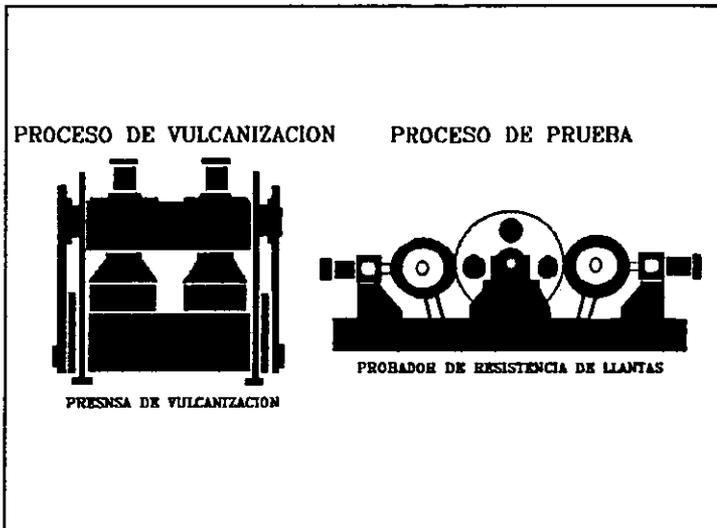


Figura 2.9

### 2.3.8 Terminado e Inspección Final:

Una vez vulcanizada la llanta, se pasa al proceso de terminado en donde se corta el "Trim" ó sobreflujo, y se inspecciona visualmente para detectar posibles defectos en la fabricación. Posteriormente las llantas pasan a una máquina de variación de fuerza en donde se analizan sus propiedades de uniformidad, como son balanceo, excentricidad, primera armónica, conicidad y ondulación; para luego ser remitidas al almacén como producto terminado.

### 2.4 Funcionamiento General de una Máquina Armadora de Llantas:

Todos los componentes de una llanta, Calandrados y cortados (carcasa y cinturón ó breaker), y extruidos (piso, costado, cejas, etc.); son ensamblados en una máquina constructora de llantas, cuyo producto es la llanta "verde" ó sin vulcanizar como se denomina en el Argot hulero.

Básicamente existen dos tipos de armado de acuerdo a los tipos de llantas que se mencionaron anteriormente (Convencional y Radial), esto es debido a las especificaciones de diseño, ya que la llanta convencional tiene una disposición de capas diferente de la llanta radial como se puede ver en la siguiente figura:

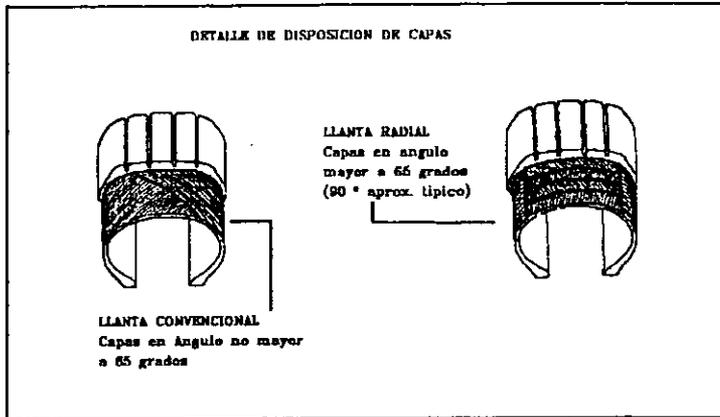


Figura 2.10

Este ángulo de colocación de las capas tiende a variar o a hacerse mas cerrado debido a los procesos de formado subsecuentes como en la fabricación y la vulcanización (ver figura 11), y es tomado muy en cuenta al diseñar una llanta ya que de este proceso depende en parte la uniformidad del producto final.

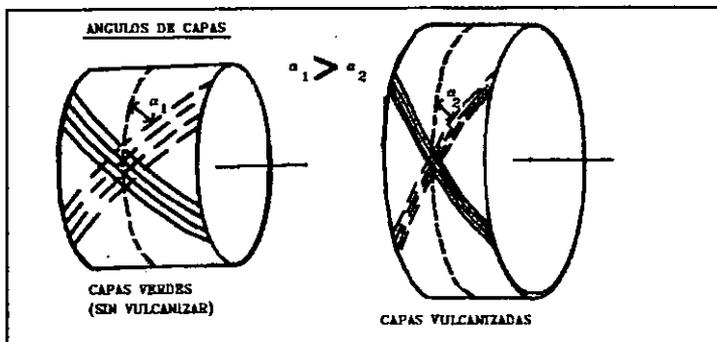


Figura 2.11

Las llantas con capas en ángulos de hasta 65° son armadas en un tambor plano, como parte de un proceso de un solo paso. Por arriba de este ángulo (para llantas radiales) se hace necesario un proceso de 2 pasos, esto es porque las cuerdas en la carcasa deben quedar a un ángulo aproximado de 90° (ver figura 11) por diseño ya que de lo contrario se genera un efecto "Pantográfico" que afecta la calidad de la llanta y por otro lado el cinturón ó breaker no puede crecer radialmente.

#### 2.4.1 Armado de una llanta convencional:

Básicamente la construcción de una llanta convencional consta de la aplicación de las Capas (láminas de hule delgado) y otros componentes dentro de una forma cilíndrica, como se muestra a continuación:

1. El proceso comienza con la aplicación de una capa delgada de un compuesto especial de hule llamado Inner Liner ó Cojín sobre un tambor giratorio.
2. Seguidamente las Capas son colocadas en el tambor, una a la vez.
3. Entonces las cejas son colocadas en posición junto con las cuñas de ceja ó apex.

4. Luego los bordes de las capas son dobladas alrededor de las cejas y el apex. Los cinturones de acero ó breakers si se van a usar, son aplicados inmediatamente después.

Finalmente, se agregan el piso y los costados, el tambor se colapsa y la llanta "Verde" es retirada de la máquina para pasar al proceso de vulcanización.

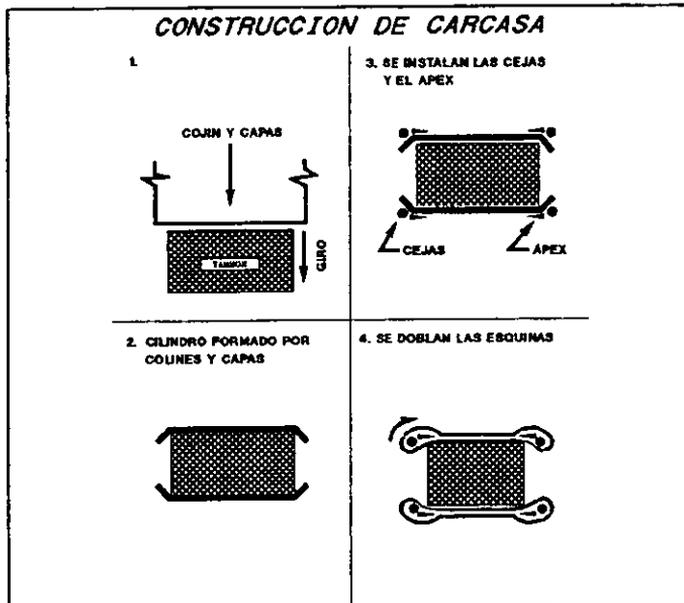


Figura 2.12

#### 2.4.2 Armado de una llanta Radial:

Como se menciona anteriormente la fabricación de llanta radial consta de dos etapas las cuales se describen a continuación:

**Primera etapa: Construcción de carcasa.**

Basándonos en la figura anterior el procedimiento para la construcción de la carcasa consta de los siguientes pasos:

1. Se aplican primeramente dos capas de cojín de hule sobre el tambor en posición plana.
2. Sobre este cojín se colocan de una a cuatro capas (típicamente dos) de cuerdas cortadas a un ángulo cercano a los 90 grados aplicando una capa a la vez. En este momento el segmento central del tambor se expande entrando los arillos centradores de las cejas, dejándolas colocadas en su posición.
3. Una vez terminado esto se aplica la tira extruida de Apex o Cuña de ceja.
4. En este momento se hace el doblado de las capas sobre la ceja y el apex auxiliados con el "Blader" o bolsa de volteo que es parte de la máquina.

5. Una vez hecho este volteo, con lo que queda anclada la ceja, se aplican las tiras de hule que constituirán el costado de la llanta.
6. Finalmente se colapsa la parte central de tambor y se retira la llanta para pasar a la segunda etapa.

Cabe hacer notar que entre cada paso las piezas son asentadas mediante rodillos de acción automática.

#### **Segunda etapa: Armado final.**

Basándonos en la figura 2.13 explicaremos el armado final de una llanta radial, aclarando, que dicha explicación se fundamenta en el funcionamiento de una máquina armadora tipo R-3 la cual tiene la capacidad de construir su propio cinturón de acero o breaker integrado a la operación y es usada en el desarrollo del presente proyecto; por lo que existen variaciones en el armado en comparación con otras máquinas:

#### **Paso 1:**

1. Construcción del paquete de Breaker y piso. En un tambor giratorio denominado "Tambor de breaker" se alimentan dos breakers en forma opuesta, luego este tambor se desplaza lateralmente a una segunda posición y recibe la tira extruida de compuesto de piso.

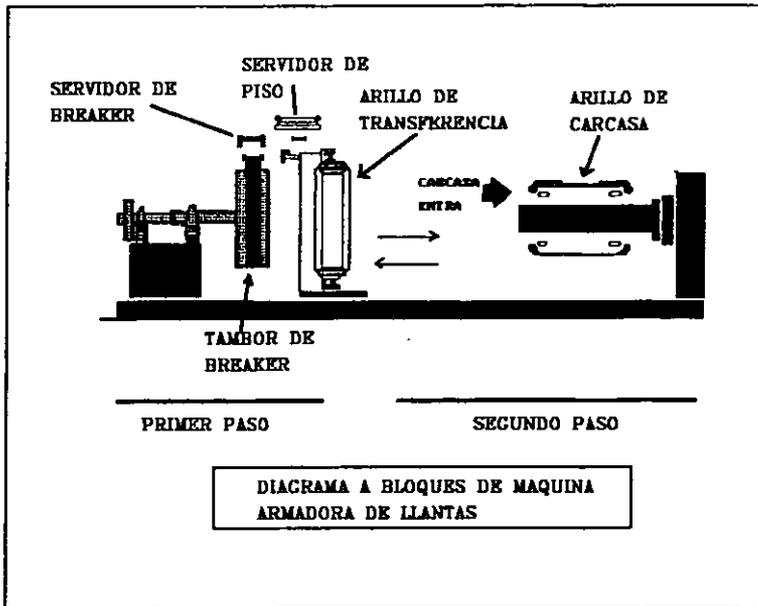


Figura 2.13

2. Luego entra el arillo de transferencia y toma este paquete de breakers y piso y lo transfiere a los arillos de sujeción.
  
3. Mientras tanto, el operario coloca la carcasa pre-armada en los arillos de sujeción, los cuales se encuentran en posición plana para facilitar su colocación. Una vez colocada la carcasa esta se contrae y se "infla" como muestra la figura 2.14.

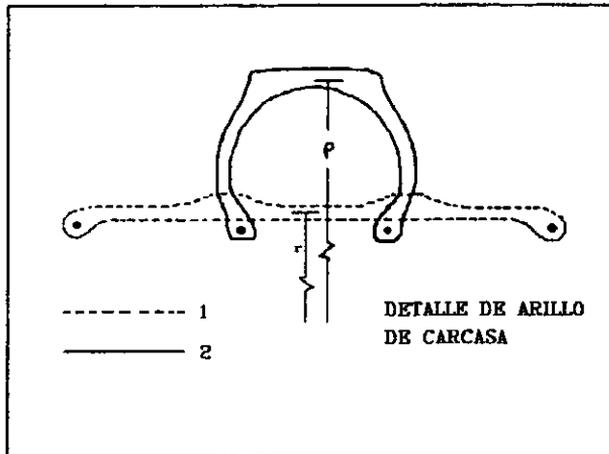


Figura 2.14

**Paso 2:**

1. Aquí el arillo de transferencia se posiciona sobre los arillos de sujeción de la carcasa, la cual contiene ya el paquete de carcasa instalado por el operador en el paso anterior; y deposita el paquete de breaker y piso, y se asienta todo con rodillos automáticamente.
2. Ya que se asentaron la carcasa y el paquete de breaker y piso, los arillos de sujeción se colapsan y la llanta "Verde" o cruda se retira de la máquina estando lista para pasar a la etapa de vulcanización.

En la siguiente figura se muestra el aspecto de las llantas convencional y radial "Verdes" tal como salen de las máquinas armadoras.

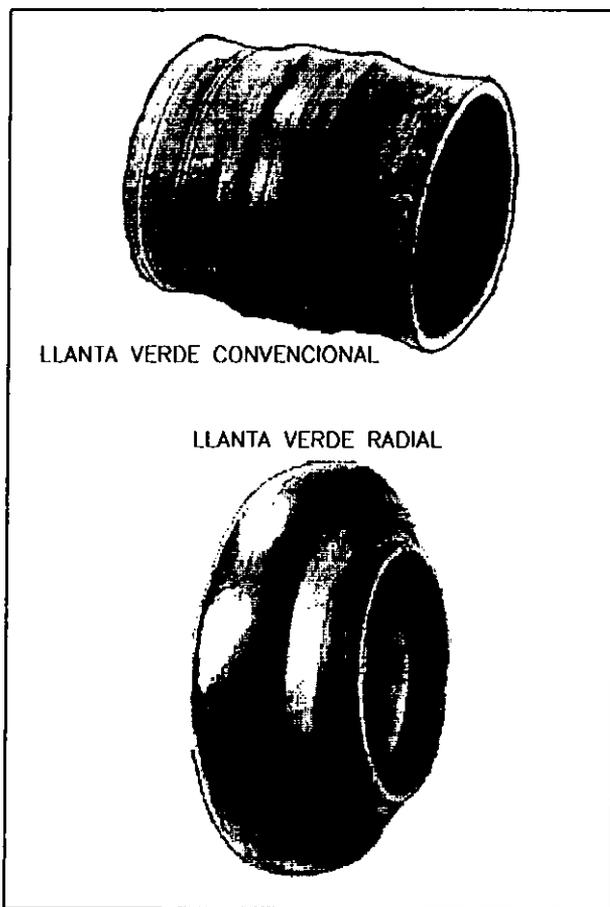


Figura 2.15

## 2.5 Importancia del Armado:

Como se puede observar en los párrafos anteriores, el armado de una llanta presenta características especiales ya que varía de acuerdo al fabricante de la máquina en sí, y a las modificaciones que se hacen en la planta por parte del propietario para mejorar y/o ampliar las especificaciones de la máquina.

Desde el punto de vista de las modificaciones hechas en la planta estas son de gran importancia puesto que son las encargadas de generar las diferencias del producto con respecto a otros fabricantes, haciendo así no solo una competencia de precios sino también una competencia tecnológica en la que los avances científicos y las Teorías de Calidad juegan un rol determinante en la fabricación de una llanta competitiva en el mercado.

Básicamente, algunos de los problemas que se generan por un mal armado en una llanta son:

- \* Conicidad: Cuando la llanta terminada tiene una forma ligeramente cónica ó trapezoidal.
  
- \* Desbalanceo estático: la llanta esta desbalanceada desde un punto de vista estático.

- \* Ampollas: Provocadas por burbujas de aire atrapadas entre los compuestos de hule.
  
- \* Desbalanceo dinámico: cuando la llanta presenta problemas debidos a la primer armónica.

Cabe hacer notar que los compuestos de hule que conforman las partes de un llanta están también sujetos a los avances tecnológico y forman parte de la diferenciación de productos dentro del mismo ramo hulero.

## 2.6 Planteamiento del proyecto y validación económica:

### **Planteamiento del Proyecto**

Como se trato en el párrafo anterior los principales problemas que se presentan durante el armado de una llanta, son debidos en gran medida a:

- a) Problemas Químicos en los compuestos
  
- b) Problemas de la Máquina armadora: Alineación, desgaste, mala operación, descuidos, descomposturas, etcétera.

Los cuales, en su mayoría, han sido estudiados y corregidos con el paso del tiempo ayudándose de las teorías de Control de Calidad y las estrategias de KAISEN; que en el caso de la planta estudiada, han dado resultados muy satisfactorios a corto y mediano plazo en cuanto al control de todo el proceso de fabricación de una llanta.

A mediados de 1992, surge en la corporación estudiada una propuesta internacional para mejorar y actualizar los sistemas de Set-up ó verificación de ajustes de posición que se tenían en las máquinas semi-automáticas armadoras de llantas de las diferentes plantas. Ya que al encontrarse discrepancias en la verificación del Set-up, el operador generaba reportes para reparación, mantenimiento y alineación de cada máquina; los cuales llegaban al encargado de producción en turno de forma tardía teniendo como consecuencia: la pérdida de tiempo de máquina, de horas hombre y producción para atender la contingencia.

Por lo que se propuso la creación de un sistema que creciera conforme se ganaba control sobre estas contingencias basándose en los principios de **Autonomización** y KAISEN. Este sistema, en un principio solamente evaluaría la alineación de la máquina, e iría evolucionando conforme se avanzaba en los principios de **Autonomización**. Una vez definido el objetivo se comenzó a trabajar sobre las siguientes etapas:

- Etapa 1.** Verificar en cada movimiento de la máquina su alineación en determinados puntos, y en el caso de presentarse alguna contingencia, indicar localmente el punto donde se localiza el problema mediante monumentos electrónicos y Láser.
- Etapa 2.** El sistema no solo indica visualmente en el lugar del problema sino que, existe además un panel de control en donde el operario puede consultar al mismo tiempo todos los monumentos y su estado.
- Etapa 3.** El sistema además de señalar visualmente en el lugar y en el panel de control, emite una señal sonora y luminosa que puede ser detectada por el encargado de producción desde cualquier lugar en el área de armado; por otro lado el sistema tiene la opción de desactivar la máquina parcialmente hasta que el encargado de la producción atienda el problema desactivando él mismo la alarma, para así poder realizar las correcciones necesarias.
- Etapa 4.** El sistema, al detectar un problema de alineación es capaz de corregirlo automáticamente mediante actuadores especiales y una rutina de auto-calibración, sin la intervención del operario y el encargado de producción.

## **Validación Económica**

Una vez definido el objetivo y las etapas a seguir en el proyecto, es necesario concientizarse de que el aspecto económico es definitivo para su realización.

Este caso no podía ser la excepción; solo que por políticas de la corporación estudiada no fue permitido hacer un análisis económico con datos y resultados específicos; esto es debido a que un estudio de esta índole muestra datos confidenciales que pueden afectar la situación de esta corporación en el mercado.

