

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO PARA EL  
CORTE  
DE VIDRIO LAMINADO PLANO.**

PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA**  
POR LOS BACHILLERES:

**BRICEÑO V., WILLISTON D.  
DÁVILA C., JULIO C.**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO**

CARACAS, 2.007

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO PARA EL CORTE DE VIDRIO LAMINADO PLANO.**

TUTOR ACADÉMICO:

**Prof. ANTONIO BARRAGAN.**

PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA**  
POR LOS BACHILLERES:

**BRICEÑO V., WILLISTON D.  
DÁVILA C., JULIO C.**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO**

CARACAS, 2.007



Caracas, Abril 2007.

Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los alumnos: *Williston D. Briceño V. y Julio C. Dávila C.*, titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO PARA EL CORTE DE VIDRIO LAMINADO PLANO”**

Consideran que le mismo cumple con los requisitos por el plan de estudios conducente al Titulo de Ingeniero Mecánico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con los las ideas expuestas por los autores, lo declaran **APROBADO**.

  
Prof. Fausto Carpentiero  
Jurado

  
Prof. Víctor Falcón  
Jurado

  
Prof. Antonio Barragán  
Tutor



## ***DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS.***

En este momento tan especial para mi doy gracias a dios por haberme dado las fuerzas necesarias para comenzar y finalizar todo este proyecto.

A la empresa Gris y Bronce C.A. por haber creído en mí, por el gran esfuerzo que realizo, por apoyarme y haberme dado la oportunidad de formar parte de ella en la realización de este gran proyecto.

A todas mis amistades por la disposición que tuvieron de ayudarme y de enseñarme en todo momento.

A mi compañero de tesis y amigo, Julio Cesar Dávila Collazo, por haberme acompañado en esta experiencia que me hizo crecer personalmente, académicamente y laboralmente, por haberme brindado su amistad y confianza en cada situación vivida, sin su esfuerzo este proyecto no se hubiese hecho realidad.

A mis Padres que en los momentos buenos y malos me apoyaron, me acompañaron, me guiaron y me dieron todas las herramientas posibles e imposibles para lograr cumplir con esta meta, me enseñaron lo importante de ser constante en la vida, por la confianza que me dieron y por haber creído en mi. Sin ellos esto fuera solo un sueño. GRACIAS.

**Briceño Villasmil, Williston David.**

## ***DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS.***

Quiero dedicarle este trabajo especialmente a mi padre, quién siempre ha estado a mi lado en todo momento, me ha ayudado, me ha enseñado y me ha dado todo lo que le he necesitado y mucho más, para que nunca me haya faltado absolutamente nada en todos los sentidos posibles, gracias por tu paciencia, muchas gracias papá.

También quiero brindarles un agradecimiento especial a mi tío y a mi primo que siempre me apoyaron, con quienes siempre conté y contaré, esto va por ustedes también.

Para mis abuelos quiero darles con este trabajo un recuerdo con mucho cariño, se que esto les dará una gran alegría, los quiero mucho abuelos.

A todos a mis amigos, gracias a dios que son muchos y sería difícil nombrarlos a todos, muchas gracias por acompañarme en esta aventura, por apoyarme, comprenderme y compartir conmigo todas esas experiencias, muchas gracias.

Gracias a Ludolfo Malavé, colaborador principal y fundamental en la construcción de la máquina, sin él esto nunca se hubiera realizado... ¡la mitad de la nota es tuya mi pana!

Gracias al Sr. Pieri por toda esa paciencia que tuvo con este proyecto

Gracias Will por aceptar el reto, por luchar conmigo hasta terminarlo y por la amistad que me has brindado durante todos estos años, y por todos los que vienen.

Gracias Dios y gracias mis seres queridos por llegar hasta aquí conmigo, gracias a los que están y también a los que no están, su presencia perdura a través del tiempo.

...gracias mamá, donde quiera que estés...

**Dávila Collazo, Julio César.**

**Briceño V., Williston D. Dávila C., Julio C.**

## **DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MECANISMO PARA EL CORTE DE VIDRIO LAMINADO PLANO**

Tutor académico: Prof. Antonio Barragán. Trabajo de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de ingeniería Mecánica. 2007. 125 pág.

### **Vidrio, Polivinilbutiral, Laminado, Corte.**

Se presentaron todos los pasos que se realizaron para diseñar y construir un mecanismo de corte de vidrio laminado, se hicieron varias propuestas a partir de una tormenta de ideas tales como sierra vertical, riel de corte doble horizontal, sierra de corte horizontal, riel de corte doble vertical, máquina de corte simple con control numérico y a partir de una matriz de opinión se eligió el riel de corte doble horizontal como la solución mas viable.

Construimos una serie de mecanismos para realizar los procedimientos experimentales de los cuales obtuvimos unos datos fundamentales para la construcción, tales como la presión necesaria para realizar el rayado y la rotura del vidrio laminado según su espesor. Realizamos todos los cálculos necesarios que nos permitieron construir todas las partes de la maquina, cálculo de la viga principal, cálculo de los tornillos, calculo de soldaduras, cálculos de los ejes, entre otros.

Por medio de un programa de PC (AUTOCAD) presentamos todos los planos de construcción, eléctricos, neumáticos, con sus respectivas leyendas. Para finalizar realizamos un manual que contiene como ensamblar y operar la maquina, contiene todas las partes del mecanismo señaladas en una serie de figuras, mesa móvil, porta herramientas, pistones, células fotoeléctricas, sistema de control, etc. con su respectivo plan de mantenimiento.

## *INDICE DE TABLAS*

<b>Tabla 1</b>	Composición de Vidrios Comerciales.....	7
<b>Tabla 2</b>	Densidad, Conductividad Térmica y Eléctrica de Diferentes Materiales. ....	17
<b>Tabla 3</b>	Propiedades Físicas del PVB .....	20
<b>Tabla 4</b>	Propiedades Químicas del PVB .....	20
<b>Tabla 5</b>	Propiedades Mecánicas del PVB .....	21
<b>Tabla 6</b>	Propiedades Térmicas del PVB.....	21
<b>Tabla 7</b>	Propiedades Eléctricas del PVB.....	21
<b>Tabla 8</b>	Escala de Evaluación de los Mecanismos Propuestos .....	35
<b>Tabla 9</b>	Valos Porcentual de los Parametros a Evaluar.....	36
<b>Tabla 10</b>	Matriz de Decisiones.....	37
<b>Tabla 11</b>	Fuerza Para Fracturar Vidrio Monolítico Según su Espesor.....	45
<b>Tabla 12</b>	Promedio de Fuerza Para Fracturar Vidrio Monolítico Según su Espesor ...	46
<b>Tabla 13</b>	Desviación Estándar del Promedio de Fuerza Para Fracturar Vidrio Monolitico Según su Espesor.....	46
<b>Tabla 14</b>	Presion Para Rayar el Vidrio, Calidad del Rayado y Corte .....	50
<b>Tabla 15</b>	Fuerza Aplicada Para Fracturar el Vidrio Laminado (Lado 1) .....	56
<b>Tabla 16</b>	Fuerza Aplicada Para Fracturar el Vidrio Laminado (Lado 2) .....	57
<b>Tabla 17</b>	Promedios de Fuerza Aplicada Para Fracturar el Vidrio Laminado (Lado 1) .....	58
<b>Tabla 18</b>	Desviación Estándar del Promedio de Fuerza Aplicada Para Fracturar el Vidrio Laminado (Lado 1) .....	58
<b>Tabla 19</b>	Promedios de Fuerza Aplicada Para Fracturar el Vidrio Laminado (Lado 2) .....	58