Se presenta en su lugar una comparación de la situación "Antes y Después"; recalcando que anteriormente se definieron los alcances y limitantes del proyecto el cual llegó a cubrir las expectativas hasta un 90% de lo esperado. Dicha comparación se presenta a continuación:

## **ANTES**

### **Set-up:**

Se hacían 3 chequeos diarios de la alineación de la máquina (uno por turno), los cuales consumían en total 45 min.

### **Detección de Errores:**

Los problemas de conicidad, ampollas, desbalanceo estático, etc.... Eran detectados hasta que la llanta era terminada, con un tiempo de retraso (desde que se produce hasta que se detecta) de 2 a 8 horas, pudiendo ocasionar una gran cantidad de desechos.

### **Situación de Operador:**

Prácticamente el operador se encontraba ciego respecto a las condiciones de la máquina.

## **DESPUES**

### **Set-up:**

Se verifica la alineación en cada ciclo de construcción, con un retraso de máquina de 0 min.; esto es, se checa sola sin modificar el ciclo de producción.

### **Detección de Errores:**

Actualmente los errores se reportan instantáneamente.

### **Situación del operador:**

El operador conoce en cada punto las condiciones de la máquina.

Como se puede observar en el cuadro anterior el ahorro en tiempo de máquina, mano de obra, disminución de desperdicios, etcétera; es considerable, tomando en cuenta que una máquina armadora de llantas tipo R-3 como la analizada, produce una llanta cada 60 segundos , y se trabaja en la planta 24 Hrs., se tiene una mejora por máquina diaria del 3.225 %; en otras palabras, la producción de llantas por máquina aumenta 45 unidades diarias, 270 a la semana o 1080 al mes.

Por otro lado, hay que tomar en cuenta que los gastos que tiene la compañía estudiada debidos a desperdicios (en energía eléctrica, servicios, tiempo de máquina, tiempo de operador, materia prima, producto defectuoso, etcétera) disminuyen considerablemente ya que al producirse un producto defectuoso, se interrumpe la energía y los servicios, el operador no pierde tiempo en localizar la falla y el desperdicio de materia prima es mínimo; evitándose así problemas y gastos extras que pudiesen presentarse, como consecuencia de un mal armado, en etapas posteriores del proceso de fabricación de una llanta.

<sup>3</sup> Anteriormente, en el mejor de los casos y tomando el tiempo de Set-up, una máquina producía diariamente 1,395 unidades. Actualmente la misma máquina produce 1,440 unidades por día.

*Lasers y Fotosensores*

3.1 EL LASER:

3.1.1 Generalidades:

Desde la aparición del Laser en 1963, se han venido generando muchos cambios en nuestras vidas, desde las máquinas registradoras en los supermercados hasta los proyectos militares *Star Wars* desarrollados por los Estados Unidos; muy pocos desarrollos científicos han tenido tanto impacto tecnológico en un lapso de tiempo tan relativamente corto.

La palabra Laser es un acrónimo del Inglés *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* que en español significa: "Amplificación de luz por medio de emisión estimulada de Radiación". Los Lasers son usados en un gran número de aplicaciones de entre la cuales podemos mencionar:

Miras Laser p/armas	Apuntadores
Impresoras	Niveles p/construcción
Reproducción de CDs	Lectores de código de Barras
Espectáculos c/Laser	Holografía
Sistemas de comunicación	Escalpelos Laser
Giroscopios de Avión	Radar óptico
Medición e inspección	Pruebas ópticas de componentes
Reproducción de CD-ROM	Química analítica
Alineación	Sistemas de seguridad
Armas Laser	Física Atómica
Espectroscopía	Etcétera.

Uno de los Lasers más usado es el de gas Helio-Neón, con un haz de color rojo intenso, ha sido el caballo de batalla por varios años, sin importar lo frágil que resulta el tubo de vidrio que contiene el gas y las costosas fuentes de alimentación que requiere.

Afortunadamente con el desarrollo de los diodos Laser, estos comienzan a ganar terreno y prometen abrir todo un nuevo mundo de aplicaciones comerciales y militares; gracias su tamaño reducido, bajo costo, buen haz, etc...

### 3.1.2 Nota Histórica:

- 1916                    Albert Einstein sienta las bases de la teoría Laser.
- 1955                    Surge el concepto del Laser debido a Charles H. Townes, físico de los laboratorios Bell.
- 1958                    Charles H. Townes, James P. Gordon y Herbert Zeiger; construyen el antecesor del Laser, el denominado Maser (Acrónimo de Microwave amplification of stimulated emission of radiation) que emitía radiación en la región de las micro-ondas.
- 1957                    Charles H. Townes y Arthur Schawlow, conciben la idea del Maser óptico, un aparato similar a su predecesor, con la diferencia de que este emitiría radiación visible ó cercana al infrarrojo.
- 1960                    Theodore Maiman, desarrolla un Laser en base a Rubí.
- 1961                    Ali Javan, William R. Bennet, y el Dr. R. Herriott de los laboratorios Bell, desarrollan un Laser por descarga de gas.

- 1962 Un grupo de investigadores incluyendo el MIT, IBM y GE desarrollan los primeros Laser de semiconductor; los cuales requerían ser enfriados con nitrógeno líquido (-196°C).
- 80's Surgen los Lasers de semiconductor que emitían radiación en rangos infrarrojos y visible a una temperatura cercana a la ambiente.
- 1993 IBM anuncia la pronta comercialización de un Laser azul, más eficiente, visible y que puede realizar tareas mas delicadas que los que usan luz roja.
- 1994 Sandia National Laboratories, anuncia el desarrollo de un Laser de semiconductor denominado VCSEL (acrónimo de Vertical Cavity Surface Emitting Laser), que puede ser alimentado con C.A. y emite en el rango de 639-661 nm (rojo brillante).

### 3.1.3 Definición y Descripción del Laser:

Desde un punto de vista práctico, un Laser puede ser considerado como una fuente de luz monocromática muy estrecha y coherente, en las partes visible, infrarroja, o ultravioleta del espectro electromagnético.

La potencia en un haz continuo puede variar en rango desde una fracción de miliwatt hasta cerca de los 20 kilowatts en Lasers comerciales, y hasta mas de un megawatt en Lasers de uso militar.

Los Lasers alimentados de forma pulsada pueden generar mucho más potencia pico durante un pulso, aunque los niveles promedio de potencia (incluyendo los intervalos en los que el Laser permanece encendido y apagado) son comparables a los de los alimentados de forma continua.

El Rango de estos aparatos es amplio. El medio Laser (o material emisor del haz ó rayo Laser) puede ser un gas, un líquido, un vidrio, un sólido cristalino, ó un cristal de semiconductor. El tamaño puede variar desde un grano de sal, hasta un edificio mediano. Y no todos los Lasers producen un haz de luz monocromática y coherente; por ejemplo, los Laser de semiconductor producen rayos que con la distancia se hacen difusos en ángulos de 20 a 40 grados, difícilmente un rayo muy estrecho. Los Lasers de tinte líquido emiten en un rango de longitud de onda muy amplio o muy estrecho dependiendo de la óptica usada en ellos. Otros tipos emiten a un número de líneas espectrales, produciendo una luz que no es verdaderamente monocromática ni coherente.

Existen varias características generales que son comunes a la mayoría de los Lasers; como son:

**La eficiencia:** Como toda fuente de luz, los Lasers son ineficientes convirtiendo la energía aplicada en luz, estas ineficiencias varían desde 0.01% hasta 20%. Debido a esto, a veces es necesario recurrir a técnicas de enfriamiento especiales y limitaciones en el ciclo de trabajo, particularmente en Lasers de alta potencia.

**Modos de Operación:** Las características operacionales de cada Laser en particular dependen en gran medida de sus componentes estructurales, como son la cavidad óptica y la fuente de alimentación.

**Uso y Empaquetado:** Existe una amplia variedad de empaquetados acordes con los usos, ampliando así el rango de aplicaciones de un determinado tipo de Laser.

### 3.1.4 Principios de Funcionamiento:

Cuando se enciende un foco, la energía luminosa es emitida en lo que se conoce como forma espontánea. Es una integración de varios cambios de nivel de energía atómicos, cada uno produciendo su propio Fotón de luz, teniendo cada Fotón una fase en particular.

En el caso de un foco, la energía eléctrica "Bombea" los electrones del filamento a un nivel atómico de energía mas alto que el normal. Los Fotones son emitidos cuando los electrones "Bombeados" regresan a su estado de energía original y regresan la energía aplicada en forma de luz.

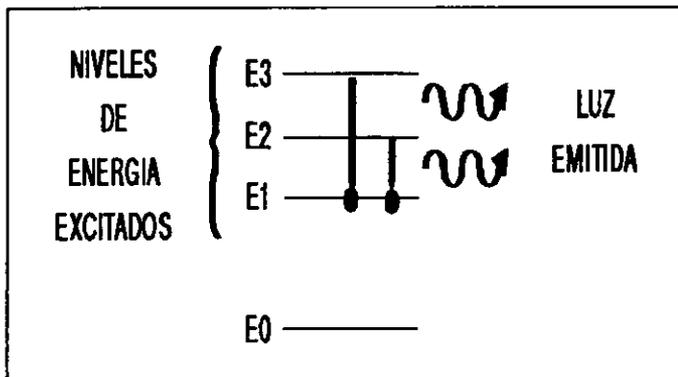


Figura 3.1

La frecuencia de la luz emitida depende de la diferencia de niveles de energía antes y después de la excitación; a mayor diferencia en los niveles de energía mencionados, menor será la longitud de onda de la luz emitida. La luz producida mediante el proceso de emisión espontánea es incoherente o aleatoria.

A diferencia de la emisión espontánea, la luz Laser es altamente direccional, la energía radiante es liberada en fase, o en sincronía, resultando una luz coherente donde todas las ondas están en fase. En otras palabras, todos los rayos son paralelos y tienen la misma longitud de onda. Para lograr esto se necesita que el número de átomos excitados en el nivel más alto de energía exceda al número de los del nivel inicial o el resto de los estados.

A esta condición se le conoce como "Inversión de Población", que normalmente no ocurre en la naturaleza sino que tiene que ser forzada o "Bombeada".

Dada una "Inversión de Población", cada átomo energizado es entonces estimulado a regresar a su nivel más bajo de energía por la emisión de energía, o la luz incidente de un átomo adyacente, dando como resultado ondas de luz coherentes (ver Fig. 3.2).

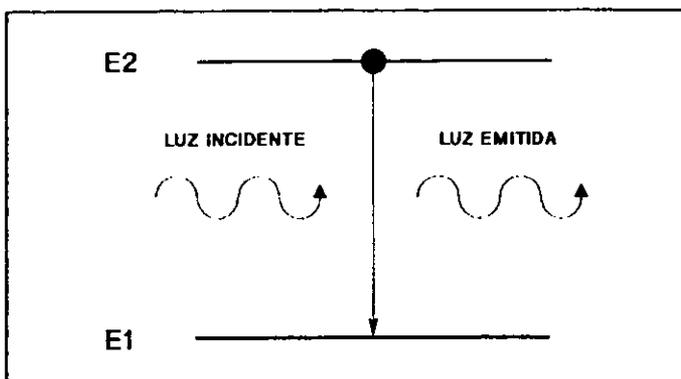


Figura 3.2

Para proveer la cantidad correcta de energía estimulada para emitir luz Laser, es necesaria una cavidad óptica con espejos en las esquinas. Como se muestra en la figura No. 3.3, la luz es reflejada una y otra vez dentro de la cavidad hasta que se convierte en un haz lo suficientemente potente para ser usado como luz Laser.

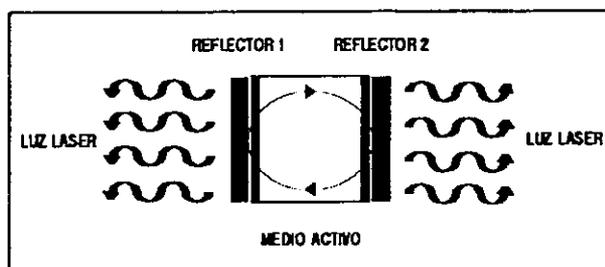


Figura 3.3

### 3.1.5 Partes de un Laser:

Básicamente un Laser se compone de los siguientes componentes:

- \* *Fuente de Alimentación:* Todos los Lasers utilizan una fuente de alimentación eléctrica que puede llegar a ser de hasta 10,000 volts y drenar una corriente de varios cientos de amperes.
  
- \* *Aparato de "Bombeo":* Algunos Lasers que funcionan por medio de descargas eléctricas utilizan el alto voltaje producido por sus propias fuentes de alimentación como aparato de "Bombeo". Por otro lado, otros Lasers utilizan un oscilador de alta frecuencia, una lámpara o flash de alto voltaje, o incluso otro Laser.
  
- \* *Medio Laser:* El Medio Laser es el material que genera la luz Laser, este puede ser un gas, un sólido ó un líquido. Existen cientos de Medios Laser para obtener luz Laser incluyendo vidrios especialmente tratados, Argón, tintes orgánicos o hasta gel.
  
- \* *Cavidad de resonancia óptica:* Esta cavidad confina al Medio Laser y se caracteriza por tener espejos colocados en cada esquina. En muchos Lasers un espejo es completamente reflectivo y el otro es parcialmente reflectivo.

### 3.1.6 Tipos de Laser:

Los tres estados de la materia (sólido, líquido o gaseosos) presentan una manera muy conveniente de clasificar Lasers, sin embargo es un poco general, y no observa detalles en el diseño y la aplicación de varios Medios Laser. Mientras que la lista de Medios Laser es extensa, muchos Lasers de uso comercial, militar y científico pueden agruparse dentro de las siguientes categorías:

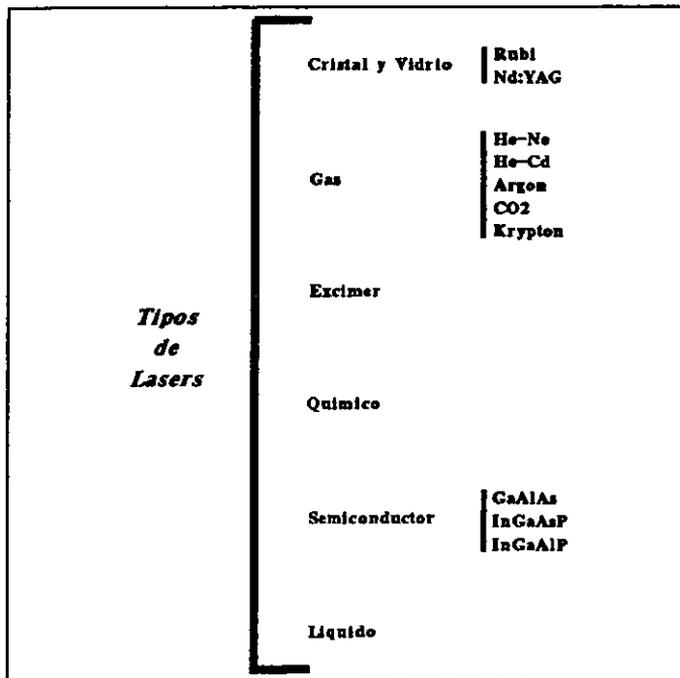


Figura 3.4

## A) Lasers de Cristal y Vidrio:

Como se observó desde un principio, el rubí sintético es la base para fabricar un Laser de buena calidad. Este rubí es hecho con óxido de aluminio dopado con una pequeña cantidad de cromo; aquí podemos preguntarnos, ¿por que no usar un rubí natural?, la respuesta es que un rubí de laboratorio es mucho más puro que uno natural, y en esta pureza radica la calidad del Medio Laser.

Otro cristal comúnmente usado es el Nd:YAG, compuesto primariamente de aluminio, ytrio, y oxígeno, dopados con átomos de neodimio. El nombre YAG es un acrónimo del inglés *Yttrium-Aluminium Garnet*<sup>1</sup>, granate sintético algunas veces usado en joyería. El Nd:YAG es similar al rubí sintético en cuanto a que este también hospeda átomos de neodimio; estos átomos son excitados a altos niveles de energía usando un "bombeo" óptico y emitiendo luz en la región infrarroja.

El Laser de Nd:YAG puede ser operado de forma continua ya que este cristal es buen conductor del calor; a diferencia del de rubí sintético que es un pobre conductor del calor y puede explotar si el Laser es operado en forma continua.

---

<sup>1</sup> Granate de Ytrio-Aluminio

## B) Lasers de Gas:

Los Lasers de gas representan el más amplio grupo de estos. Su popularidad radica en lo barato de sus componentes y su relativa facilidad de fabricación.

Algunos de los gases más usados son:

Helio-neón

Helio-cadmio

Argón

Dióxido de Carbono

Krypton

Actualmente se sabe de varios tipos de Lasers experimentales hechos con mezclas de varios gases.

El más ampliamente usado es el Laser de Helio-neón que se encuentra comúnmente en sistemas lectores de código de barras, en sistemas de Holografía, sistemas de reconocimiento, y experimentos de laboratorio. En su mayoría estos Lasers emiten en una luz color rojo intenso y su potencia de salida es limitada a unos cuantos miliwatts.

Otro gas muy usado es el de CO<sub>2</sub>, catalogado dentro de los más potentes.

Ya sea operando de modo continuo o pulsado, un Laser de CO<sub>2</sub> puede producir un rayo tan intenso que puede cortar casi cualquier metal; actualmente estos Lasers contienen una mezcla de dióxido de carbono, nitrógeno y helio que es continuamente bombeado a través del tubo del Laser; además, dada su potencia es necesario proveerlos de sistemas de enfriamiento para evitar sobrecalentamientos.

### C) Lasers de Excimer (Excimer Laser):

En estos Lasers un gas raro como el argón, el kriptón o el xenón reacciona eléctricamente con un halógeno (Cloro, flúor, yodo, ó bromo) para formar un excimer<sup>2</sup>. Cuando una molécula excimer emite un fotón, esta no regresa a su estado mas bajo, sino que se fragmenta en átomos constitutivos. Este fenómeno provee la inversión de población necesaria para que la emisión Laser ocurra.

El principal beneficio de los Laser de excimer es su habilidad para emitir luz ultravioleta de gran intensidad, pues esta es utilizada en la fotoquímica y en la fabricación de transistores y circuitos integrados. En comparación, la mayoría de los Lasers emiten radiaciones más fuertes dentro del espectro electromagnético visible e infrarrojo.

---

<sup>2</sup> Un Excimer, es una molécula que existe solamente en un estado de excitación eléctrico

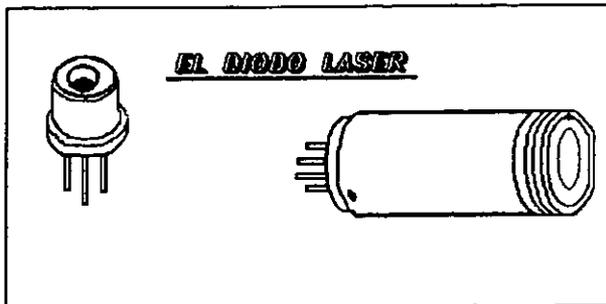
#### **D) Lasers Químicos:**

Estos Lasers son usados como armas mucho muy potentes en contra de aeronaves y misiles enemigos dentro de la milicia. En un Laser químico típico, una mezcla flamable de hidrógeno y flúor (o compuestos de estos) actúa como medio Laser; estos químicos son presurizados y, algunas veces, encendidos por una flama para iniciar la emisión de luz Laser. Obviamente estos Lasers son para uso militar exclusivamente.

#### **E) Lasers de Semiconductor:**

Este tipo de Lasers ha comenzado a ganar aplicaciones frente a otros tipos de Lasers debido a su tamaño y fácil manejo; los podemos encontrar en lectores de discos compactos y video-discos, como eslabones en redes de fibras ópticas, lectores de código de barras, miras Laser para la industria militar, etc...

Existe un gran número de diseños de diodos Laser, cada uno con variaciones significantes en su operación y desempeño.



**Figura 3.5**

Un diodo Laser es similar a un diodo emisor de luz (LED) en cuanto a que ambos se componen de una unión de semiconductores P y N. En dicha unión, un potencial eléctrico causa un flujo de huecos y electrones, que por recombinación, emite luz. El LED produce luz espontánea, mientras que el diodo Laser emite luz por emisión estimulada.

Como otros Lasers, el diodo Laser también contiene dos espejos reflectivos que forman lo que es llamado "cavidad de Fabry Perot", esta permite que la luz emitida sea altamente direccional, que es una propiedad muy importante de los Lasers.

Contrariamente a su resistente apariencia física, los diodos Laser son altamente sensitivos a los cambios de temperatura, a los transitorios eléctricos, y a sus parámetros de operación eléctricos; no obstante pueden ser operados de forma continua o pulsada.

## F) Lasers de Líquidos (Dye Laser):

Estos Lasers utilizan tinturas de moléculas orgánicas como medio Laser. La tintura es hecha fluir a través de una cavidad y es "Bombeada" por una fuente óptica, como el Laser de CO<sub>2</sub>. Su característica principal es que la longitud de onda de la luz emitida es seleccionable; por otro lado, variando la composición de las tinturas utilizadas, es posible cambiar el color de la luz emitida de un azul profundo a un rojo profundo.

### 3.1.7 Propiedades de la luz Laser:

- \* *Monocromática:* Esto es, que la luz emitida por un Laser consiste de una sola longitud de onda, y en algunos casos de dos o más longitudes de onda específicas.
  
- \* *Espacialmente Coherente:* El término espacialmente coherente significa que todas las ondas provenientes de Laser están en tándem. Esto es, que las crestas y los valles de las ondas que hacen el haz de luz están todas con la misma fase.

- \* *Temporalmente Coherente:* La coherencia temporal es cuando las ondas provenientes del Laser (que pueden ser consideradas como ondas muy largas, gracias a la coherencia espacial) son emitidas en intervalos constantes exactamente espaciados. La coherencia temporal es similar a los clics precisos de un metrónomo que lleva el ritmo de la música.
  
- \* *Colimada:* Debido a la monocromaticidad y la coherencia, la luz Laser no se difusa (diverge) tanto como la luz ordinaria. El diseño del Laser en sí, o la simple óptica, pueden colimar (hacer paralela) la luz Laser dentro de un rayo paralelo.

Las cuatro propiedades anteriores se combinan para producir un rayo luminoso que es muchas veces más brillante que la luz del sol dentro de la misma área.

Debido a su coherencia, monocromaticidad, y baja divergencia del haz, los Lasers son ideales para un gran número de aplicaciones, por ejemplo: La monocromaticidad y coherencia de su luz es necesaria para formar los intrincados patrones de un holograma. Sin el Laser, los hologramas ópticos serían más difíciles de producir.

La coherencia forma un rol muy importante cuando se desea enfocar un haz o punto muy pequeño en un mínimo de área. Con la óptica adecuada, es posible enfocar un rayo Laser en un área igual a la longitud de onda de la luz. Con un diodo Laser infrarrojo, por ejemplo, el haz de luz puede ser enfocado en un punto de solo 0.8 micrómetros de ancho.

La mínima divergencia (debida a la coherencia natural de la luz Laser) significa que el haz de luz puede viajar a gran distancia antes de esparcirse. El Laser de He-Ne promedio, sin óptica, puede formar un punto de luz de solo unas cuantas pulgadas de diámetro a una distancia de varios cientos de pies. Con óptica adicional, la divergencia del haz puede ser reducida, para hacer posible la transmisión de sonido, imágenes y código de computadoras a varias millas de distancia con un rayo de luz.

Un experimento con la baja divergencia del Laser fue efectuado durante los aterrizajes en la Luna del Apolo 11. En este experimento un haz de 1mm de diámetro (emitido por un Laser de rubí) fue rebotado en la luna por una matriz de espejos altamente pulidos y devuelto a la tierra; la Luna se encuentra a una distancia de 235,000 millas de la tierra, y el rayo Laser enviado solo difusó un área de 1.5 millas cuando tocó la superficie Lunar.

### 3.1.8 Seguridad usando Laser:

Los Lasers que son vendidos y usados comercialmente son regulados por un estricto conjunto de leyes editadas por el "Center for Devices and Radiological Health ó CDRH" , también llamado "Bureau of Radiological Health ó BRH" (Comite de salud radiológico). El CDRH, es un departamento de la administración de alimentos y drogas de los Estados Unidos de Norteamérica y sirve en forma similar a la Comisión Federal de Comunicaciones del mismo país; este departamento se encarga de verificar que los aparatos cumplan con los standares establecidos y que los riesgos por radiación laser se mantengan al mínimo.

Por propósitos de regulación, la CDRH ha dividido a los Lasers en seis grupos, ó clases. La clasificación de Lasers depende de la potencia de salida (en Joules ó Watts), su duración de emisión, y su longitud de onda.

En cada Laser esta clasificación debe de ir impresa en una estampa similar a las mostradas en la siguiente figura:

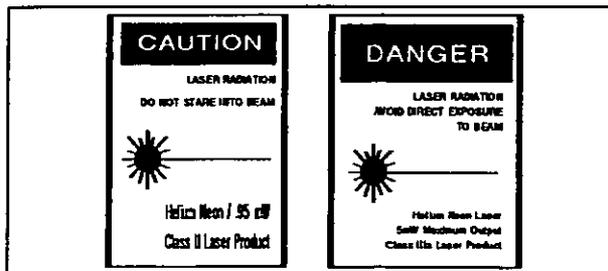


Figura 3.6

### 3.1.9 El Laser de He-Ne:

El Laser de Helio-Neón es el más común y económico de todos los Lasers visibles, su utilización va desde la alineación en construcciones hasta la investigación en laboratorios, y esto es en gran parte a su potencia de salida que va desde una fracción de miliwatt hasta varias decenas de miliwatts a 632.8 nanómetros (luz roja).

La luz Laser roja, no es ideal para todas las aplicaciones, pero el Laser de He-Ne ha tenido éxito gracias a su fácil construcción y bajo costo en comparación con otros tipos de Lasers.

#### **Principio de Operación:**

El medio activo en un Laser de helio-Neón es una mezcla de gases de Helio y Neón contenida en un tubo generalmente de cristal, a una presión que varía desde una fracción de torr hasta algunos torr dependiendo de la potencia de salida deseada. Típicamente esta mezcla contiene 5 veces más Helio que Neón para una operación a 632.8 nm (nanómetros).

La energía emanada en un Laser de He-Ne proviene de una descarga eléctrica, que hace conducir unos cuantos mili-Amperes a través del tubo a unos 2000 V. Aproximadamente cuando el Laser está en operación, (En algunos casos el voltaje necesario para iniciar la operación es de unos 10 KV)

Esta descarga provoca que los electrones atraviesen el medio y al chocar con los átomos de Helio y Neón, los envíen a altos niveles de energía; como los átomos de Helio son más abundantes, colectan más energía y la transfieren rápidamente a los átomos de Neón los cuales son enviados a un nivel similar al de los de Helio.

Posteriormente los átomos de Neón pierden su nivel de excitación y "caen" a niveles más bajos a través de varias transiciones, iniciándose así la emisión de luz.

#### **Estructura Interna:**

Un Laser de He-Ne, está formado por un tubo lleno de gas, con electrodos internos que excitan al gas para poder emitir luz; para definir la cavidad Laser se colocan espejos en cada extremo del tubo (Ver Figura 3.7).

#### **Desventajas Inherentes:**

Las desventajas de este Laser son obvias, ya que al incrementar la potencia de salida se incrementan el tamaño y el costo, así como las precauciones de operación.

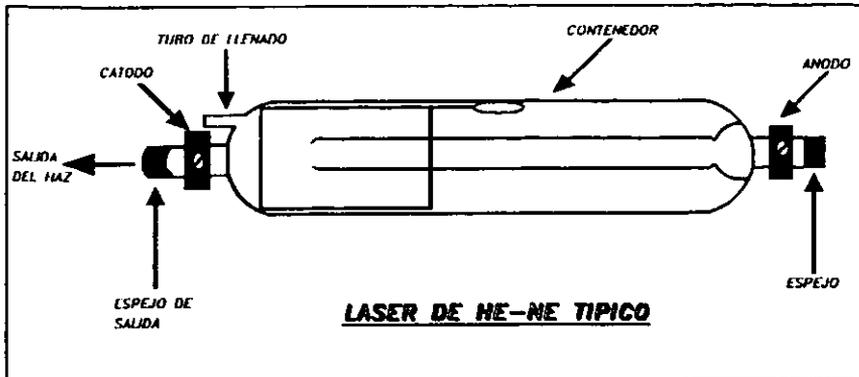


Figura 3.7

### Características del Haz:

#### Longitud de onda y Potencia de salida:

La longitud de onda standard en un Láser de He-Ne es de 632.8 nm en rojo.

Los modelos comerciales emiten haces continuos desde 0.5 a 60 mW, aunque la mayoría se sitúan en el rango de 0.5 a 7 mW en longitudes de onda típicas de 543, 594, y 612 nm.

#### Eficiencia:

En general la eficiencia de un Láser de He-Ne es baja, típicamente en el rango de 0.01 a 0.1 por ciento.

#### Calidad del Haz:

La gran mayoría de los Lasers de He-Ne producen un haz de buena calidad tipo  $TEM_{00}$  con una distribución de intensidad Gaussiana clásica.

#### Diámetro del Haz y Divergencia:

Los Lasers de He-Ne producidos comercialmente y con calidad de haz tipo  $TEM_{00}$  tienen un diámetro de haz alrededor de 1mm y tiende a incrementar con la potencia de salida.

En cuanto a la divergencia esta es del orden de 1 mili-radian (mrad) y disminuye con el incremento del diámetro del haz, debido a que estos Lasers operan cerca del límite de difracción.

#### Peso:

Un tubo sencillo para Laser de He-Ne puede pesar casi 0.1 Kg., sin embargo lo más común es que su peso varíe de 0.25 a 0.5 Kg. y agregando la fuente de alimentación pueden llegar a pesar 1 o 2 Kg. en Lasers de baja potencia; y en los de gran potencia el peso puede llegar a los 100 Kg. incluyendo tubo y fuente.

### **Vida Útil:**

Estos Lasers tienen una vida útil típica de 10,000 a 20,000 horas en operación, y en almacén hasta 10 años; esto es en el caso de Lasers altamente sellados ya que en otros tipos donde el sellado no es el adecuado la vida útil disminuye a 5,000 Hrs. aproximadamente.

### **Mantenimiento y Ajustes:**

Los Lasers de He-Ne son prácticamente libres de mantenimiento y no necesitan ajustes bajo condiciones normales de operación. Mientras que los operados en lugares sucios y con vibraciones o riesgo de caída, pueden llegar a necesitar periódicamente limpieza y re-alineación.

Si se requiere de una operación extremadamente estable, es necesario dejar al aparato funcionando continuamente por lo que algunos modelos cuentan con un bloqueador de haz para que este no salga del aparato cuando se desee.

### **Posibles Reparaciones:**

Los tubos Laser de He-Ne pueden ser limpiados y rellenados con una mezcla nueva de gas, sin embargo esto cuesta más que comprar un tubo nuevo por lo que resulta poco práctico, algunas veces reparar un aparato de este tipo.

### **Configuraciones Comerciales:**

Existen tres configuraciones en las que estos aparatos son comercializados y son:

**Tubo Laser:** Que es únicamente el tubo lleno con gas, electrodos y espejos dentro de la cavidad Laser.

**Cabeza Laser:** Consta del tubo Laser instalado en un chasis o contenedor de forma cilíndrica e incluye elementos ópticos como colimadores ó prismas, pero no incluye fuente de alimentación.

**Sistema Laser:** Consta de una cabeza Laser con alimentación dentro de un mismo contenedor con sistemas de seguridad y el equipo necesario para su operación.

### **Precio:**

A mediados de 1993, el costo de un Laser de He-Ne varia según la potencia y la longitud de onda desde \$ 60.00 (0.95 mW) hasta \$ 695.00 (20 mW) dólares.

### **Aplicaciones:**

Por muchos años el Laser de He-Ne ha sido la elección estándar para muchas aplicaciones que requieren de un Laser visible barato en un rango de potencia de mili-Watts, algunas de sus aplicaciones son:

Alineación	Lectura de código de barras
Impresión de datos	Holografía
Medicina	Medición
Investigación	Comunicaciones

#### 3.1.10 El Laser de semiconductor

Los Laser de semiconductor (Diodo) son más una familia en sí que un tipo. Prácticamente, existen dos categorías de este tipo de aparatos.

- a) Los diodos Laser fabricados con compuestos de los elementos de las columnas III y IV de la tabla periódica, como el Galio Arsenio (Gallium arsenide); y que emiten luz cerca del infrarrojo y en algunos casos dentro del rojo.

- b) Los diodos Laser fabricados con compuestos de "Sal cargada" que emiten dentro del espectro infrarrojo alrededor de los 2.7 a 30 micrómetros.

Actualmente los diodos Laser están desplazando a los Laser de He-Ne en muchas aplicaciones en donde la salida visible no es crucial. Además existen constantes reportes en donde se habla de nuevos diodos Laser con mejoras, que operan dentro del espectro de luz visible en rojo y verde.

#### **Principio de Operación:**

Un diodo Laser es similar a un diodo normal en cuanto a que ambos están formados por una unión de materiales P y N.

En esta unión un potencial eléctrico causa un flujo de huecos y electrones que, por recombinación, emiten luz (ver Figura 8). Un LED normal produce luz espontánea, mientras que el Laser emite luz por emisión estimulada; además el diodo Laser contiene un par de espejos reflectivos formando lo que se conoce como una cavidad Fabry Perot lo que permite que la luz sea altamente direccional.

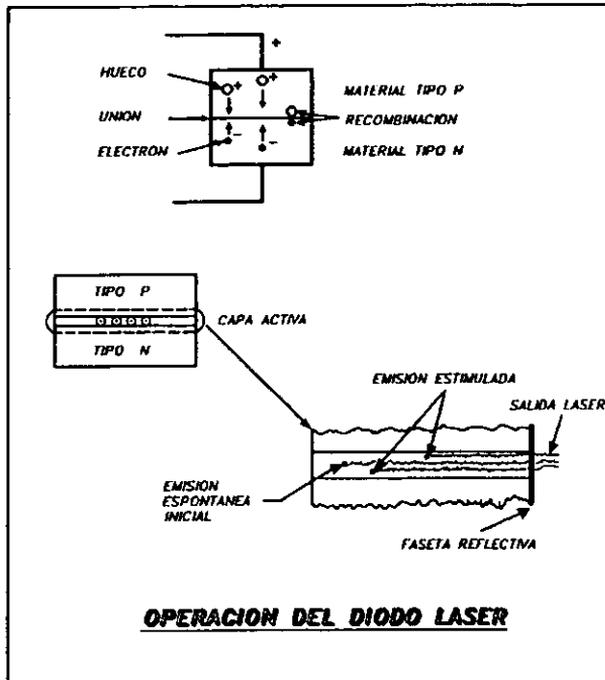


Figura 3.8

### Estructura Interna:

Como se vio anteriormente el elemento clave en un diodo Laser es la unión interna P-N. En su forma más simple un diodo consiste de dos bloques de material semiconductor contaminados a un nivel de impurezas controlado para formar dos materiales uno tipo P y otro tipo N.

La estructura interna de un diodo Laser es muy similar a la de un LED. Desde un punto de vista estructural, la diferencia más importante radica en que dos de los bordes del diodo Laser son pulidos parcialmente para reflejar parte de la luz generada de vuelta en el semiconductor.

Otra diferencia radica en que los diodos Laser consumen mas corriente que los LEDs; Por lo que podemos afirmar que, la combinación de ambos factores se traduce en las diferentes características entre los LEDs y los diodos Laser.

#### **Desventajas Inherentes:**

Los grandes avances en materia de semiconductores han hecho posible la rápida evolución de los diodos Laser, incrementando su vida útil, aumentando su espectro de operación y sus características de operación; sin embargo continúan existiendo algunos inconvenientes inherentes en los dispositivos comerciales como son:

- \* Por arriba de ciertos límites, la vida del diodo Laser decrece rápidamente con las temperaturas de operación y la potencia de salida.
- \* La operación a longitudes de onda restringidas dentro del rango 750 a 780 nm (rojo a infra-rojo), se logra a cambio de tiempos de vida más cortos.

- \* Se tienen que diseñar por separado dispositivos capaces de producir altas potencias con pulsos de bajo ciclo de trabajo, o para operar continuamente a menores potencias. Es decir, los diodos Laser fabricados actualmente no están optimizados para ambos tipos de operación.
- \* A mayor potencia emitida por un diodo Laser menor es la calidad de haz
- \* Sensibilidad a los transitorios de corriente y temperatura.

#### **Características del Haz:**

##### **Longitud de onda y Potencia de salida:**

La longitud de onda producida por un diodo Laser depende inicialmente del canal formado por la unión de compuestos (materiales tipo P y N) en donde los electrones y los huecos se recombinan.