<b>Tabla 20</b> Desviación Estándar del Promedio de Fuerza Aplicada Para Fracturar el Vidrio Laminado (Lado 2) .....	59
<b>Tabla 21</b> Tubo Estructural Acabado en Caliente - Dimensiones Nominales y Características de los Perfiles Huecos de Sección Rectangular .....	75
<b>Tabla 22</b> Propiedades Adhesivas del PVB .....	91
<b>Tabla 23</b> Propiedades Mínimas a la Tensión del Material Soldante Para Soldadura de Arco.....	96
<b>Tabla 24</b> Esfuerzos Permitidos por el Reglamento AISC Para Metal Soldante .....	96
<b>Tabla 25</b> Costos.....	108

# INDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
1.1    Antecedentes .....	1
1.2    Planteamiento del problema.....	1
1.3    Objetivos. ....	2
1.3.1    Objetivo general:.....	2
1.3.2    Objetivos específicos: .....	2
1.4    Alcances. ....	3
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>4</b>
2.1    Marco teórico .....	4
2.1.1    El vidrio.....	4
2.1.2    Polivinilbutiral .....	16
2.1.3    Métodos estadísticos .....	22
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>25</b>
3.1    Marco Metodológico.....	25
3.1.1    Metodología del diseño .....	25
3.1.2    Planteamiento del problema.....	29
3.1.3    Análisis del problema.....	30
3.1.4    Búsqueda de soluciones .....	30
3.1.5    Fase de decisión y Análisis Morfológico .....	34
3.1.6    Matriz De Decisiones .....	36
3.1.7    Resultados de la Matriz De Decisiones.....	37
3.1.8    Especificaciones de la propuesta seleccionada .....	37
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>40</b>
4.1    Procedimientos Experimentales .....	40
4.1.1    Cálculo de la fuerza necesaria para fracturar el vidrio monolítico. ....	41
4.1.2    Cálculo de la presión de corte para rayar el vidrio.....	47
4.1.3    Cálculo de la fuerza necesaria para fracturar el vidrio laminado.....	53
4.1.4    Cálculo de la velocidad. ....	60
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>62</b>
5.1    . Cálculos.....	62
5.1.1.    Cálculo de los tornillos como elemento de unión. ....	62
5.1.2.    Cálculo de la viga principal de soporte. ....	70
5.1.3.    Cálculos del mecanismo de transmisión del porta herramientas. ....	77
5.1.4.    Cálculo de la potencia del motor.....	80
5.1.5.    Cálculo de los diámetros del eje.....	81
5.1.6.    Cálculo de las Chavetas. ....	84
5.1.7.    Cálculo de los engranajes de la mesa de separación del polivinilbutiral. ....	85
5.1.8.    Cálculo del pistón para el sistema de separación del polivinilbutiral. ....	88
5.1.9.    Cálculo del pasador del sistema de presión del vidrio. ....	92
5.1.10.    Cálculo de transferencia de calor. ....	93
5.1.11.    Cálculo de soldadura. ....	95
5.1.12.    Cálculo del sistema de control y sistema neumático.....	100

5.1.13. Costos.....	108
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>109</b>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
Conclusiones.....	109
Recomendaciones.....	111
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>112</b>
7.1. Manual de Ensamblaje, Mantenimiento y Operación. ....	112
Introducción. ....	112
7.2. Manual de ensamble.....	113
7.2.1. Mecanismos y partes principales .....	114
7.3. Manual de mantenimiento.....	119
7.3.1. Descripción de las diferentes partes de la máquina, función y mantenimiento.....	119
7.4. Manual de operación. ....	122
7.5. Seguridad. ....	124
7.6. Recomendaciones generales.....	124
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>125</b>

## *CAPÍTULO I*

### **1.1 Antecedentes**

Lavange y Miranda (1999), diseñaron una máquina automática que fabrica alambre para bastidores de colchones en serie. Se basaron inicialmente en una investigación detallada sobre distintas máquinas que realizan procesos semejantes, posteriormente se analizaron diferentes alternativas, eligiendo la más adecuada de acuerdo a criterios de diseño y factibilidad de futura construcción, en definitiva, el trabajo recorre las distintas alternativas existentes en la confección de una máquina dobladora de alambres, que permite optimizar los tiempos de ejecución y la vez logre la rentabilidad deseada.

Gutiérrez y Gallardo (1982), decidieron estudiar las propiedades termo físicas de los vidrios tratados por Templex C.A, debido al auge de las edificaciones con cubiertas de vidrio y la diversidad de opiniones en cuanto a consumo energético, con el objetivo de sentar un precedente y dejar establecidos los valores que intervienen en la conducción y radiación a través de los vidrios.

En el mercado existen varias empresas que fabrican mecanismos para el corte de vidrio laminado plano, destacándose, Z Bavelloni, Bobone, Bohle, Fratelli Pezza, entre otras. La mayoría de los modelos fabricados por estas compañías son totalmente automatizados, con alta precisión y velocidad de corte. Las desventajas principales de estas máquinas es que para realizar el corte se tiene que voltear la lámina de vidrio, colocarla de nuevo en la mesa y realizar el segundo corte, aunado a esto están los elevados costos de la máquina.