Además estos compuestos varían ya que los diodos Laser pueden ser fabricados con compuestos binarios (2 elementos) como el Galio Arsenio ( Gallium Arsenide), Terciarios (3 elementos) como el GaAlAs y cuaternarios como el InGaAsP. De tal forma que comercialmente se pueden encontrar las siguientes longitudes de onda:

- \* GaAs: 904 nm
- \* GaAlAs: 720 a 900 nm aproximadamente
- \* InGaAs: Alrededor de los 1060 nm
- \* InGaAsP: Generalmente alrededor de los 1300 a 1500 nm en dispositivos comerciales
- \* InGaAlP: 670 a 680 nm aproximadamente, color rojo del espectro visible<sup>a</sup>
- \* Sal Cargada: 2.7 a 30 micrómetros

Cabe hacer notar que para compuestos ternarios y cuaternarios es casi imposible tener un control preciso sobre la composición de los mismos y por ende de la longitud de onda de salida; por lo que en la práctica existe cierto margen de error inherente a la fabricación de diodos Laser.

En cuanto a la potencia de salida esta va desde los 2 mW hasta los 500 mW en forma continua en un diodo de GaAlAs.

---

<sup>a</sup> El ojo humano sólo consigue percibir radiaciones comprendidas entre los 400 y los 700 nanómetros

#### **Eficiencia:**

En general, la eficiencia de un diodo Laser ( esto es, la energía eléctrica convertida en salida óptica), depende de la corrientes y la temperatura de operación y generalmente es de 10 por ciento.

#### **Calidad del Haz:**

Debido a que la cavidad Laser es muy pequeña y el área emitida es generalmente rectangular, un diodo Laser produce un haz ovalado que diverge rápidamente, por lo que generalmente se utilizan sistemas ópticos para enfocar el haz en una sección circular más conveniente de usar en aplicaciones prácticas.

#### **Diámetro del Haz y Divergencia:**

Un estudio de varias hojas de especificaciones indica que la divergencia y el diámetro de un haz emitido por un diodo Laser varía significativamente con las condiciones de operación y los fabricantes, afortunadamente esto no es crítico para algunos parámetros de diseño, y es posible ajustar y mejorar estos parámetros con ayuda de sistemas ópticos externos.

**Peso:**

Normalmente no excede de 200 grs. contando diodo Laser, lentes, circuitos de alimentación y chasis, el cual aporta casi el 60 % del peso del Laser

**Vida Util:**

La vida útil de estos Lasers fue un problema en los primeros diodos Laser, actualmente estos duran alrededor de 100,000 horas, aunque esta vida puede decrecer con el aumento de la potencia de operación, la temperatura y la corriente de operación.

**Mantenimiento y Ajustes:**

Los diodos Laser en sí no requieren mantenimiento bajo las óptimas condiciones de operación. Sin embargo es recomendable incorporar al Laser un sistema de retroalimentación para mantener estable la potencia de salida y/o la temperatura de operación.

**Posibles Reparaciones:**

Una vez que el diodo Laser falla, el usuario solamente necesita cambiar éste, y corregir cualquier problema de operación que pudiese causar la falla.

### **Configuraciones Comerciales:**

Los diodos Laser son vendidos en varias configuraciones, dentro de las cuales podemos incluir:

- \* Diodos Laser en encapsulado tipo transistor con ventana por la cual se emite el haz.
- \* Diodos Laser montados en encapsulados especiales para ser usados en sistemas de fibra óptica.
- \* Cabezas Laser que incorporan un diodo Laser, la circuitería necesaria para su operación, sistemas ópticos y de retroalimentación para lograr un funcionamiento estable y sin problemas.

### **Precio:**

Los precios varían de acuerdo con la composición del diodo Laser y van desde unos cuantos dólares hasta varios miles de dólares en el caso de diodos de InGaAsP a 1.55 micrómetros.

En el caso de Cabezas Laser de luz visible (rojo), los precios varían junto con la potencia de salida desde \$75.00 hasta \$200.00 dólares.

## **Aplicaciones:**

El rango de aplicación de estos Lasers ha crecido enormemente y comienzan a abarcar en gran medida las aplicaciones de los Laser de He-Ne al grado de sustituirlos directamente en algunas de estas aplicaciones.

Aparte de las ya conocidas en discos ópticos de música, video y datos en computadoras; y se espera que las aplicaciones aumenten más, a medida que los precios bajen y el desempeño continúe mejorando. Algunas de estas aplicaciones son:

- \* **GaAlAs:** Estos diodos de luz invisible se suelen usar en impresoras Laser y en los lectores de Discos Compactos
  
- \* **InGaAsP:** Estos diodos se suelen utilizar para comunicación mediante Fibra óptica
  
- \* **InGaAlP:** Debido a que funcionan en el rango visible, se utilizan en miras Laser para armas, punteros, señalizaciones, etc...
  
- \* **Sal Cargada:** Prácticamente estos Lasers son usados únicamente en espectroscopía, y actualmente se están desarrollando nuevos tipos para su uso en fibras ópticas.

### 3.2 Fotosensores

#### 3.2.1 Generalidades:

Los fotosensores son dispositivos que alteran sus características eléctricas con la presencia de luz visible o cercana al infrarrojo; dentro de estos dispositivos se incluyen las fotoceldas, los fotodiodos y los fototransistores; cuya aplicación general es en circuitos para el control de alarmas, luces, motores, relevadores y otros actuadores.

#### 3.2.2 Fotoceldas:

Las fotoceldas son llamadas por diferentes nombres como celdas fotoconductoras, resistencias dependientes de la luz (light-dependent resistors o LDR's), y fotoresistencias. Y básicamente son resistencias variables con un rango extremadamente ancho de valores resistivos que son dependientes del nivel de luz incidente.

La resistencia en las fotoceldas varía inversamente con la luz que incide en ellas. En otras palabras, la resistencia es muy alta en la oscuridad y muy baja bajo luz brillante.

### Estructura interna:

La figura 3.9 muestra un corte de una fotocelda típica, en donde se muestra la disposición del material fotoconductor en forma de serpentin separando los dos electrodos que han sido formados sobre un substrato de cerámica aislante.

Esta disposición maximiza el contacto entre el material fotoconductor en forma cristalina y los electrodos adyacentes de metal.

El material fotoconductor es típicamente sulfuro de calcio (CdS) o seleniuro de cadmio (CdSe). La selección del material y el grosor y el ancho de su disposición determina el valor resistivo y el rango de potencia del dispositivo. El ensamble de las dos terminales es encapsulado en metal o un plástico opaco con una ventana de vidrio o plástico sobre el material fotoconductor.

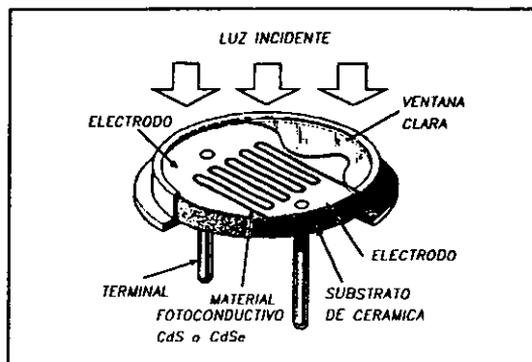


Figura 3.9.

La figura 3.10 muestra el símbolo esquemático para una fotocelda.

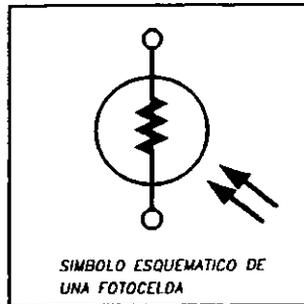


Figura 3.10

#### Presentaciones Comerciales:

Las fotoceldas comerciales son fabricadas con diámetros que varían desde 3 mm. hasta 25 mm.; aunque las más populares son de 10 mm. de diámetro. La figura 3.11 compara la respuesta de algunos dispositivos fotosensitivos con la del ojo humano.

En esta podemos observar la respuesta en forma de campana del ojo humano, el cual es sensible dentro de una banda relativamente estrecha del espectro electromagnético, esto es, entre 400 y 750 nm. Los picos en la curva corresponden a la región de luz verde a aproximadamente 550 nm y se extienden hasta la región violeta (400 a 450 nm) por un lado, y por el otro hasta adentro de la región roja oscura (700 a 780 nm).

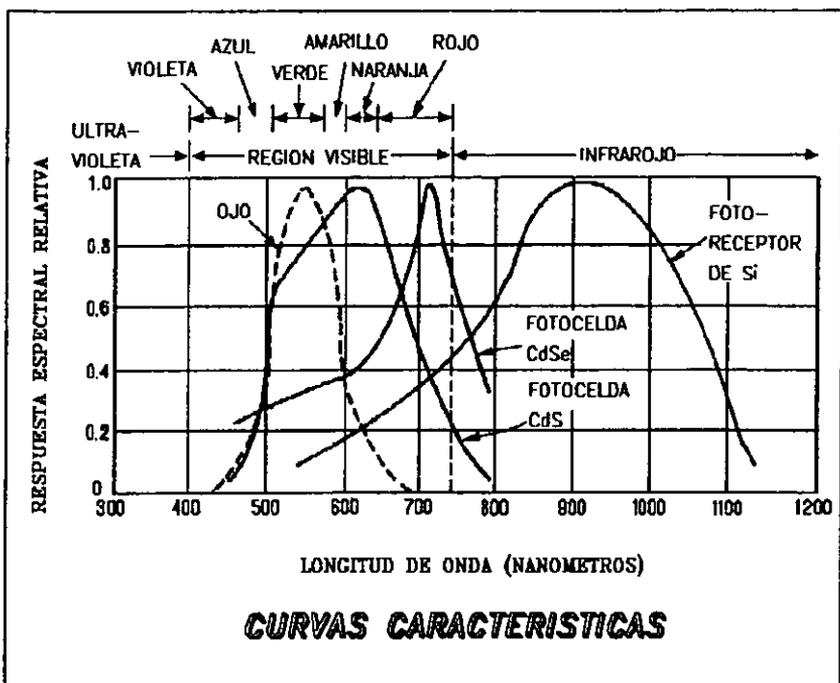


Figura 3.11

También podemos observar el por qué las fotoceldas de sulfuro de cadmio (CdS) son tan populares en circuitos controlados por luz; ya que su curva de respuesta espectral tiene su pico cerca de los 600 nm que es muy semejante a la del ojo humano. En contraste, la curva de respuesta de las celdas de seleniuro de cadmio (CdSe) se encuentra cargada hacia la región roja a aproximadamente 720 nm, sin embargo, este tipo de celdas son funcionales a lo largo de la región visible.

### **Desventajas Inherentes:**

La única desventaja significativa son sus lentos tiempos de respuesta.

### **Aplicaciones:**

Las fotoceldas son usadas en varios aparatos utilizados en la vida diaria, por mencionar algunos tenemos: medidores de exposición fotográfica, switches activados por luz u oscuridad para controlar sistemas de seguridad. Algunas de las alarmas activadas por luz son disparadas al romper un haz de luz e incluso existen comercialmente detectores de humo basados en las fotoceldas usando refracciones de luz.

### **3.2.3 Fotodiodos:**

Basándonos en la teoría de semiconductores, todas las uniones formadas por materiales tipo P y N son fotosensibles; si se conecta un diodo normal en reversa como se muestra en la Figura 3.12, solamente circulará por él una corriente de fuga y no habrá caída de voltaje en la resistencia, sin embargo, si se remueve el encapsulado para exponer la unión PN, en el mismo circuito, se podrán observar sus características fotosensitivas.

### Estructura Interna:

Como se mencionó anteriormente un fotodiodo es esencialmente igual a un diodo, solo que en éste el encapsulado cambia así como la polaridad en su uso.

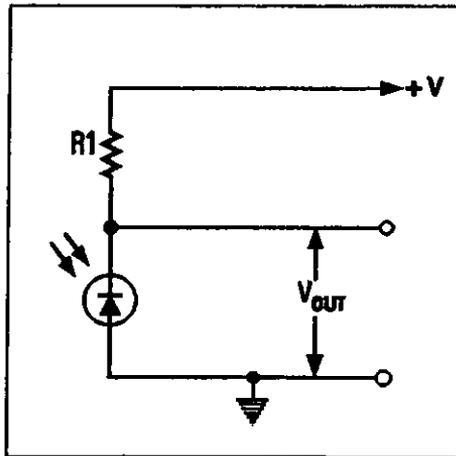


Figura 3.12

La respuesta espectral de un fotodiodo está determinada por la contaminación específica del material semiconductor, la figura 11 muestra también la curva de respuesta típica para todos los fotoreceptores de silicón, categoría en la cual se incluyen los fotodiodos y los fototransistores.

### Presentaciones Comerciales:

Debido a que los fotodiodos son esencialmente un diodo convencional, estos son comercialmente encontrados en encapsulados tipo transistor con una cubierta transparente que permite la entrada de la luz hacia la unión PN. La figura 3.13 muestra el símbolo esquemático de un fotodiodo.

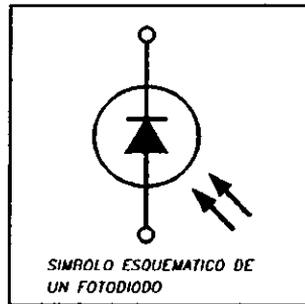


Figura 3.13

### Diferencias respecto a las Fococeldas:

Como se puede observar en la figura 3.11, los fotodetectores de silicón tienen menor sensibilidad en el rango de luz visible a diferencia de las fotoceldas de CdS y CdSe; aunque en éstos el tiempo de respuesta es menor, es decir, responden mas rápido a los cambios en el nivel de luz.

En contraste con las fotoceldas que operan en el rango de luz visible; los fotodiodos operan mejor en la región infrarroja por lo que sus aplicaciones son acorde a la región.

#### **Aplicaciones:**

Debido a sus características internas y al rango de operación en la región infrarroja, sus aplicaciones son generalmente en el campo de las comunicaciones en donde se necesita transmitir información en corriente alterna y es crítico el tiempo de respuesta del dispositivo receptor; Algunas de sus aplicaciones más típicas son en controles remotos, switches por interrupción de haz y circuitos de alarma.

#### **3.2.4 Fototransistores:**

De forma similar al fotodiodo, el fototransistor es un transistor NPN común con las uniones NPN expuestas para la recepción de luz.

#### **Estructura Interna:**

Como se mencionó anteriormente un fototransistor esencialmente igual a un transistor NPN, solo que en éste el encapsulado cambia debido a una ventana de vidrio o plástico transparente que permite la incidencia de luz a la unión NPN.

La respuesta espectral de un fototransistor está determinada por la contaminación específica del material semiconductor, la figura 3.11 muestra también la curva de respuesta típica para todos los fotodiodos de silicón, categoría en la cual se incluyen los fotodiodos y las fototransistores.

Estos dispositivos son normalmente usados con la terminal de base abierta como se muestra en la Figura 3.14, la unión base-colector de un fototransistor está efectivamente polarizada inversamente por lo que actúa como un fotodiodo.

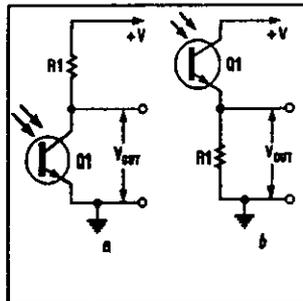


Figura 3.14

#### Presentaciones Comerciales:

Debido a que los fototransistores son esencialmente un transistor NPN convencional, éstos son comercialmente encontrados en encapsulados tipo transistor con una cubierta transparente que permite la entrada de la luz hacia la unión NPN. La figura 3.15 muestra el símbolo esquemático de un fototransistor.

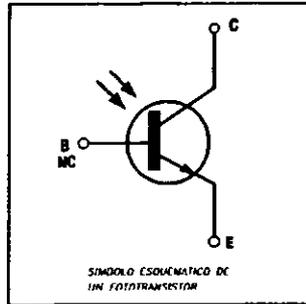


Figura 3.15

### Diferencias respecto a las Focelldas:

Como se puede observar en la figura 11, los fotodetectores de silicón tienen menor sensibilidad en el rango de luz visible a diferencia de las fotocelldas de CdS y CdSe; aunque en éstos el tiempo de respuesta es menor, es decir, responden más rápido a los cambios en el nivel de luz.

En el caso de los fototransistores la sensibilidad a la luz es típicamente 100 veces mayor que la de los fotodiodos. Sin embargo, la frecuencia máxima de operación es proporcionalmente menor que la de los fotodiodos.

Alternativamente la sensibilidad y la velocidad de operación en un fototransistor puede ser variable con ayuda de un potenciómetro entre las terminales de base y emisor.

### **Aplicaciones:**

Debido a sus características internas y al rango de operación en la región infrarroja, sus aplicaciones son generalmente idénticas a las de los Fotodiodos con las respectivas consideraciones en cuanto a sus diferencias de operación.

## C A P I T U L O   I V

### *Diseño de un Monumento Electrónico y un Módulo Laser Puntual Utilizando Diodo Laser*

#### **4.1 Restricciones De Diseño:**

Para la realización del presente proyecto se efectuaron varias juntas con el personal de la planta para poder definir físicamente los componentes del sistema, los alcances y las limitaciones; prestando atención especial a:

- \* Las estrategias de KAISEN que se implementan en la planta.
  
- \* Algunos puntos de filosofía Operativa como son:
  - Buscar el mejoramiento de la calidad por medio de la eliminación de las causas que ocasionan problemas, teniendo como consecuencia inevitable mejoras en la productividad.

- Conciencia de que la persona que realiza un trabajo, en específico, es la que mayor conocimiento tiene de éste.
  - La gente desea ser tomada en cuenta y así realizar su trabajo de la mejor manera.
  - El mejor resultado se logrará trabajando en conjunto para mejorar el sistema.
  - Un proceso estructurado para resolver problemas usando técnicas gráficas produce mejores soluciones.
  - Las técnicas gráficas para la solución de problemas nos permiten saber dónde nos encontramos, a qué se deben las variaciones; la importancia relativa de los problemas a resolver, y si los cambios realizados tendrán el impacto deseado.
- 
- \* El área de operación del sistema y los recursos con los que se cuenta.
  - \* El funcionamiento y su mejora a corto y mediano plazo.
  - \* Restricciones dimensionales de los aparatos.
  - \* Encapsulados ó chasises.

- \* Programas de Mantenimiento preventivo y correctivo.

Teniendo en cuenta lo anterior, las restricciones de diseño acordadas se resumen a continuación:

- a) El sistema deberá ser de dimensiones reducidas, de fácil instalación y operación, altamente confiable, y construido para un uso rudo en un medio ambiente con negro de humo, polvos y ruido.
- b) Deberá ser capaz de actualizarse y mejorarse fácilmente, según los requerimientos de KAISEN de la empresa en cuestión y de los avances tecnológicos.
- c) Deberá contar con Mantenimiento Preventivo y Correctivo en México, así como de asesoría por parte del fabricante.
- d) Deberá ser de gran versatilidad en su operación, en cuanto a los diferentes modelos de máquinas en donde se va a instalar el sistema (Localización de Monumentos y Lasers, Lógica de operación y Puntos de muestreo).

## 4.2 Diseño De Un Monumento Electrónico:

### 4.2.1 Definición:

Un Monumento electrónico es un dispositivo que, en este caso, sensa constantemente la incidencia o no incidencia de un Laser por medios electrónicos; produciendo una salida visual en el mismo y otra de tipo lógico.

### 4.2.2 Restricciones De Diseño Específicas:

De acuerdo a la forma de trabajo descrita en el punto anterior, se definió que el monumento electrónico presentará las siguientes características:

- + Dimensiones reducidas del orden de 6.5 x 3.00 x 12.00 cm. como se muestra en la Figura No. 4.1:

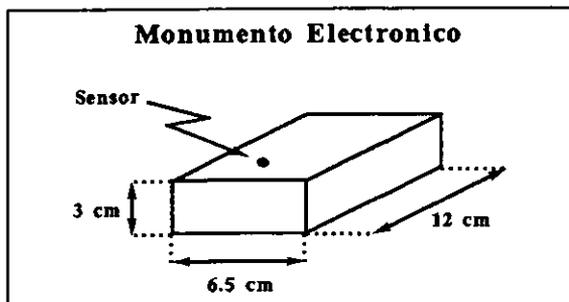


Figura 4.1

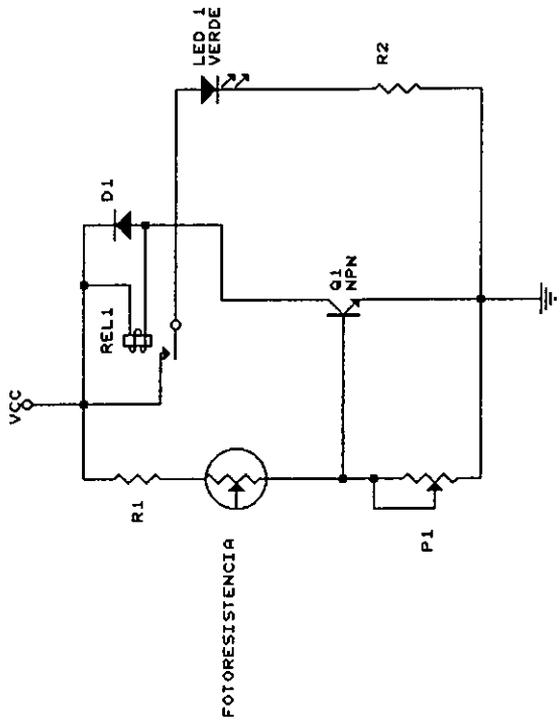
- + Señalización visual de la incidencia del Laser en el Monumento y salida lógica.
- + Chasis resistente a trabajo rudo (golpes, vibraciones, suciedad, temperatura, ruido, etc...).
- + Area de detección no mayor a  $0.123 \text{ mm}^2$ , es decir un círculo de  $0.396 \text{ mm}$  ( $1/64''$ ) de diámetro.

#### 4.2.3 Diseños Preliminares:

Como en todo diseño, se comenzó trabajando sobre varias ideas alternativas, analizando las ventajas y desventajas de cada una así como su realización; Para así poder definir el diseño ideal.

#### **Prototipo No. 1**

Al comenzar a trabajar sobre este Monumento, se intentó primeramente hacer un diseño simple en base a transistores como el mostrado en la Figura No. 4.2:



PROTOTIPO No. 1	
Title	MONUMENTO ELECTRONICO
Size	Document Number
A	FIGURA 4.2
REV	1
Date:	September 29, 1999
Sheet	1 of 1

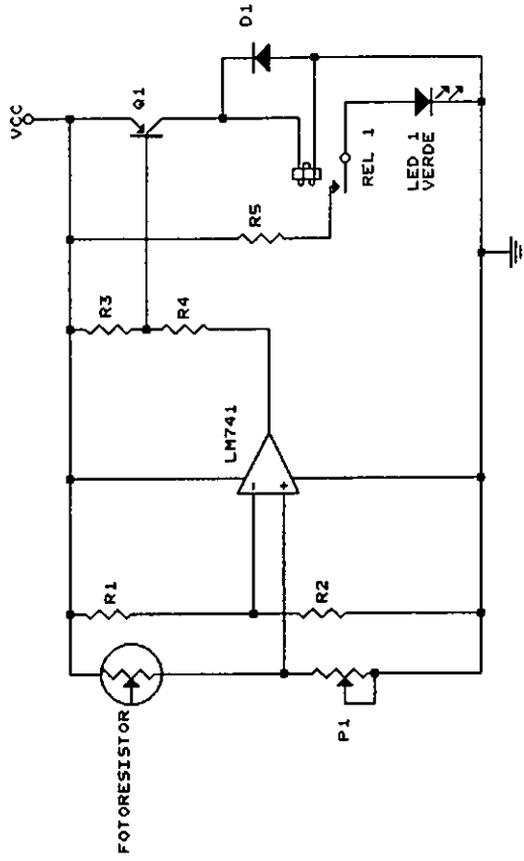
Este circuito está diseñado para activarse con la incidencia de luz sobre la fotocelda. Al detectarse luz en la fotocelda ésta disminuye su resistencia interna y por ende modifica al divisor de voltaje que proporciona la corriente de base al transistor haciendo que éste conduzca y energice la bobina del relevador activándolo; el potenciómetro se usa como control de sensibilidad.

La principal desventaja del circuito mostrado se debe a que los niveles de umbral o disparo del circuito mostrado, son susceptibles a las variaciones en el voltaje de alimentación y a la temperatura.

### **Prototipo No. 2**

La Figura No. 4.3 muestra otra alternativa de diseño para el Monumento; en este circuito la fotocelda, el potenciómetro y las resistencias R1 y R2 son conectadas formando un puente de Wheatstone que alimenta a un Amplificador Operacional.

Aquí, la fotocelda y el potenciómetro forman un brazo del puente, y las resistencias R1 y R2 el otro brazo.



PROTOIPO No. 2

Title

MONUMENTO ELECTRONICO

Size Document Number

A

FIGURA 4.3

REV

1

Date: September 29, 1999 Sheet 1 of 1

Estos brazos pueden ser considerados como divisores de voltaje; el brazo formado por las resistencias R1 y R2 proporciona a la entrada no inversora del Amplificador Operacional un voltaje aproximadamente igual a la mitad del voltaje de alimentación, por otro lado, el divisor formado por la fotocelda y el potenciómetro proporciona a la terminal inversora del Amp. Op. un voltaje variable que depende de la luz incidente en la fotocelda y del valor ajustable del potenciómetro.

En este circuito, el potenciómetro se ajusta con el fin de que el voltaje producido en este brazo sobrepase fraccionalmente al voltaje obtenido en el otro brazo, ocasionando que el Amp. Op. sature negativamente polarizando así al transistor el cual finalmente energiza la bobina del relevador. Por otro lado, si el voltaje producido por el brazo variable no rebasa el valor del otro brazo del puente, el Amp. Op. se encontrará saturado positivamente y no habrá polarización en el transistor ni en la bobina.

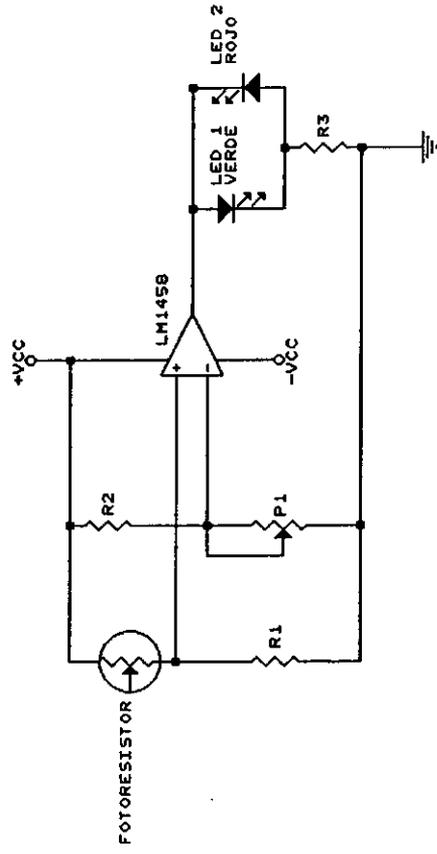
Cabe hacer notar que en este circuito, el punto de balance en el puente o nivel de disparo, es independiente de las variaciones de voltaje y temperatura, y solamente es influenciado por las variaciones en los valores relativos de los componentes del puente.

### Prototipo No. 3

El siguiente diseño, se basa fundamentalmente en el diseño anterior con algunas modificaciones, las cuales son descritas a continuación.

En circuito mostrado en la Figura No. 4.4, la alimentación es bipolar con el fin de mejorar la inmunidad del diseño al ruido eléctrico y a los campos magnéticos; además de facilitarnos el uso de dos LED's indicadores.

Aquí se modifica el puente de Wheatstone y su conexión al Amplificador Operacional. El brazo compuesto por la fotocelda y la resistencia R5 proporciona el voltaje variable a la terminal no inversora del Amp. Op., mientras que el otro brazo del puente está compuesto por un divisor de voltaje ajustable conectado a la terminal inversora del Amp. op. y sirve como un voltaje de referencia para establecer el umbral o nivel de disparo. Al sobrepasarse el nivel de disparo en la terminal no inversora, el Amp. Op. satura positivamente alimentando al indicador luminoso L1; por otro lado si el voltaje en la terminal no inversora está por debajo del nivel de disparo, el Amp. Op. se encontrará saturado negativamente activando al indicador luminoso L2.



PROTOTIPO NO. 3	
TITULO MONUMENTO ELECTRONICO	
Size Document Number A	REV 1
Date: September 29, 1999 Sheet 1 of 1	

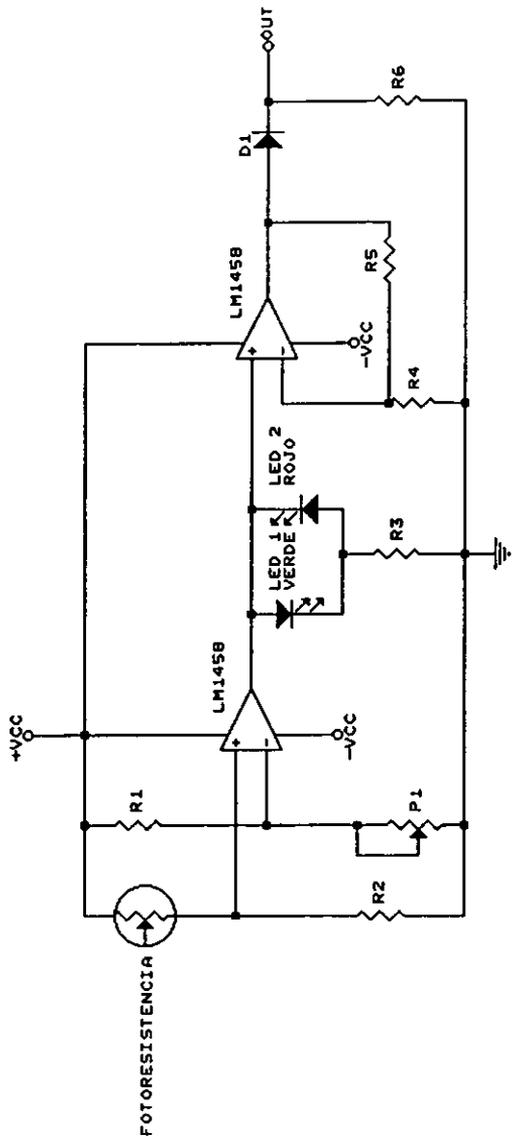
Por otro lado, al eliminar el uso de un relevador se minimiza el espacio y se incrementa la vida útil del circuito debido a que los contactos mecánicos tienen una vida de operación determinada.

Además de contar con las ventajas del diseño anterior, el uso de un segundo Amp. Op. no afecta mucho el precio de este ya que es más fácil localizar circuitos integrados con dos Amp. Op. que con uno solo.

#### 4.2.4 Diseño Definitivo:

Tomando en cuenta las restricciones de diseño y los prototipos evaluados anteriormente, se resolvió depurar el prototipo No. 3, agregándose un segundo amp. op. a la salida para separar las etapas y asegurar los niveles de salida; como se muestra en la Figura No. 4.5.

Aquí, el brazo compuesto por la fotocelda y la resistencia R5 proporciona el voltaje variable a la terminal no inversora del Amp. Op., mientras que el otro brazo del puente está compuesto por un divisor de voltaje ajustable conectado a la terminal inversora del Amp. op. y sirve como un voltaje de referencia para establecer el umbral o nivel de disparo.



DISEÑO DEFINITIVO	
Title	MONUMENTO ELECTRONICO
Size	Document Number
A	FIGURA 4.5
Date:	September 29, 1999
Sheet	1 of 1

Al sobrepasarse el nivel de disparo en la terminal no inversora, el Amp. Op. satura positivamente alimentando al indicador luminoso L1 y al segundo Amp. op. cuya salida será de 5 Volts o 1 lógico; por otro lado si el voltaje en la terminal no inversora está por debajo del nivel de disparo, el Amp. Op. se encontrará saturado negativamente activando al indicador luminoso L2 y al buffer de salida, solo que en este caso al tener un diodo serie en la salida esta estará a tierra o 0 lógico.

La razón de usar una fuente de alimentación bipolar radica en que para líneas de alimentación a distancia, las interferencias en la línea y por ende en el circuito son de consideración; y la alimentación bipolar es mas inmune a estas interferencias con respecto a la alimentación monopolar; además de facilitar la presentación de dos indicaciones luminosas para la incidencia o no incidencia de un Laser en el sensor.

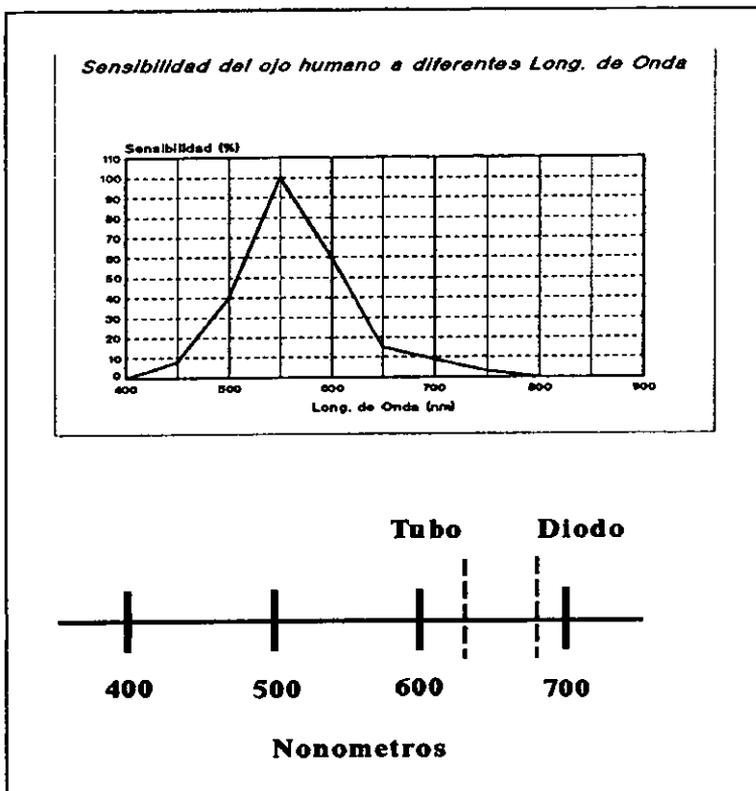
### 4.3 Diseño De Un Laser Puntual Con Un Diodo Laser:

#### 4.3.1 Por Qué Un Diodo Laser? :

De acuerdo con las restricciones de diseño generales expuestas anteriormente, era necesario un Laser de tamaño reducido, sin fuentes de alimentación especiales, con buena calidad de haz ( $TEM_{00}$ ), que fuera visible pero de baja intensidad (rojo no muy intenso) para No "lastimar" el ojo del operario, capaz de operar intermitentemente sin necesidad de mantenerlo encendido todo el tiempo, y que pudiese ser enfocado sobre un área relativamente pequeña.

Además, basándonos en los principios de mejora continua expuestos anteriormente. Se buscó un dispositivo que estuviese evolucionando constantemente y/o que tuviera los avances tecnológicos más recientes; tal es el caso del diodo Laser. El cual, además de lo expuesto anteriormente, presenta actualmente nuevos y mejores dispositivos, de los cuales el sistema puede, en un futuro, irse actualizando constantemente.

Dado que una de las restricciones de diseño, es la de No "lastimar" el ojo del operario; la decisión de seleccionar un diodo Laser, además de sus ventajas expuestas anteriormente, se justifica con ayuda de la Figura No. 4.6.



**Figura 4.6**

En esta figura se muestra el porcentaje de sensibilidad del ojo humano a distintas longitudes de onda. Y como se puede observar, al ser el ojo humano más sensible a las radiaciones comprendidas entre los 520 y los 570 nm, las percibirá más luminosas que las longitudes de onda de 400 a 520 y de 570 a 700.

Si miramos el punto luminoso de un haz de 5 mW emitido por un tubo Laser de He-Ne (630 nm) y lo comparamos con el emitido por un Diodo Laser (660 a 670 nm) de la misma potencia, nuestro ojo percibirá el del diodo con un 30% menos de luminosidad aproximadamente.

Todas estas características hacen del Diodo Laser ideal para esta aplicación ya que con un sistema óptico complementario como los mostrados en la figura No. 4.7, es posible disminuir considerablemente las deficiencias inherentes a estos dispositivos.