Algunos de los modelos de máquinas para el corte de vidrio laminado plano presentes en el mercado son:

- ⊗ Mesa para corte rectilíneo de vidrio laminado HART MA., las especificaciones son: Tiempo de corte: 30-60 seg., dimensión de trabajo: 3760 x 3300 mm, precisión del corte:  $\pm 0,3$  mm., potencia instalada: 8,6 Kw., precio 60000 €.
- ⊗ Mesa para corte rectilíneo de vidrio laminado HART MM, las especificaciones son: Tiempo de corte: 30-60 seg., dimensión de trabajo: 3760 x 1800 mm., precisión del corte:  $\pm 0,3$  mm., potencia instalada: 8,1 Kw., precio 52000 €.
- ⊗ Mesa para corte rectilíneo de vidrio laminado con control numérico CAMPO modelo LAMEI 4600, las especificaciones son: Tiempo de corte: 30-60 seg., dimensión de trabajo: 4000 x 3000 mm., precisión del corte: 0,15 mm., potencia instalada: 9,5 Kw., precio 79000 €.
- ⊗ Mesa para corte rectilíneo de vidrio laminado con control numérico CAMPO modelo LAMPO SJC, las especificaciones son: Tiempo de corte: 35-65 seg., dimensión de trabajo: 3210 x 6000 mm., precisión del corte: 0,15 mm., potencia instalada: 12 Kw., precio 90000 €.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El vidrio laminado es un material delicado que hay que saber como manipularlo. Independientemente de su gran resistencia a impactos frontales, es muy vulnerable a golpes en sus cantos, esto ocasiona gran cantidad de roturas durante su proceso de corte manual debido a la excesiva manipulación a la que es sometido. El diseño a presentar tomará en cuenta lo anterior junto a otros aspectos importantes como son la velocidad y la presión ejercida para realizar el corte, las cuales deben ser uniformes y el material polivinílico que se encuentra entre las dos capas de vidrio crudo, con el fin de realizar el corte del vidrio evitando en lo posible la manipulación y los errores de precisión.

### **1.3 Objetivos.**

#### **1.3.1 Objetivo general:**

Diseñar y construir un mecanismo para el corte de vidrio laminado plano que ejecute el corte por ambas caras de forma semiautomática.

#### **1.3.2 Objetivos específicos:**

- ⊗ Generar soluciones mediante el método de tormenta de ideas para el diseño del mecanismo.
- ⊗ Seleccionar la opción más adecuada.
- ⊗ Determinar la presión necesaria para cortar el vidrio laminado según su espesor.
- ⊗ Determinar la velocidad de corte para el vidrio laminado según su espesor.
- ⊗ Determinar el método más conveniente para cortar el material polivinílico según el diseño del mecanismo.
- ⊗ Determinar la configuración y materiales del riel de apoyo de la herramienta de corte.
- ⊗ Elaborar los planos de los mecanismos.
- ⊗ Determinación de los costos de mano de obra y de materiales para la construcción del equipo.
- ⊗ Construir el mecanismo.
- ⊗ Poner en marcha y verificar que el mecanismo cumple con el objetivo.
- ⊗ Hacer un manual de uso y ensamblaje del mecanismo.
- ⊗ Hacer un manual de operación y mantenimiento del mecanismo.

## 1.4 Alcances.

- ⊗ Consultando bibliografía pertinente, tecnología existente, bajo el asesoramiento y parámetros dados por Distribuidora Gris y Bronce C.A., se plantearan varias opciones para el diseño del mecanismo y posteriormente se procederá a la selección de la opción más adecuada.
- ⊗ Se determinará la presión y la velocidad del corte mediante ensayos experimentales.
- ⊗ Se seleccionará entre los procesos de corte del polivinil por medio de agentes químicos y el corte por resistencia de alta temperatura.
- ⊗ Se realizarán los cálculos necesarios para la selección del material y el desarrollo del diseño seleccionado.
- ⊗ Mediante un programa de diseño asistido por computadora se realizaran los planos de mecanismo.
- ⊗ Una vez seleccionados los materiales, componentes y parámetros necesarios, se procederá a la construcción del mecanismo y posteriormente a la elaboración del manual de usuario y ensamblaje del mismo.
- ⊗ Según el tipo de material seleccionado para la construcción del mecanismo, y la selección de varios componentes y parámetros, se elaborara un manual de operación y mantenimiento.

## *CAPÍTULO II*

### **2.1 Marco teórico**

#### **2.1.1 El vidrio**

El vidrio es un material que no ha dejado de maravillarnos desde los tiempos antiguos hasta el presente. Sus cualidades y ductilidad ofrecen una gama infinita de posibilidades, ya sea en el campo doméstico como en el industrial, en el de la óptica e incluso en el del arte. El vidrio calizo, por ejemplo, está presente a diario en las vajillas, copas, ceniceros y objetos ornamentales; al tiempo en que el vidrio plano y transparente protege a los hogares de las inclemencias del tiempo, cuando es colocado en las ventanas.

El vidrio resulta tan común a la sociedad contemporánea, que sería difícil concebir la vida moderna sin él. Su presencia es fundamental para que los focos irradien la luz eléctrica; igualmente necesario resulta en la manufactura de televisores, computadoras y vehículos de transporte; mientras que en el rubro científico y de precisión, cabe citar al vidrio utilizado en anteojos, microscopios y telescopios. Finalmente, en los dominios del arte el vidrio ha mostrado una faceta novedosa en el último tercio del siglo XX, al ser utilizado como materia prima de expresión por varios creadores plásticos de renombre.

El vidrio desde el punto de vista físico-químico se comporta como un líquido subenfriado a temperatura ambiente, que debido a su cohesión intramolecular lo encontramos como un sólido.

El vidrio se compone de una mezcla de silicatos con mayor o menor cantidad de sílice, dándole las características propias de los líquidos y de los sólidos siendo un producto amorfo por excelencia.

## ✦ **Materia Prima**

La materia prima fundamental para la elaboración del vidrio es la sílice, presente en la arena o en el cuarzo, a la cual se agregan diferentes proporciones de carbonato de sodio y carbonato de calcio. La sílice rara vez se encuentra en estado puro, ya que lo más común es que aparezca combinada con otras sustancias que son útiles para la cristalización, como los sulfatos de hierro y de cobre, los óxidos de plomo y estaño, e incluso diversas sales.

Cuando se habla de arcillas, se hace alusión a silicoaluminatos complejos. Precisando sobre el particular, cabe decir que “un silicoaluminato es un compuesto hecho con silicio y aluminio”. Entre más pura se encuentre la materia prima, es decir la arena sílica, el resultado final mostrará un vidrio de mayor transparencia y pureza, y por consiguiente, entre más combinada esté con otros materiales, los vidrios adquirirán una apariencia más turbia.

Las arenas sílicas son arcillas que podemos clasificar en dos grupos: las primarias y las secundarias. A las primeras se les conoce como arcillas residuales, que se han formado en el lugar de sus rocas madres. Dentro de esta categoría se encuentran el granito, las pegmatitas y los feldespatos, que al no haber sido transportados por el agua o el viento, evitaron la mezcla con otras arcillas y lograron mantenerse con un alto nivel de pureza. En contraposición, las arcillas secundarias son aquellas que por la acción mecánica del agua, el viento, los sismos y glaciares fueron desplazadas de su lugar de origen. Dichas arcillas resultan ser las menos puras.