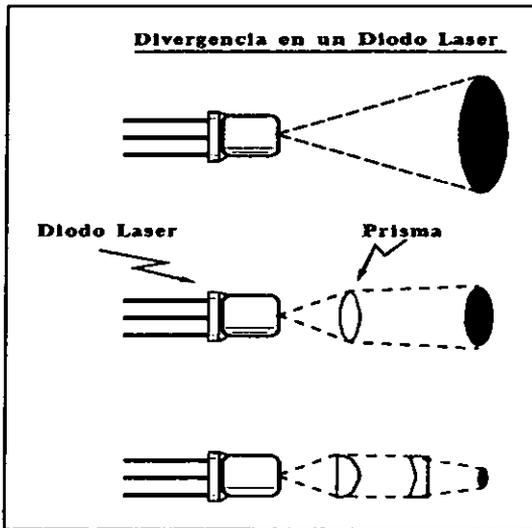


Figura 4.7

#### 4.3.2 Diseños preliminares:

Para diseñar un módulo Laser en base a un Diodo Laser se procedió a evaluar diferentes alternativas, Para así poder definir un dispositivo que se ajustara a las restricciones de diseño acordadas.

Para poder trabajar con cualquier dispositivo semiconductor es necesario primero conocer las especificaciones que proporciona el fabricante sobre el mismo, prestando atención a las especificaciones nominales máximas y típicas porque éstas determinan las corrientes, los voltajes y otros parámetros importantes del dispositivo.

Por ejemplo, en la Figura No. 4.8 se muestra una curva característica típica para un Diodo Laser a temperatura constante:

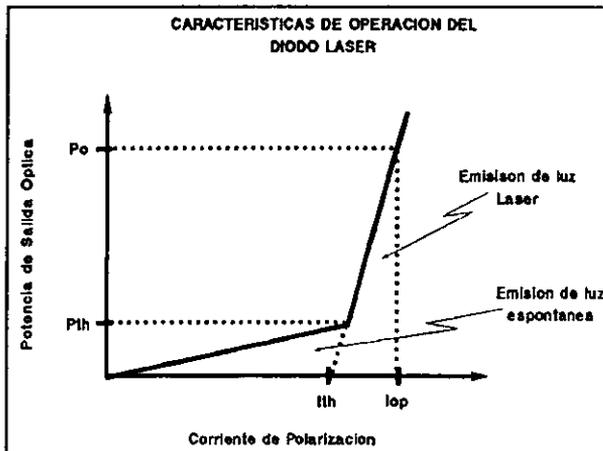


Figura 4.8

En esta curva podemos observar que el Diodo Laser tiene la particularidad de emitir luz espontánea por debajo de cierto nivel de corriente de alimentación ( $I_{th}$ ); por otro lado nos muestra que a partir de esta corriente de alimentación el punto de operación puede localizarse aún por debajo de la corriente de operación ( $I_{op}$ ) especificada por el fabricante con las respectiva disminución en la potencia de salida especificada.

Como todo semiconductor, el diodo Laser es sensible a la temperatura, por lo que en las hojas de especificaciones se muestran varias curvas características en función de la temperatura, como se muestra en la figura 4.9:

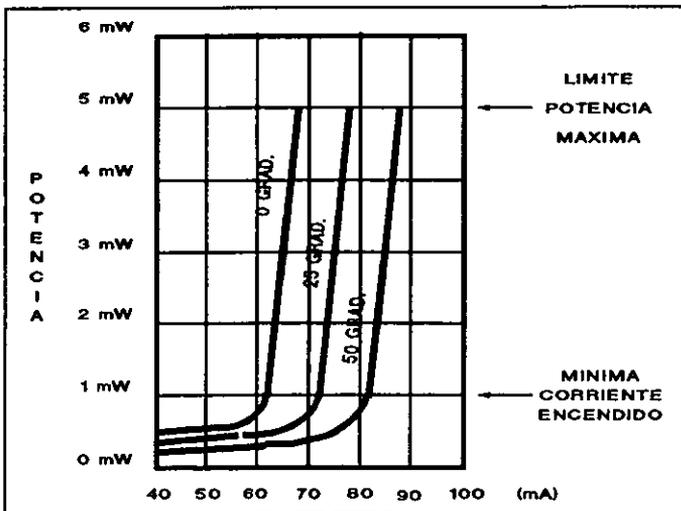


Figura 4.9

En este gráfico se puede observar que si la temperatura varía tendremos que modificar automáticamente la corriente de alimentación, porque superando los 5 mW el diodo se destruye. Por lo tanto, si hiciéramos consumir al diodo 78 mA aprox. a una temperatura de 25°C y ésta descendiera a 18°C el diodo Laser se destruiría.

Además, se puede observar también que en estas curvas la pendiente es muy brusca, por lo que basta una diferencia de pocos miliamperes para apagar el diodo o para quemarlo.

Finalmente, una vez conocido como opera el dispositivo a utilizar, se procede a consultar las especificaciones dadas por el fabricante; algunas de estas son:

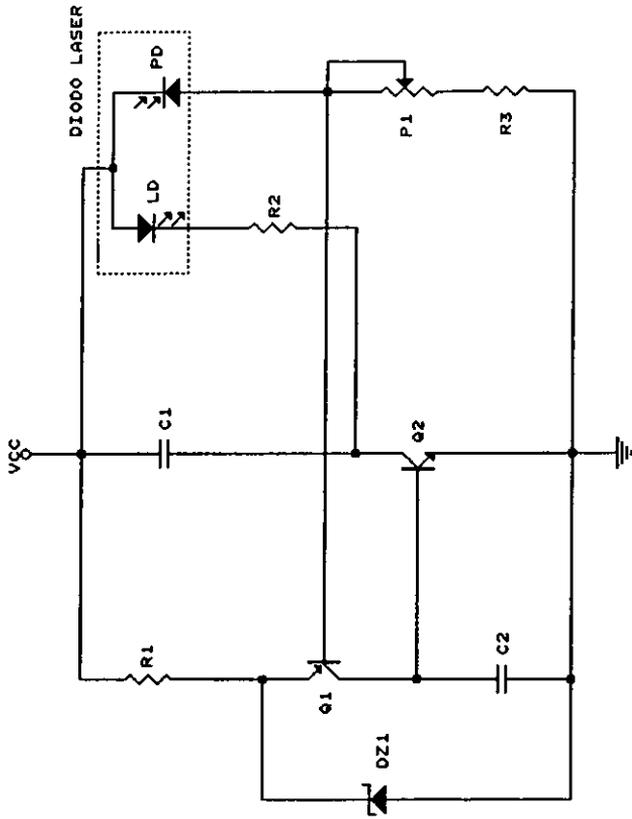
- I<sub>op</sub>:** Es la corriente nominal de operación en el Diodo Laser.
- V<sub>op</sub>:** Voltaje de polarización directa para el Diodo Laser.
- I<sub>th</sub>:** Corriente de umbral, es la corriente mínima para la cual existe emisión laser, por de bajo de esta, el diodo opera como un Led normal.
- P<sub>o</sub>:** Potencia de salida óptica, la cual varía según el Laser desde los mWatts hasta los kWatts.
- V<sub>r</sub>:** Voltaje de polarización inversa para el fotodiodo.
- I<sub>r</sub>:** Corriente en polarización directa para el fotodiodo.
- k<sub>p</sub>:** Pico de longitud de onda emitida.
- h<sub>v</sub>:** Angulo vertical del haz.
- h<sub>h</sub>:** Angulo horizontal del haz.

## Prototipo No. 1

Como se puede observar en las figuras 4.8 y 4.9, si el diodo Laser es polarizado con una corriente menor a  $I_m$  este operará como un LED normal. Por otro lado la curva característica presenta una pendiente muy inclinada en donde la operación Laser tiene lugar; por lo que el intervalo de corriente de operación en modo Laser es muy reducido, por lo tanto, el circuito que alimente al diodo Laser debe operar dentro de estos límites.

Para realizar el primer prototipo comenzamos utilizando el diodo Laser TOLD9200 de Toshiba, que emite en el espectro visible del rojo, y un circuito a transistores como el mostrado en la figura 4.10.

El diodo Laser TOLD9200, consiste de dos secciones, un diodo Laser y un Fotodiodo. El Fotodiodo permite al circuito monitorear la salida óptica del diodo Laser y así producir la retroalimentación necesaria para controlar al circuito y proteger al diodo de los transitorios de voltaje.



PROTOTIPO No. 1

Title

LASER DE SEMICONDUCTOR

Size Document Number

A

FIGURA 4.10

REV

1

Date: December 28, 1994 Sheet 1 of 1

En el circuito de la figura 4.10, el diodo Laser es conectado en serie con la resistencia R2 y el colector de Q2. la corriente a través de Q2 es controlada por Q1. El diodo zener DZ1 de 2.4V, mantiene el voltaje a través de Q1, y R1 limita la corriente del zener. La corriente de colector de Q1, que también es la corriente de base de Q2, es controlada por su base, la cual esta conectada a través de P1 y R3; la corriente proveniente del Fotodiodo desarrolla un voltaje entre estas resistencias, el cual es proporcional a la potencia de salida óptica. Esto constituye la retroalimentación para la estabilización a la salida.

Un incremento en la salida, ocasiona que Q1 entregue menos corriente de base a Q2, resultando esto en menor corriente de alimentación para el diodo Laser. El potenciómetro P1 preselecciona el valor de la corriente de trabajo para el Fotodiodo. El capacitor C2 limita los transitorios en la base de Q2, mientras que C1 limita los transitorios en la línea de alimentación.

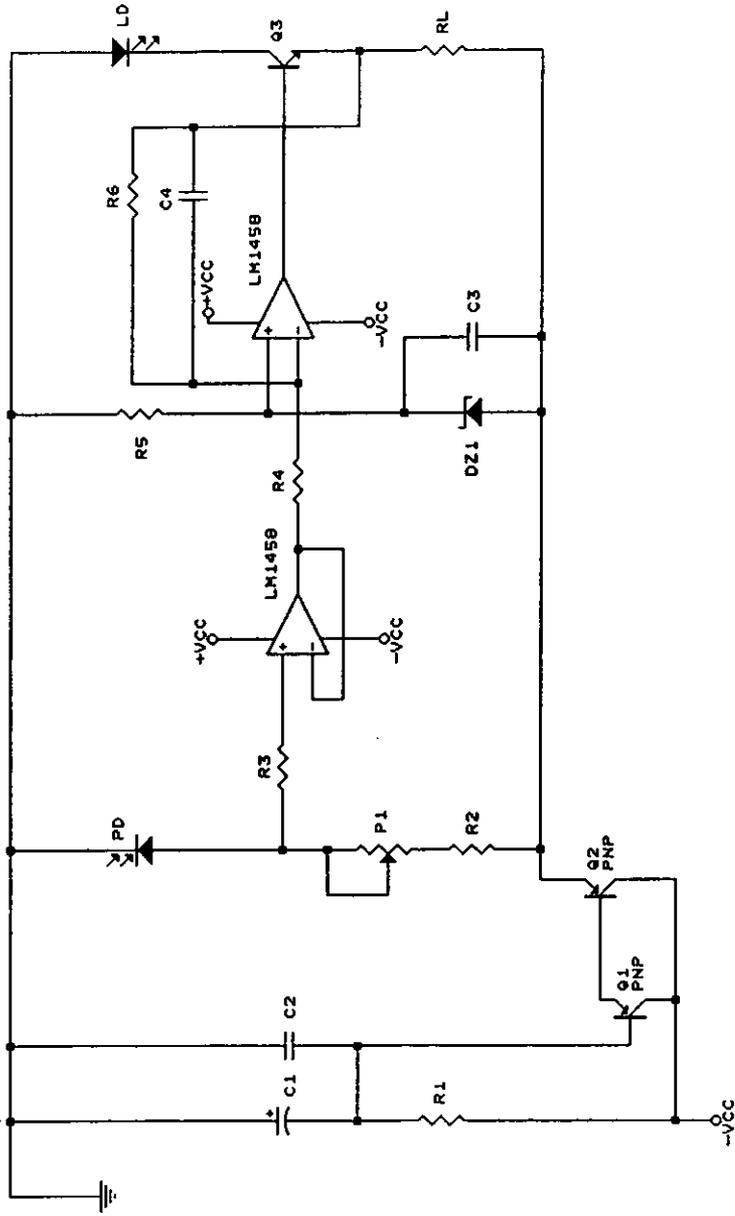
Este circuito presenta una buena operación al polarizar a un diodo Laser solo que para ponerlo en operación es necesario un simulador para el diodo Laser ya que la corriente de operación del Fotodiodo tiene que ser pre-establecida con buen control por parte del potenciómetro y un amperímetro midiendo la corriente en el diodo Laser para no dañarlo, además de que este control también esta en función de los parámetros internos de cada transistor; Sin mencionar los cuidados necesarios para evitar la electricidad estática.

Otro de los puntos importantes en la construcción de este Laser es que el diodo Laser necesita un disipador de calor y un juego de lentes para poder ser enfocado en áreas pequeñas, como se muestra en la figura 4.7, y estos lentes son localizados en el mercado Norteamericano con relativa facilidad, lo cual complica su fabricación.

### Prototipo No. 2

Una evolución del prototipo anterior se muestra en la figura 4.11, el cual utiliza Amplificadores operacionales. Aquí el Fotodiodo es conectado en serie con P1 y R2; la corriente proveniente del Fotodiodo desarrolla un voltaje proporcional entre estas resistencias, el cual es proporcional a la potencia de salida óptica.

Este voltaje pasa a través de R3 para alimentar la entrada No-inversora del primer Amp. Op., el cual está configurado como un seguidor de ganancia unitaria; la salida de este Amp. Op. se conecta a la entrada Inversora del segundo Amp. Op. vía R4, la cual al conectarse con R6 y C4 en ésta misma terminal, forman un integrador para generar una pequeña rampa a la salida y disminuir los transitorios. La terminal No-Inversora del segundo Amp. Op. se conecta a una rama que proporciona un voltaje constante y estable gracias a R5, DZ1 y C3. Finalmente la salida del segundo Amp. Op. controla la base de Q3 el cual está en serie con el diodo Laser y RL que se encarga de limitar la corriente del diodo.



Title		PROTOTIPO No. 2
Size		LASER DE SEMICONDUCTOR
Document Number	A	FIGURA 4.11
REV	1	1
Date:	December 28, 1994	Sheet 1 of 1

Un incremento en la salida, ocasiona que el divisor de voltaje formado por el Fotodiodo, P1 y R2; se vuelva mas positivo, lo cual balancea los voltajes en ambas entradas del segundo Amp. Op. y éste a su vez disminuya la corriente a través de Q3, resultando esto en menor corriente de alimentación para el diodo Laser. Los elementos Q1, Q2, R1, C1 y C2 forman un regulador "Darlington" para aumentar la capacidad de corriente del circuito y pueden ser removidos dependiendo de la regulación de la alimentación.

Este circuito presenta una mejor y más rápida polarización de un diodo Laser solo que para ponerla en operación es necesario también un simulador para el diodo Laser ya que la corriente de operación del Fotodiodo tiene que ser pre-establecida para un buen auto-control del diodo Laser; cabe hacer notar que este circuito no presenta las limitaciones debidas a los parámetros internos de cada transistor como en el diseño anterior, mejorando así su facilidad de armado y reproducción a mayor escala; sin que para esto se deban descuidar las medidas necesarias para evitar la electricidad estática en el diodo.

También, en este diseño el diodo Laser necesita un disipador de calor y un juego de lentes para poder ser enfocado en áreas pequeñas, como se muestra en la figura 4.7, y estos lentes son localizados en el mercado Norteamericano con relativa facilidad, lo cual complica su fabricación.

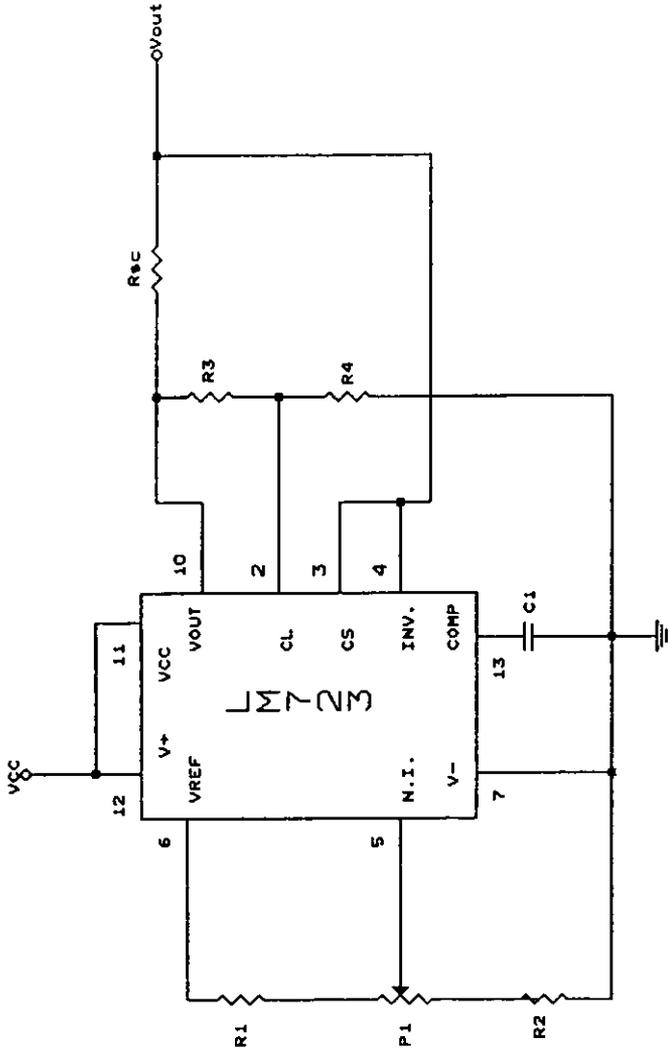
### Prototipo No. 3

Dada la relativa facilidad para obtener diodos Laser, y Lentes pequeños en el mercado Nacional, procedimos a evaluar la posibilidad de usar un Módulo Laser de semiconductor ya existente en el mercado Americano.

Dicho módulo consta de un circuito integrado (en tecnología de montaje superficial) para polarizar al diodo Laser, disipador de calor y los lentes necesarios; todo ya incorporado en un cilindro metálico con las siguientes características:

Potencia de salida:	5 mW
Longitud de Onda:	670 nm, Rojo obscuro
Tamaño de Haz:	80% de la intensidad en 1" cuadrada a 50 pies
Divergencia del Haz:	1.5 mrad. típico
Diámetro del Haz:	4 x 0.6 mm típico
Alimentación:	5 a 10 Vdc @ 55 mA.
Peso:	15 gramos
Rango de Temperatura:	En Operación: -23 a 51 °C. En Almacén: -34 a 60 °C.
Vida Útil:	Hasta 100,000 horas
Garantía:	1 año
Dimensiones:	28.5 mm x 15 mm. diam.

Dadas estas características, lo que hace falta es diseñar una fuente de alimentación para este módulo. Una aproximación se realizó en torno al circuito integrado LM723 en una configuración limitadora de corriente ajustable con retroalimentación, como la mostrada en la figura 4.12.



Title		PROTOTIPO No. 3
Size		LASER DE SEMICONDUCTOR
Document Number		FIGURA 4.12
A	REV	1
Date:	December 28, 1994	Sheet 1 of 1

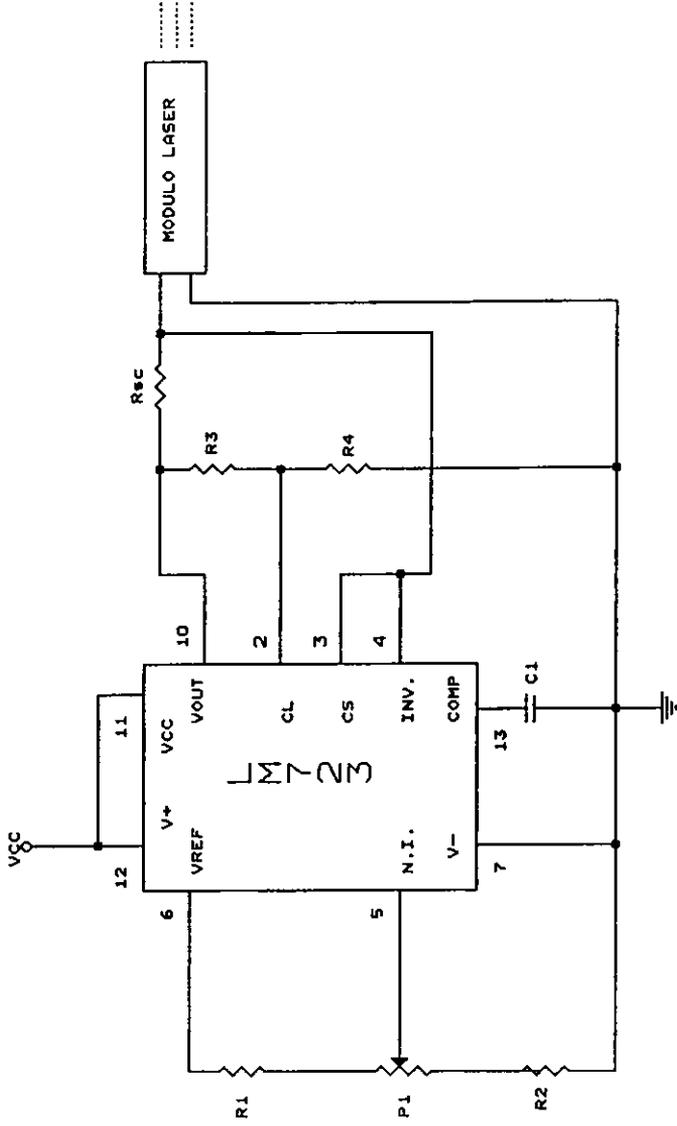
Esta configuración fue tomada de los manuales del fabricante, para obtener los siguientes parámetros de operación:

Voltaje de Salida Regulado:	+5 Vdc
Regulación de línea:	0.5 mV
Regulación de Carga:	1.0 mV
Corriente de Corto Circuito:	20 mA

Como se puede observar, con este circuito es posible obtener un voltaje de alimentación bien regulado para alimentar al modulo Laser, y es de fácil construcción.

#### 4.3.3 Diseño Definitivo:

Tomando en cuenta las restricciones de diseño y los prototipos evaluados anteriormente, se resolvió utilizar el módulo Laser evaluado, ya que con éste, se eliminan el uso externo de disipadores de calor y lentes pequeños, el prototipo se hace más inmune a la estática y a los cambios de temperatura, se minimiza el diseño final, se aumenta su duración y confiabilidad; Y también es de cierto modo más barato y fácil de realizar a gran escala, ya que los costos y trámites de importación de materiales son menores.



Titulo  
DISEÑO DEFINITIVO

Size Document Number  
LASER DE SEMICONDUCTOR

FIGURA 4.13

Date: December 28, 1994 Sheet 1 of 1

REV  
1

En la figura 4.13 se muestra el prototipo definitivo y su conexión al módulo Laser. cabe hacer notar que este módulo Laser, viene protegido contra polarización inversa, transitorios, golpes y agua; mientras que la configuración del circuito LM723 contiene una protección contra corto-circuito, una limitación de corriente y una retroalimentación constante para estabilizar el voltaje a la salida; protegiéndose así a los dos elementos que componen el módulo final de forma simultanea para cubrir la restricción de diseño en cuanto a confiabilidad y durabilidad.

*Diseño de un Módulo de Control  
Para Lasers y Monumentos*

**5.1 Definición:**

Para este proyecto, un Módulo de Control es una unidad electrónica que procesa los datos obtenidos y el status en los monumentos electrónicos y los muestra en un panel de resultados; además proporciona alimentación a los Lasers y a los Monumentos.

Este Módulo de Control, es programado para reportar el status de la alineación en determinados puntos de una máquina semi-automática armadora de llantas, de acuerdo a la secuencia lógica de pasos en la misma.

En caso de detectarse una des-alineación en la máquina, el Módulo de control es capaz de parar la máquina y activar una alarma visual y auditiva, para alertar al supervisor de producción, y tomar las medidas necesarias.

## 5.2 Restricciones de Diseño Específicas:

De las juntas que se tuvieron con el personal de la planta se definió que el Módulo de control presentará las siguientes características:

- a) Que fuese capaz de soportar 4 Lasers y hasta 5 Monumentos de forma simultánea como se muestra en la figura 5.1:

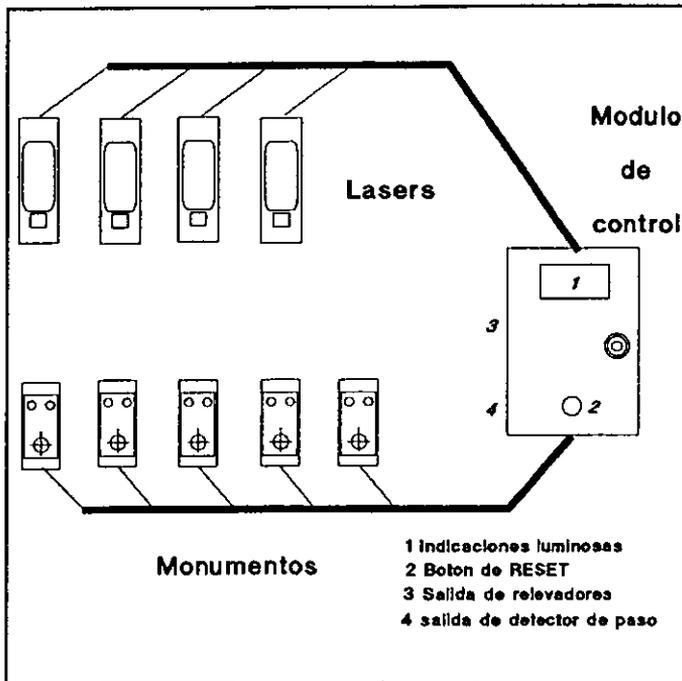


Figura 5.1

Con la opción de que cada Laser y cada Monumento pudiesen ser activados de forma individual e independiente.

- b) El Módulo Control, una vez encendido, será accionado por un Detector de Paso magnético, el cual se activará para un paso de fabricación predeterminado en dónde se desea mantener y monitorear la alineación de la máquina.
- c) Cada Máquina semi-automática armadora de llantas estudiada, presenta de uno a cuatro pasos de operación cuya alineación es crítica. Y a cada uno de éstos pasos de operación corresponden hasta 5 puntos de alineación. Por lo que se especificó que para cada paso de operación crítico, se tuviese un Módulo de Control; necesitándose 5 Módulos de Control máximo para cada máquina trabajando cada uno de forma independiente.
- d) El Módulo de Control, deberá estar contenido en un chasis de dimensiones reducidas, de fácil instalación y operación, y diseñado para trabajar en un medio ambiente rudo.
- e) El Módulo de Control deberá tener un panel frontal con indicaciones luminosas para la alineación correcta de la máquina (OK), y la no alineación (ERR), como se muestra en la figura 5.2.

Además de salidas a contactor de 2P2T @ 3 Amperes para cada una de éstas; esto es con el fin de poder conectar a éstas salidas Alarmas e indicaciones luminosas, así como para poder desactivar la máquina cuando se presente una desalineación.

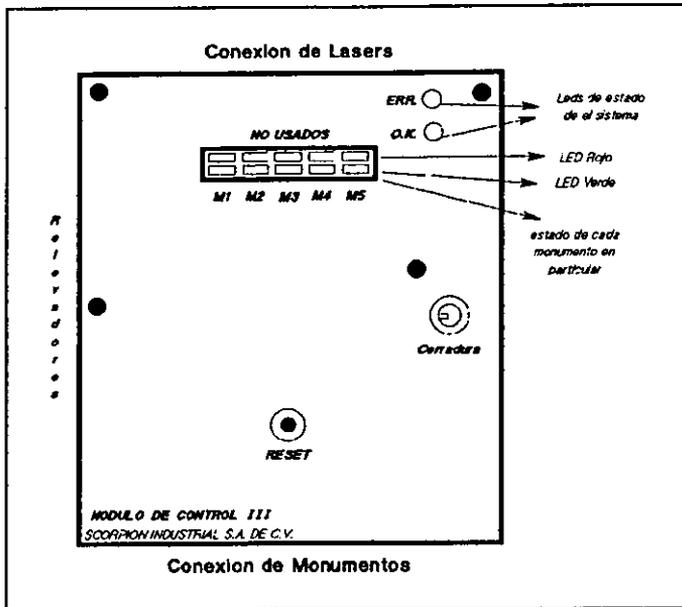


Figura 5.2

- f) Este panel frontal deberá tener también indicaciones luminosas para indicar el status de cada monumento al realizar la prueba.

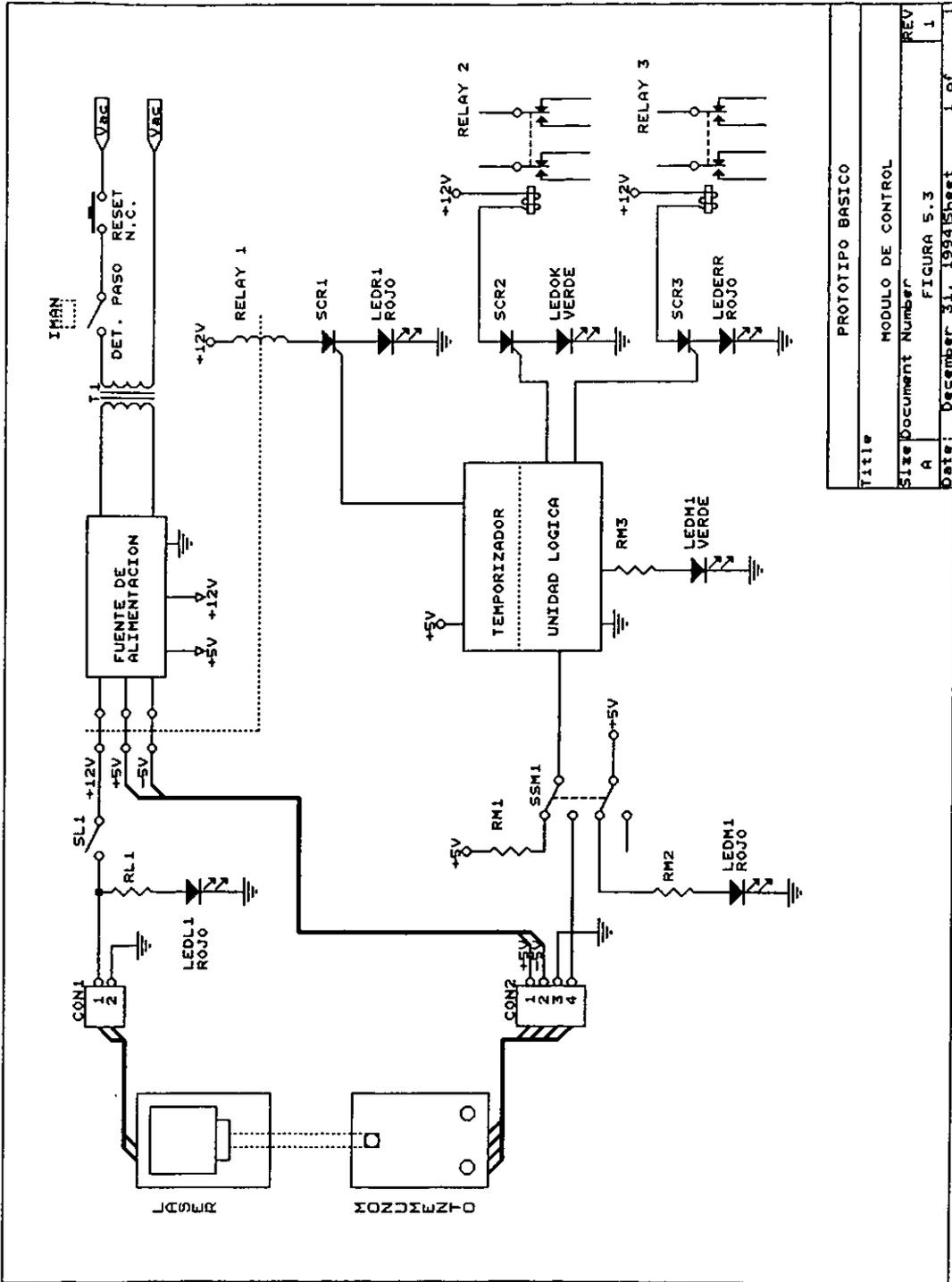
- g) Cada Módulo de control deberá contar con un botón de RESET ó Re-inicialización, para devolver el control a la máquina armadora cuando la falla haya sido corregida y volver a realizar la prueba de alineación.

### **5.3 Prototipo Básico:**

De acuerdo con las restricciones de diseño expuestas anteriormente, se procedió a conjuntar todas las restricciones con las características de operación de los Monumentos y de los Lasers, para obtener el prototipo básico que se muestra en la figura 5.3.

Este Prototipo opera de la siguiente manera: Una vez conectado el equipo a la red eléctrica, el prototipo esperará hasta que el detector de paso sea activado para poder energizar a todo el circuito vía el transformador.

Cuando el detector de paso es activado, el voltaje y la corriente inducidos en el secundario del transformador son rectificadas y filtradas en la Fuente de Alimentación, la cual tiene 3 salidas conectadas a los contactos normalmente cerrados de un relevador. Además, cuenta con otras dos salidas para la alimentación de la demás circuitería; una de las cuales activa un temporizador, el cual desactiva al Laser y al Monumento (vía el relay 1) después de transcurrido un tiempo determinado con el fin de evitar dañar la vista del operador de la máquina.



TITULO	
PROTOTIPO BASICO	
MODULO DE CONTROL	
Size	Document Number
A	FIGURA 5.3
Date:	December 31, 1994
Sheet	1 of 1

De los contactos normalmente cerrados, se alimenta al Laser y al Monumento. Al activarse el Laser, el Monumento detecta la incidencia o no incidencia del Laser y envía una señal a la unidad lógica; esta señal pasa antes por el switch SSMI, con el cual se puede elegir la utilización ó No utilización la señal proveniente del Monumento. Ya en la Unidad Lógica, la señal proveniente del Monumento es procesada, para mostrar dos tipos de salidas: Si hay incidencia de Laser, la Unidad Lógica activará al SCR2, el cual activará al relay 2 y al indicador LEDOK en el panel frontal; además activará al indicador LEDMI para mostrar el status del monumento en el panel frontal. Si No hay incidencia de Laser, la Unidad Lógica activará al SCR3, el cual activará al relay 3 y al indicador LEDERR en el panel frontal.

En ambos casos los relays 2 y 3 sirven para conectar alarmas, indicadores, etc..., e incluso desactivar la máquina a la que está conectado el sistema.

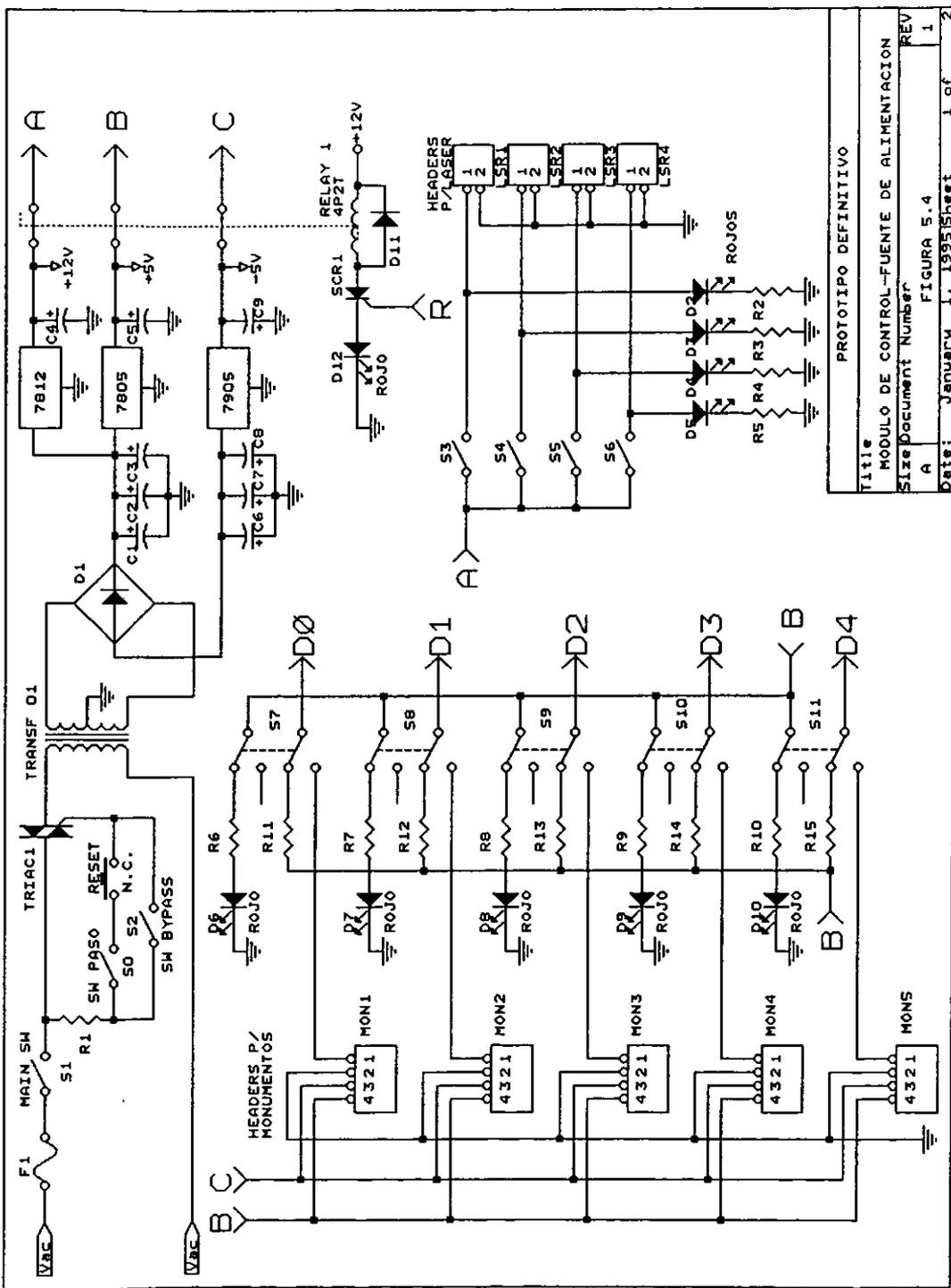
Una vez definido y comprobado el funcionamiento de este prototipo básico se procedió a realizar el diseño definitivo del Módulo de Control para 4 Lasers, 5 Monumentos y una lógica de operación para una alineación pre-establecida.