La sosa indispensable para la fabricación del vidrio, se ha obtenido de las cenizas de algas marinas, mientras que la potasa se ha extraído de las cenizas de las hojas de los árboles. En Egipto se utilizaba la rochette, que es la ceniza de la planta conocida como al kali; por su parte, los españoles la obtenían de la barrilla, los franceses del salicor o cresta marina y los alemanes de las cenizas del abeto. Los vidrios más primitivos poseían un color verdoso que persistió hasta que los artesanos

aprendieron a depurar y decolorar el material para obtener una calidad totalmente traslúcida.

El color natural del vidrio es verdoso o pardo, según las impurezas que contenga (especialmente de hierro). Para hacerlo incoloro hay que purificar los materiales y luego decolorarlo mediante procedimientos físicos. Así pues, y siguiendo el principio de los colores complementarios, el tono verde logra ser anulado con un rojo.

Utilizando el minio ( $Pb_2 O_3$ ) o plomo como fundente, se obtiene el cristal de plomo, fabricado en Inglaterra desde el siglo XVII y patentado por George Ravenscroft. Este material es de fácil fusión, blando, muy brillante y sonoro, con un índice de refracción elevado, y si se conoce como cristal de plomo, es por su similitud con el cristal de roca.

Los óxidos metálicos dan al vidrio coloraciones muy variadas: el hierro produce el verde azul o el amarillo, según su valencia; el cobre origina al verde azul o rojo; el cobalto al azul; el oro al rojo púrpura; el manganeso al morado o violeta; el azufre y el antimonio al amarillo, y el estaño al blanco opaco.

## ✚ Tipos de vidrio

### - Según su composición

#### ⊗ Vidrio soluble y vidrio sodocálcico

El vidrio de elevado contenido en sodio que puede disolverse en agua para formar un líquido viscoso se denomina vidrio soluble y se emplea como barniz ignífugo en ciertos objetos y como sellador. La mayor parte del vidrio producido presenta una elevada concentración de sodio y calcio en su composición; se conoce como vidrio sodocálcico y se utiliza para fabricar botellas, cristalerías de mesa, bombillas (focos), vidrios de ventana y vidrios laminados.

### ⊗ Vidrio al plomo

El vidrio fino empleado para cristalerías de mesa y conocido como cristal es el resultado de fórmulas que combinan silicato de potasio con óxido de plomo. El vidrio al plomo es pesado y refracta más la luz, por lo que resulta apropiado para lentes o prismas y para bisutería. Como el plomo absorbe la radiación de alta energía, el vidrio al plomo se utiliza en pantallas para proteger al personal de las instalaciones nucleares.

### ⊗ Vidrio de boro silicato

Este vidrio contiene bórax entre sus ingredientes fundamentales, junto con sílice y álcali. Destaca por su durabilidad y resistencia a los ataques químicos y las altas temperaturas, por lo que se utiliza mucho en utensilios de cocina, aparatos de laboratorio y equipos para procesos químicos.

Tabla 1

<b>Composición de los vidrios comerciales (los números indican el porcentaje).</b>				
<b>Elementos</b>	<b>Sódico cálcico</b>	<b>Plomo</b>	<b>Boro silicato</b>	<b>Sílice</b>
Sílice	70-75	53-68	73-82	96
Sodio	12-18	5-10	3-10	--
Potasio	0-1	1-10	0.4-1	--
Calcio	5-14	0-6	0-1	--
Plomo	--	15-40	0-10	--
Boro	--	--	5-20	3-4
Aluminio	0.5-3	0-2	2-3	
Magnesio	0-4	--	--	--

## - En la industria

### ⊗ Flotado monolítico

Usualmente denominado cristal, es un vidrio transparente de caras planas y paralelas que presenta superficies brillantes pulidas a fuego. Dichas características aseguran una visión libre de distorsión. Incoloro o coloreado en su masa, se produce en hojas de gran tamaño y dimensiones normalizadas que permiten su máximo aprovechamiento.

Durante el proceso de producción del vidrio flotado, la masa de vidrio fundido aproximadamente a 1100 °C se vierte del horno a un baño de estaño de forma continua. Esta masa flota entonces en el baño, extendiéndose de forma controlada y uniforme. Controlando el proceso de producción, el vidrio fundido se extiende a una anchura entre 300 y 360 cm., dependiendo del espesor del vidrio a fabricar. El espesor se controla por la velocidad en que cae al baño la colada mientras se solidifica lentamente. Tras enfriarse a lo largo de unos 120 minutos, la plancha de vidrio aparece a temperatura ambiente. El producto es perfectamente plano. Con unos cortadores automáticos, se eliminan los bordes y se corta el vidrio a lo ancho según avanza por la línea, produciendo así dimensiones que pueden ser expedidas o transformadas por procesos posteriores. A continuación se destacan algunas de sus características:

- Superficies planas.
- Alta transmisión de luz.
- Claridad óptica.
- Puede templarse o laminarse para vidrios de seguridad.
- Apto para serigrafía, tratamientos al ácido y decoración con materiales cerámicos.

⊗ **Catedral (vidrio impreso translucido)**

Incoloro o coloreado en su masa, posee en una o ambas caras una textura decorativa que transmite la luz en forma difusa e impide la visión clara brindando según el dibujo deferentes grados de translucidez y privacidad.

⊗ **Armado (vidrio armado con alambre)**

Vidrio translucido incoloro, al cual se le ha incorporado durante su fabricación, una malla de alambre de acero de 12x12 mm, que en caso de rotura actúa como soporte temporario del vidrio.

⊗ **Difuso (vidrio de reflexión difusa)**

Desarrollado para proteger láminas, cuadros y fotografías. Sus superficies levemente texturizadas, atenúan las molestias que usualmente causan los reflejos de luz sobre un vidrio de caras brillantes.

⊗ **Flotado procesado**

Producido a partir de vidrio flotado monolítico básico, incoloro o de color, empleando, según las propiedades del producto que se desea obtener, diferentes procesos de manufactura. Según su función, se denomina flotado de seguridad, aislante térmico y acústico y/o decorativo.

⊗ **Flotado templado**

Se obtiene calentando el vidrio flotado monolítico hasta un punto cercano a su temperatura de ablandamiento, para ser bruscamente enfriado. Sus propiedades respecto del Float sin procesar son: presenta una resistencia al impacto 4 a5 veces mayor; resiste cambios bruscos de temperatura de hasta 250°C. En caso de rotura se fragmenta en trozos pequeños sin presentar aristas cortantes.

⊗ **Flotado laminado**

Compuesto por dos o más hojas de vidrio flotado monolítico, unidas íntimamente por interposición de polivinilbutiral. Según el número y naturaleza de sus componentes, brinda propiedades que van desde una seguridad simple hasta una protección antibala. En caso de rotura, los trozos quedan adheridos al polivinil, impidiendo su caída y manteniendo el conjunto dentro del marco, sin interrumpir el cerramiento ni la visión.

Es considerado el vidrio de seguridad por excelencia. Presenta propiedades de seguridad y protección que, en caso de rotura, lo tornan muy difícil de traspasar, permaneciendo los trozos de vidrio rotos adheridos a la lámina plástica de PVB (polivinilbutiral) que actúa como agente de unión entre los vidrios, manteniendo la integridad del cerramiento, sin disminuir de modo sensible la visión. Cuando se requiere una mayor resistencia mecánica y/o minimizar la posibilidad de rotura por tensión térmica, el vidrio laminado puede ser manufacturado con vidrio flotado monolítico templado o endurecido y/o empleando PVB, o resinas de mayor espesor.

Deberá ser ensayado según la norma IRAM 12.559 "Vidrios planos de seguridad para la construcción - Método de determinación de la resistencia al impacto" (mayo de 1989) considerándose que rompe en forma segura cuando después del ensayo de impacto, pueden observarse numerosas rajaduras o fisuras, pero no cortes y aberturas a través de las cuales pueda pasar una esfera de 76 mm de diámetro.

**Características técnicas:**

El vidrio laminado es el resultado de la unión de dos o más placas de vidrio, intercalando entre ellas una o más láminas de PVB.

Este material combina las propiedades específicas del vidrio, tales como la transparencia y durabilidad, con las del PVB, cualidades como su adherencia al

vidrio, elasticidad y resistencia a los impactos, protección acústica y contra los rayos UV, además de ofrecer múltiples posibilidades de color.

La gran elasticidad del PVB le confiere una alta resistencia frente a impactos. Es por ello que, ante un golpe sobre el vidrio laminado, la película de PVB absorbe la energía del choque, y, por su flexibilidad, mantiene su adherencia al cristal. Estas son las propiedades que convierten al vidrio laminado en una excelente barrera de protección. Por otra parte, no altera la transparencia del vidrio.

## **- Uso para la seguridad**

### **⊗ Protección de bienes**

A menudo las superficies acristaladas son los puntos más débiles de un edificio. Aproximadamente la mitad de los robos se efectúan a través del acristalamiento. Durante un robo, en general, los daños ocasionados por vandalismo y destrucción resultan más elevados que el propio botín. Por eso hoy la resistencia del acristalamiento es la base principal para evitar estos riesgos.

Su especial resistencia soporta la entrada por la fuerza e impide al agresor el uso de cortadores de cristal para una entrada silenciosa.

### **⊗ Prevención de accidentes y disminución de riesgos**

Protección contra impactos. La característica de absorción de la energía del choque por el PVB le confiere una particular resistencia a la penetración por el objeto o la persona afectada. Su colocación en ciertos lugares del edificio, tanto en posición vertical como inclinada, actúa como barrera para evitar la caída de personas al vacío, así como la posibilidad de riesgos derivados de trozos de vidrio al exterior.

Aplicaciones:

- Todo tipo de cerramientos y ventanas.
- Lucernarios.
- Áreas con riesgo de impacto humano accidental.

- Barandillas, huecos de ascensores y otras áreas acristaladas, protegiendo diferentes de niveles.
- Área con riesgo de vandalismo.
- Áreas que requieran seguridad frente a ataques.
- Suelos de vidrios.
- Escaparates.
- Puertas, mobiliario y mamparas.
- Acuarios.
- Reducción de ruidos.
- Control UV para reducir el deterioro de las telas y materiales.

#### ⊗ **Doble vidriado hermético**

Constituido por dos hojas de Float separadas por un perfil hueco relleno con sales deshumectantes, su perímetro posee un doble sellado de estanqueidad. Según su composición permite reducir hasta un 60% el ingreso del calor solar y disminuir las pérdidas de calor, respecto de un vidrio simple, a la mitad.

#### ⊗ **Eclipse (cristal reflectante de control solar)**

Es un cristal Float reflectante pirolítico, también denominado de capa dura, que brinda un excelente grado de control solar, junto con una elevada transmisión de luz visible. Manufacturado con cristal Float incoloro, gris, azul-verde y bronce, posee en una de sus caras un revestimiento reflectivo plateado brillante que puede ser colocado mirando hacia el exterior o hacia el interior del edificio.

### ⊕ **Propiedades del vidrio en general**

#### **- Densidad**

2500 Kg/m<sup>3</sup>, es la densidad del vidrio, lo cual le otorga al vidrio plano un peso de 2,5 Kg/m<sup>2</sup> por cada milímetro de espesor.

**- Temperatura del punto de ablandamiento**

Es de 730° C, aproximadamente

**- Conductividad Térmica**

Es de 1.05 W/mK

**- Coeficiente de dilatación térmica**

Es el alargamiento experimentado por la unidad de longitud al variar 1°C su temperatura. Para el vidrio entre 20 y 220 °C de temperatura, dicho coeficiente es:

$9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$

A manera comparativa se presenta a continuación una lista de coeficientes de dilatación térmica de otros materiales

Aluminio..... $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Acero..... $11 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Cobre..... $16 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Madera..... $5-8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Polycarbonato..... $68 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

**- Dureza**

De 6 a 7 en la escala de Mohs.

El vidrio templado tiene la misma dureza superficial que el vidrio recocido o crudo.

**- Módulo de Young**

Es de 720.000 Kg/cm<sup>2</sup>

A manera comparativa se presenta a continuación una lista de módulos de Young de otros materiales:

Acero.....2.100.000  
Aluminio.....700.000  
Concreto.....200.000  
Policarbonato.....21.000 - 25.000

**- Coeficiente de Poisson**

Varía entre 0.22 y 0.23

**- Resistencia a la intemperie**

No presenta cambios

**- Resistencia Química**

El vidrio resiste el ataque de la mayoría de los agentes químicos, excepto el ácido hidrofúorídrico, al ácido fosforito, y a altas temperaturas. Por otra parte también los álcalis atacan la superficie del vidrio, cuando se emplean marcos de concreto, los álcalis liberados del cemento, durante una lluvia, pueden opacar la superficie del vidrio. La presencia de humedad entre dos hojas de vidrio estibadas durante un tiempo puede producir el "impresionado" (manchas blanquecinas) de sus superficies que, son muy difíciles de remover.

**- Resistencia Mecánica**

El vidrio siempre rompe por tensiones de tracción en su superficie.