#### 5.4 Diseño Definitivo:

Para el diseño definitivo de este Módulo de Control, bastó con revisar y modificar un poco el diseño básico expuesto anteriormente. Este diseño consta en forma general de 2 partes: Fuente de alimentación y Unidad Lógica.

La Fuente de alimentación, mostrada en la figura 5.4, se activa al cerrar el switch S1 y No energiza al transformador hasta que se activa el detector de paso, el cual cierra el circuito que activa la compuerta del TRIAC1 y este a su vez energiza el primario del transformador. El switch S2 se utiliza cuando no se desea utilizar el detector de paso; y el interruptor momentáneo de "Reset" se utiliza para reinicializar el sistema estando el detector de paso en posición.

En el secundario del transformador, la corriente y el voltaje inducidos son rectificadas y filtradas para luego entrar a una etapa reguladora de voltaje; la cual consta de dos reguladores monolíticos de la serie 78XX y uno de la serie 79XX para suministrar +12 Vdc y -5 Vdc a todos los componentes del sistema. De forma particular las salidas A, B y C alimentan a los Laser y a los Monumentos; y están controladas por el Relay 1, el cual es activado (contactos se abren) vía un pulso en la compuerta del SCR1 proveniente de la unidad Lógica, con el fin de desactivar a los Lasers y a los Monumentos una vez finalizada la prueba de alineación.



PROTOTIPO DEFINITIVO

Title	MODULO DE CONTROL -FUENTE DE ALIMENTACION
Size	Document Number
A	FIGURA 5.4
Date:	JANUARY 1, 1995 Sheet 1 of 2

También se incluyen los componentes para la configuración de Monumentos y Lasers a utilizar en el sistema. Por ejemplo, los switches S3 a S6 se encargan de encender cada Laser conectado al Módulo de control. Mientras que los switches S7 a S11 se encargan de seleccionar el modo de operación de cada Monumento, ya sea modo **Bypass** ó modo **Activo**, estos se explican a continuación:

**Modo Bypass:** Este modo de operación se usa cuando No se desea conectar ó usar la señal proveniente de un Monumento; y se da cuando el switch en cuestión esta en la posición indicada en la figura 5.4.

En esta posición, se inyectan +5 Vdc (1 Lógico) a la salida D correspondiente. Indicándose este estado por medio de un LED de color rojo en el panel frontal (D6 a D10).

**Modo Activo:** Este modo de operación se usa cuando Sí se desea conectar ó usar la señal proveniente de un Monumento; y se da cuando el switch en cuestión está en la posición contraria a la indicada en la figura 5.4.

En ésta posición, la señal proveniente del Monumento (0 ó 1 lógico) pasa directamente a su salida D correspondiente.

En cuanto a la Unidad Lógica, ésta se muestra en la figura 5.5, y se encarga de procesar las señales provenientes de cada Monumento para evaluar si existe o no alineación en la máquina. Consta básicamente de un Temporizador y de una Unidad Lógica Programable.

De forma general, el Temporizador funciona de la siguiente manera: Al encender el sistema (Detector de paso activado) el relay 2 se dispara y manda la terminal 15 de U2 a tierra, inicializándolo; al mismo tiempo, U1, configurado como un multivibrador estable, comienza a generar pulsos cada segundo, enviándolos como señal de reloj a la terminal 14 de U2, el cual está configurado como un "contador a N y paro" con ayuda de los DIP-Switch 1, 2 y 3; los DIP-Switch se utilizan para determinar el tiempo que la Unidad Lógica Programable debe esperar antes de dar por válida una prueba de alineación en la máquina. Haciendo la selección apropiada, el DIP 1 se encarga de reinicializar a U2 una vez que pasa el tiempo seleccionado; del mismo modo el DIP 2 se encarga de habilitar la entrada de las señales provenientes de los Monumentos a la Unidad Lógica Programable, y el DIP 3 proporciona un pulso que activa al SCR1 en la fuente de alimentación.



Para la Unidad Lógica Programable, tenemos que ésta se compone de un chip de Lógica Programable tipo GAL (Generic Array Logic), esta familia de dispositivos digitales nos da la flexibilidad de programación que se necesita en este proyecto, ya que cuenta con un potencial enorme para programar en su interior varias compuertas, registros y entradas/salidas digitales, sustituyendo el uso de un número considerable de circuitos lógicos.

Para este diseño se eligió el GAL16V8, dispositivo E<sup>2</sup>CMOS de bajo consumo, el cual cuenta con 16 arreglos de entrada (8 de entrada/salida programable de tres estados, y 8 de entrada solamente), permite un mínimo de 100 ciclos de borrado/escritura según el fabricante y cuenta con un bit de seguridad para proteger la programación contra copia.

En la figura 5.5, las señales provenientes de los Monumentos son procesadas en el momento que el GAL16V8 recibe la señal de habilitación dada por el DIP 2. Y de acuerdo a la lógica programada en el GAL, éste habilita la salida OK para una correcta alineación, y ERR en caso contrario, además de mostrar el status de cada Monumento.

Para aclarar este punto, utilizaremos como ejemplo un circuito programado en el GAL, como el mostrado en la figura 5.6.

En este las señales de los Monumentos pasan por un Buffer con dos salidas; cada salida No inversora se conecta a dos compuertas AND de 5 entradas seguidas de una OR de una entrada, cuya salida es en un caso de lógica positiva (OK) y en el otro de lógica negativa (ERR); Por otro lado cada salida inversora es conectada a una compuerta AND seguida de una OR de una entrada cuya salida en este caso es de lógica positiva; cada compuerta OR es debida al diseño interno del GAL.

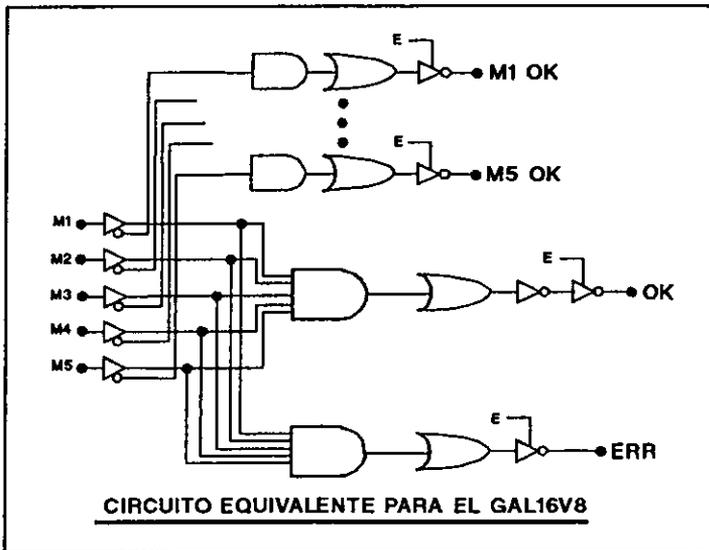


Figura 5.6

Utilizando este ejemplo y aplicándolo al GAL de la figura 5.5, tenemos la siguiente tabla de verdad:

D4	D3	D2	D1	D0	OK	ERR	M4	M3	M2	M1	M0
1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
X	X	X	X	X	0	1	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

X = En  $D_n$  Por lo menos un 0

- = 1 para un 1 en  $D_n$  y 0 para un 0 en  $D_n$

1 = Incidencia de Laser en Monumento

0=No Incidencia

De acuerdo a las características expuestas anteriormente para los Monumentos, cuando un Monumento detecta, "/no detecta la incidencia de Laser" en su sensor, envía al GAL un 1/0 lógico según sea el caso. De la tabla de verdad anterior y de las figuras 5.5 y 5.6 se puede observar que, en este caso: si todos los Monumentos detectan la incidencia de un Laser, las salidas OK y M0-M4 del GAL serán 1, activando a la circuitería conectada a éstas; pero si sólo un Monumento no detecta un Laser en su sensor, la salida ERR será de 1 activando a su circuitería conectada, mientras que, para M0-M4 la salida será 0 y por tanto la No activación de su circuitería.

Como se puede observar la utilización del GAL16V8 tiene muchas posibilidades, en la alineación de las máquinas estudiadas, y abre también la utilización del sistema en otros tipos de máquinas y funciones.

### 5.5 Pruebas de Campo del sistema Completo:

Una vez configurado todo este sistema de alineación por Laser, se procedió a probarlo instalándolo en una máquina semi-automática armadora de llantas de tipo R-3 , cuyo funcionamiento general fue expuesto en el inciso 2.4 del presente trabajo.

Para fines demostrativos, se eligió utilizar la segunda etapa del armado final de una llanta radial; la cual presenta el último punto de alineación deseado en el proceso de construcción para este tipo de máquinas. Recordando un poco de este último paso y con ayuda de la figura 5.7:

\* Después de que el arillo de transferencia toma el paquete de breakers y piso y lo transfiere a los arillos de sujeción (los cuales ya contienen la carcasa previamente colocada por el operador), la carcasa se "infla" para que el arillo de transferencia se posicione sobre los arillos de sujeción de la carcasa y deposite el paquete de breaker y piso que será asentado con rodillos a la carcasa. terminado el asentamiento, los arillos de sujeción se colapsan y la llanta "verde" ó cruda se retira de la máquina para pasarla a la etapa de vulcanización. \*

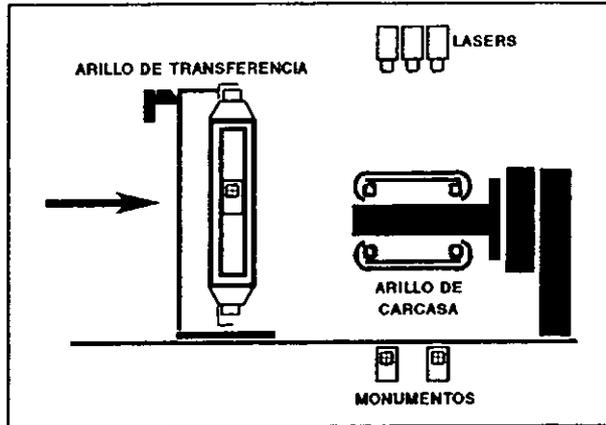


Figura 5.7

Y es precisamente en el punto donde la carcasa se infla, y el arillo de transferencia se posiciona para depositar el paquete de breakers y piso; en donde la alineación de la máquina es crítica, ya que si la carcasa no se "infla" correctamente el centro del "globo" se pierde; y en cuanto al arillo de transferencia, si este no está alineado al centro de la carcasa, el paquete de breaker y piso será colocado fuera de centro; ocasionandose por ambos lados problemas de Conicidad<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Los problemas de Conicidad en una llanta son provocados por la aglomeración de material en un extremo del piso de la llanta, y provocan que la llanta al girar tienda a irse de lado.

Estos problemas, comenzaron a resolverse con el uso del sistema de alineación expuesto, utilizándolo como se muestra en la Figura 5.8.

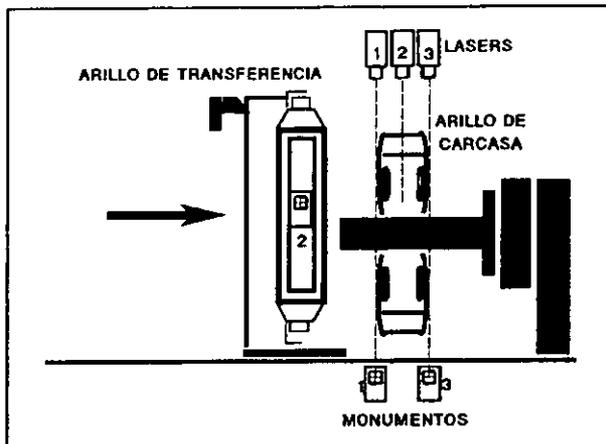


Figura 5.8

En la figura 5.8, se utilizan 3 Laser y 3 Monumentos; los monumentos 1 y 3 sensan la alineación de la carcasa cuando esta se "infla", y el Monumento 2 sensa la alineación del arillo de transferencia cuando este se posiciona al centro de la carcasa.

Una vez instalado el sistema de alineación, con los Lasers y Monumentos mostrados, y el detector de paso (que se activará al estar el arillo de transferencia en posición).

Se procedió a configurar el sistema, utilizando solo los 3 primeros Lasers y los Monumentos 1, 2 y 3, dejando a los Monumentos 4 y 5 en modo **bypass**. También se configuraron los DIP-Switch para que el tiempo de prueba fuese de 3 segundos, sin perturbar con esto el tiempo total de operación de la máquina.

Inmediatamente después de poner en operación al sistema, vía el detector de paso, se encenderán los Laser y los Monumentos; al mismo tiempo, el reloj interno contará 3 segundos; y al finalizar la secuencia de tiempo, el sistema validará la detección o no-detección de Laser en cada uno de los Monumentos; y de acuerdo a la lógica establecida en la Unidad Lógica Programable se obtendrá una salida correcta (OK) ó errónea (ERR) en el panel y en los relays 3 y 4. Al segundo siguiente se apagarán los Lasers y los Monumentos, quedando las salidas obtenidas en el panel y los relays sin cambio.

Este estado No variará hasta que el sistema sea desactivado vía el detector de paso, es decir, que el arillo de transferencia regrese a su posición original al iniciar el proceso.

Otra forma de desactivar y volver a realizar la prueba es utilizando el botón de Reset, el cual al ser oprimido permitirá que las entradas y salidas anteriores se borren y se proceda a realizar la prueba nuevamente.

En la práctica, la instalación del sistema fue relativamente sencilla, y la operación del sistema a largo plazo obtuvo los resultados esperados, y como en todo diseño, surgieron algunas modificaciones y mejoras que con el tiempo se fueron atendiendo.

Actualmente el primer sistema instalado (Mayo'92) funciona sin ningún problema y se está comenzando el diseño de la tercera generación de este tipo de sistema, agregando modificaciones y mejoras de acuerdo a lo que se ha venido aprendiendo; todo esto como resultado de la implementación de un proceso de Mejora Continua dentro de la planta en la que se desarrolla este proyecto.

## CONCLUSIONES

Como se puede observar en el desarrollo del presente trabajo, el sistema de alineación implementado aplicando los principios de Autonomización y las estrategias de KAISEN en el proceso estudiado; Permitieron desarrollar un equipo sencillo, de bajo costo, con posibilidades de crecimiento y de fácil manejo, el cual tiene como resultado inicial un incremento en la producción diaria de llantas de: 3.22% aprox. por máquina (de 1'395 a 1'440 Unidades/día)

Además, gracias a que los errores en el armado de la llanta debidos a un "Set-up" deficiente o caduco en la máquina, son detectados en el momento y no hasta el final como se tenía anteriormente; los costos por conservación y reparación de la máquina, por material desperdiciado, por servicios utilizados, por horas de trabajo de hombres y maquinaria que trabajan en llantas defectuosas ha disminuido considerablemente.

Por otro lado, el sistema proporciona a los supervisores de producción un control visual más rápido y eficiente del estado de cada máquina a su cargo, mejorando así la administración de los recursos productivos de la planta. Cabe hacer notar que actualmente el uso de este sistema está ayudando a mejorar el historial técnico y estadístico de cada máquina, esto es: ha ayudado a sentar nuevos criterios de reemplazo de equipo, ampliación y reestructuración de la planta, procedimientos de reparación y conservación de equipo.

Desde el Punto de vista tecnológico y de operación diaria, el sistema ha mostrado una alta confiabilidad, dado que a la fecha los paros de máquina han sido debidos a mantenimientos correctivos propios de la máquina y a mantenimientos preventivos programados a máquina y sistema de alineación. En cuanto a las constantes modificaciones a las que el equipo es sometido, el sistema se ha adaptado fácilmente sin recurrir a modificaciones considerables en su operación, es decir, ha sido capaz de "crecer" con la máquina con ayuda de nuevas tecnologías y nuevos accesorios, en su mayoría de obtención nacional.

Este ejemplo de implementación de una Cultura de Calidad Total en una planta mexicana, pese a que mucha gente opina que no es aplicable a países en vías de desarrollo como el nuestro; ha permitido concluir que la diferencia no es de nacionalidad sino de mentalidad.

Y finalmente, como proveedor a cargo del desarrollo de este proyecto, se puede concluir que en un mercado global como el que se vive actualmente, las compañías nacionales, para poder competir sanamente, tienen que implantar Culturas de Calidad Total y ofrecer productos o servicios que tengan una verdadera ventaja competitiva, ya sea en costo, diferenciación o alta segmentación.

## B I B L I O G R A F I A

Imai, Masaaki; KAISEN La Ventaja Competitiva Japonesa; Editorial CECSA, México, 1990.

Goldratt, Eliyahu M. y Cox, Jeff; LA META. Un Proceso de Mejora Continua; Ediciones Castillo, México, 1990.

Eirich, Frederick R.; Science and Technology of Rubber; Editorial Academic Press, Inc., United States of America, 1978.

Hecht, Jeff; The Laser Guidebook; Editorial McGraw-Hill, United States of America, 1986.

McComb, Gordon; The Laser CookBook; Editorial TAB, United States of America. 1988.

Malvino, Albert Paul; Principios de Electrónica; Editorial McGraw-Hill, México, 1986.

National Semiconductors; Programable Logic Devices Databook and Design Guide; United States of America, 1990.

Marston, Ray M.; Photosensitive Devices; "Radio Electronics" a Gernsback publication, United States of America, July 1992.