**- Resistencia a la tracción**

Varía según la duración de la carga y oscila entre 300 y 700 Kg/cm<sup>2</sup>. Para cargas permanentes, la resistencia a la tracción del vidrio disminuye en un 40%, así como un vidrio con su superficie esmerilada o arenada tiene un 30% menos de resistencia a la tracción. El vidrio laminado simétrico, en condiciones normales de uso en aberturas presenta una resistencia a la tracción, por lo menos, un 10% menor que un vidrio flotado monolítico de igual espesor total.

A mayor temperatura menor resistencia a la tracción.

La resistencia a la tracción también depende del estado de los bordes del vidrio, siendo el borde pulido brillante el más resistente, le sigue el borde arenado y por último el borde con un corte neto realizado con una rueda de carburo de tungsteno.

#### **- Resistencia a la compresión**

Aproximadamente 10.000 Kg/cm<sup>2</sup> es el peso necesario para romper un cubo de vidrio de 1 cm. de lado.

#### **- Modulo de rotura para diferentes calidades de vidrio**

Vidrios recocidos 350 a 550 Kg/cm<sup>2</sup>

Vidrios templados 1850 a 2100 Kg/cm<sup>2</sup>

#### **- Modulo de trabajo para diferentes calidades de vidrio**

Vidrio recocido, carga momentánea 170 Kg/cm<sup>2</sup>

Vidrio recocido, carga permanente 60 Kg/cm<sup>2</sup>

Vidrio templado 500 Kg/cm<sup>2</sup>

#### **✚ Medidas de las láminas.**

En la industria manufacturera del vidrio plano, el formato de la materia prima es de láminas de diferentes espesores y diferentes dimensiones.

Los espesores más utilizados en la industria del vidrio plano monolítico son 2.5 mm, 3mm, 4mm, 5mm, 6mm, 8mm, 10mm, 12mm, 15mm, 19mm y 20mm, pudiendo llegar hasta los 25 mm de espesor. Haciendo combinaciones de las medidas anteriores se fabrican los distintos espesores necesarios para la manufactura del vidrio laminado, tomando en cuenta el espesor de la película del Polivinilbutiral que se le aplica entre cada lámina de vidrio.

Las dimensiones estandarizadas de las láminas de vidrio en general, varían dependiendo del lugar de trabajo, siendo en Europa y Estados Unidos donde se trabaja con las mayores dimensiones, las cuales son de 4.30 mts x 6.60 mts, mientras que en otros países como Venezuela, las dimensiones son menores, siendo la más general de 2.44 mts x 3.30 mts, existiendo también medidas inferiores fabricadas bajo pedido.

### **2.1.2 Polivinilbutiral**

#### **+ Propiedades comunes de los plásticos.**

A pesar de la gran variedad en la composición y estructura que pueden presentar los distintos plásticos, hay una serie de propiedades comunes que poseen y que los distinguen de otros materiales.

El rango de densidades de los plásticos es relativamente bajo y se extiende desde 0.9 hasta 2.3 g/cm. 3 (tabla 3). Entre los plásticos de mayor consumo se encuentran el PE y el PP, ambos materiales con densidad inferior a la del agua. La densidad de otros materiales es varias veces mayor, como el aluminio con densidad 2.7 g/cm<sup>3</sup> o el acero con 7.8 g/cm<sup>3</sup>. Esta densidad tan baja se debe fundamentalmente a dos motivos; por un lado los átomos que componen los plásticos como C, H, O y N

son ligeros, y por otro, las distancias medias de los átomos dentro de los plásticos son relativamente grandes.

Densidad, conductividad térmica y eléctrica de diferentes materiales.

**Tabla 2**

<b>Material</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Cond. Térmica (W/mK)</b>	<b>Cond. Eléctrica (s)</b>
Plásticos	0.9-2.3	0.15-0.5	--
PE	0.9-1.0	0.32-0.4	--
PC	1.0-1.2	--	--
PVC	1.2-1.4	--	39005
Acero	7,8	17,5	5,6
Aluminio	2,7	211	38,5
Aire	--	0,05	--

Por otra parte, el valor de la conductividad térmica de los plásticos es sumamente pequeño. Los metales, por ejemplo, presentan conductividades térmicas 2000 veces mayores que los plásticos, esto se debe a la ausencia de electrones libres en el material. Un inconveniente de la baja conductividad aparece durante la transformación de los plásticos. El calor necesario para transformar los plásticos se absorbe de manera muy lenta y, por otra parte la eliminación del calor resulta igualmente costosa. Durante el uso de los plásticos, la baja conductividad térmica aparece como una ventaja, pues permite el empleo de estos materiales como aislantes.

Igualmente los plásticos conducen muy mal la corriente eléctrica. Presentan resistencias muy elevadas, y por tanto, bajas conductividades. La resistencia eléctrica es función de la temperatura, y a elevadas temperaturas conducen mejor. Gracias a su elevada resistencia eléctrica los plásticos se utilizan frecuentemente como aislantes eléctricos de aparatos y conducciones que funcionan con corriente o la transportan.

Por otra parte, los termoplásticos amorfos como el PC, PMMA, PVC, resinas de UP presentan transparencia que no difieren mucho del propio vidrio. Su transparencia es aprox. del 90% (relación entre la intensidad de la luz transmitida sin

desviación y la luz incidente). La transparencia de los plásticos se puede perder, al menos parcialmente, por exposición a la intemperie o a cambios bruscos de temperatura.

### ✦ **Clasificación de los materiales plásticos.**

Como se ha podido apreciar, existe una gran cantidad de materiales para fabricar engranajes plásticos, sin embargo se pueden agrupar en dos grandes grupos, esencialmente en dependencia de las cadenas de polímeros:

**Termoplásticos:** Si la cadena de polímeros permanece linear y separada después del moldeo.

**Termoestables:** Si la cadena se convierte en una cadena tridimensional reticulada.

Para seleccionar el material, en el caso particular de los engranajes plásticos, hay que basarse en factores tales como: Absorción de humedad, resistencia al impacto, resistencia a la tracción y costos.

### ✦ **Materiales termoplásticos. Características y propiedades mecánicas.**

Los materiales termoplásticos son polímeros lineales, que pueden ser ramificados o no y puesto que no se encuentran entrecruzados son polímeros solubles en algunos disolventes orgánicos, son capaces de fundir y son reciclables. Los termoplásticos más frecuentes como PE, PP, PS y PVC se fabrican y emplean en cantidades muy grandes, si los comparamos con los plásticos restantes. Más de la mitad de la cifra total procesada corresponde a los cuatro plásticos citados.

Para que un polímero tenga aplicación como termoplástico debe tener una temperatura de transición vítrea  $T_g$  (si se trata de un material amorfo), o una

temperatura de fusión  $T_m$  (si se trata de un material cristalino), superior a la temperatura ambiente. Por lo general los materiales termoplásticos presentan un buen conjunto de propiedades mecánicas, son fáciles de procesar, reciclables y bastante económicos. La principal desventaja deriva del hecho de que son materiales que funden, de modo que no tienen aplicaciones a elevadas temperaturas puesto que comienzan a reblandecer por encima de la  $T_g$ , con la consiguiente pérdida de propiedades mecánicas

### ✦ **Polivinil Butiral.**

El vidrio laminado, es el resultado de la unión de dos o más placas de vidrio intercalando una o más láminas plásticas de PVB (polivinil butiral). Se trata de un proceso de fabricación estandarizado de alta tecnología, durante el cual se deben controlar los parámetros tales como temperatura, presión, humedad, etc., permitiendo así obtener un producto final de excelente calidad. Este material combina las propiedades intrínsecas del vidrio, tales como la transparencia y cualidades ópticas, con las del PVB, como son, su adherencia al vidrio, elasticidad y resistencia a los impactos. La gran elasticidad del PVB le confiere una resistencia al desgarro de 3 Mpa y una elasticidad del 240%. Es por eso que ante un impacto sobre el vidrio laminado, la película de PVB absorbe la energía del choque en juego y por su elongación, mantiene su adherencia al vidrio. Estas son las propiedades que convierten al vidrio laminado en una excelente barrera de protección. El PVB no altera la característica de transparencia al vidrio.

Las resinas de polivinilbutiral son empleadas en una amplia serie de aplicaciones industriales y comerciales, estas resinas únicas ofrecen un funcionamiento impresionante y también una versatilidad excepcional.

Estas resinas tienen una combinación de propiedades que las hacen un ingrediente clave en muchas y variadas aplicaciones.

Algunas de las propiedades de estas resinas en la cuales son usadas extensamente son: eficacia excepcional, claridad óptica, adherencia a un gran número de superficies y dureza combinada con flexibilidad.

Tablas de propiedades del PVB.

Tabla 3

PROPIEDADES FISICAS DEL POLIVINIL BUTIRAL	Unidades	Método ASTM	Butiral-72	Butiral-90
Volatilidad, máx.	%	-	3,5	5
Peso molecular, Avg. en miles	-	(1)	170-250	70-100
Viscosidad de la solución, 15% por peso	Cp.	(2)	7000-14000	600-1200
Viscosidad de la solución, 10% por peso	Cp.	(2)	1600-2500	200-400
Gravedad Especifica (23C/23C (+-0,002))	-	D792-50	1100	1100
Rata de quema	ipm.	D635-56T	1	0,9
Índice de refracción		D542-50	1,490	1,490
Absorción de agua (24 horas)	%	D570-59aT	0,5	0,5
Contenido de hidroxil en % de polivinil alcohol	-	-	17,5-20	18-20
Contenido de acetato en % de polivinil acetato	-	-	0-2,5	0-1,5

Tabla 4

PROPIEDADES QUIMICAS DEL POLIVINIL BUTIRAL	Método ASTM	Butiral-72	Butiral-90
<b>Resistencia a</b>			
Ácidos débiles	D543-56T	E	E
Ácidos Fuertes	D543-56T	E	E
Bases débiles	D543-56T	E	E
Bases fuertes	D543-56T	E	E
<b>Solventes Orgánicos</b>			
Alcoholes	D543-56T	P	P
Chlorinated	D543-56T	B	B
Aliphatic	D543-56T	E	E
Aromáticos	D543-56T	F	F
Ácidos-Alcoholes	D543-56T	F	F
Ketonas	D543-56T	F	F
<b>Leyenda : E - Excelente B - Buena F - Falla P - Pobre</b>			

Tabla 5

PROPIEDADES MECANICAS DEL POLIVINIL BUTIRAL	Unidades	Método ASTM	Butiral-72	Butiral-90
<b>Resistencia a la tensión</b>				
Para ceder	psi	D638-58T	6800-7800	6300-7300
Para romper	psi	D638-58T	7000-8000	5700-6700
<b>Elongación</b>				
Para ceder	%	D638-58T	8	8
Para romper	%	D638-58T	70	100
Modulo de elasticidad (aparente)	psi	D638-58T	3300-3400	3000-3100
Resistencia a la tensión (para ceder)	psi	D790-59T	12000-13000	11000-12000
<b>Dureza Rockwell</b>				
M	-	D785-51	115	115
E	-	D785-51	20	20

Tabla 6

PROPIEDADES TERMICAS DEL POLIVINIL BUTIRAL	Unidades	Método ASTM	Butiral-72	Butiral-90
Flujo de temperatura (1000 psi)	Grados Cent	D569-59	145-155	125-130
Temperatura de transición (al vidrio) Tg	Grados Cent	(4)	72-78	72-78
<b>Contenido de residuos a 550 en centígrados</b>				
En nitrógeno	%	(5)	< 3	< 3
En aire	%	(5)	< 1	< 0,75
Temperatura de distorsión del calor	Grados Cent	D648-56	56-60	52-56
Temperatura de calor de sellado	Grados Farenh	(6)	220	205

Tabla 7

PROPIEDADES ELECTRICAS DEL POLIVINIL BUTIRAL	Unidades	Método ASTM	Butiral-72	Butiral-90
<b>Constante Dieléctrica</b>				
50 cps	-	D150-59T	3,2	3,2
10 <sup>3</sup> cps	-	D150-59T	3	3
10 <sup>6</sup> cps	-	D150-59T	2,8	2,8
10 <sup>7</sup> cps	-	D150-59T	2,7	2,7
<b>Factor de disipación</b>				
50 cps	-	D150-59T	0,0064	0,0066
10 <sup>3</sup> cps	-	D150-59T	0,0062	0,0059
10 <sup>6</sup> cps	-	D150-59T	0,027	0,022
10 <sup>7</sup> cps	-	D150-59T	0,031	0,023

El espesor del PVB estándar es de 0.38 mm. Ante requerimientos de mayor seguridad o control de ruido puede ser manufacturado, a pedido, con PVB de 0.74 mm, 1.14 mm y 1.52 mm de espesor

Algunas aplicaciones en las cuales estas resinas son de vital importancia son:

- Uniones de cerámica.
- Tintas y toner secos.
- Capas para uniones de madera. (protección contra la humedad)
- Máquinas de lavado. (Protección para la corrosión).
- Vidrios de seguridad.
- Uniones de fibra compuestas.
- Pegamentos estructurales.

### 2.1.3 Métodos estadísticos

#### ✚ Media aritmética

La media aritmética en promedio de una cantidad finita de números es igual a la suma de todos ellos dividida entre el número de sumandos.

Así, dados los números  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , la media aritmética será igual a:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{a_1 + \dots + a_n}{n}$$

#### ✚ Desviación Estándar

La desviación estándar (DS/DE), también conocida como desviación típica, es una medida de dispersión usada en estadística que nos dice cuánto tienden a alejarse los valores puntuales del promedio en una distribución. De hecho específicamente la

desviación estándar es "el promedio de la distancia de cada punto respecto del promedio". Se suele representar por una S o con la letra sigma,

Es posible calcular la desviación estándar como la raíz cuadrada de la integral

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx$$

Donde

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x) dx$$

La DS es la raíz cuadrada de la varianza de la distribución

$$\sigma^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Así la varianza es la media de los cuadrados de las diferencias entre cada valor de la variable y la media aritmética de la distribución.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{50} (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

También hay otra función más sencilla de realizar y con menos riesgo de tener equivocaciones

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{50} x_i^2}{n} - \bar{x}^2}$$

## *CAPÍTULO III*

### **3.1 Marco Metodológico**

En este capítulo se presentara la metodología del diseño, los pasos a seguir para resolver el problema de diseñar y construir un mecanismo para el corte de vidrio laminado plano, y la aplicación de esta metodología en nuestro proyecto.

#### **3.1.1 Metodología del diseño**

El diseño se puede definir como el proceso general mediante el cual el diseñador aplica sus conocimientos, aptitudes y perspectivas a la creación de productos, dispositivos, estructuras y procesos.

El proceso de diseño abarca las actividades y eventos que transcurren entre el reconocimiento de un problema, una necesidad y la especificación de una solución de la misma, la cual debe ser funcional, económica y satisfactoria de algún modo.

No existe un proceso de diseño definido y detallado de aplicación global, pero de manera general, la metodología del diseño se puede estructurar en las siguientes fases:

#### **+ Planteamiento del problema**

Esta fase consiste en definir en forma amplia y sin detalles el problema a tratar. Lo importante en esta fase, es que el diseñador o ingeniero reconozca e identifique el problema o necesidad desde el principio, ya que una vez que se sumerge en los detalles del proceso, es materialmente imposible tener una amplia perspectiva, por lo tanto, se debe formular en que consiste el problema, si es conveniente su solución y tener una adecuada perspectiva del problema.

En esta primera parte del proceso, el problema o necesidad debe expresarse en términos generales. Al tratar una necesidad con amplitud, se tienen muchas probabilidades de obtener un sistema total muy superior a cualquier otro. En general, siempre debe tratarse de formular un problema o necesidad de modo que comprenda el problema total, tanto como lo permitan la situación económica y los límites de la organización involucrada.

### **✦ Análisis del problema**

Se define ampliamente el problema con todos los detalles necesarios. Una restricción es una característica de una solución que se fija previamente por una decisión, por la naturaleza, por requisitos o por cualquier otra disposición que tenga que cumplir el diseñador para solucionar el problema. Cada una de las restricciones limita las alternativas que se le presentan al solucionador del problema. Algunas restricciones limitan su selección a un intervalo de valores, otras fijan una característica de la solución como un parámetro de funcionamiento. Generalmente, tales decisiones las hace la organización interesada en la búsqueda de soluciones.

### **✦ Búsqueda de soluciones**

Las soluciones se obtienen mediante indagación, investigación, invención, etc. En ésta fase del proceso de diseño, se buscan activamente las soluciones posibles y uno se lanza a lo que es una verdadera búsqueda o investigación, en la mente, en la literatura técnica y científica, y en el mundo que nos rodea. El diseñador debe ampliar sus conocimientos; cuanto mayor sea el caudal de conocimientos que se maneje, mayor será la cantidad de materia prima de la que se podrá disponer para producir soluciones. Se deben eliminar las restricciones ficticias, depurarse las que sean reales y complementarse los conocimientos correspondientes al problema particular que se considere.

Dentro de la búsqueda de soluciones, hay algunos métodos predominantemente aleatorios, un ejemplo notable es la técnica de la Tormenta de Ideas.

### **+ Tormenta de ideas**

Una vez descrito el problema y determinadas las características y limitaciones que el sistema a diseñar debe tener, se procede a la concepción del mismo. Es decir, a generar la mayor cantidad de alternativas posibles de solución para el sistema. Esta es la fase de diseño más creativa porque, en general, se tiene una libertad de acción apreciable.

Es necesaria la generación de ideas para la ejecución de este punto, se tendrá presente la consigna de “ninguna propuesta es mala”, para así no tener limitaciones de ningún tipo y poder evaluar una cantidad de sugerencias con el fin de escoger la que mejor se adapte al propósito.

### **+ Fase de decisión y análisis morfológico**

Todas las alternativas son evaluadas, comparadas y seleccionadas hasta obtener la solución óptima. En el proceso de generar la toma de decisiones hay que dar los siguientes pasos antes de que pueda llegarse a una inteligente decisión de diseño.

### **+ Selección de parámetros**

Se selección los parámetros más importantes del problema, para evaluar las diferentes alternativas concebidas en la tormenta de ideas. Cada parámetro tendrá una ponderación según su importancia, basada en estudios, investigaciones y encuestas, realizados en conjunto y con la colaboración de personas cuyo trabajo se encuentre de alguna manera, u otra, vinculado al tema, para así garantizar y contemplar tanto las variables como los detalles del diseño en cuestión, dando como resultado la selección más apropiada.

## ✦ Predicción de funcionamiento

Se debe predecir el funcionamiento de todas las soluciones propuestas teniendo en cuenta los parámetros o criterios antes seleccionados.

## ✦ Matriz de Decisiones

Se compara en una Matriz de Decisiones las soluciones propuestas en la tormenta de ideas, bajo los parámetros de diseño y puntajes impuestos anteriormente, esto nos dará cual es la opción más factible a desarrollar.

Generalmente, el parámetro que predomina es la razón beneficio - costo. El predecir cuán bien resultará cada alternativa adoptada, es la parte clave y más exigente del proceso de toma de decisiones. El proceso de decisión varía desde los procedimientos exhaustivos más elaborados que comprendan medición, investigación, predicción y comparación de costos en alto grado, hasta el simple juicio informal y rápido.

Existen parámetros que son utilizados en la ingeniería, entre los cuales esta la confiabilidad, que es la probabilidad de que el elemento o sistema en cuestión no falle durante el período especificado bajo condiciones prescritas; la operabilidad, que se refiere a la facilidad con que un diseño determinado puede ser manejado u operado por seres humanos; la disponibilidad, que es la proporción de tiempo que una máquina está en condiciones de ser utilizada y, por lo tanto, en que no estará fuera de servicio por reparación, mantenimiento u otras formas de atención, etc.

Para ilustrar la evaluación de las propuestas en la matriz de decisiones, se mostrará a continuación un ejemplo sencillo, de tal forma que se entienda de manera clara dicha evaluación.

Tenemos la propuesta X y los Parámetros 1, 2 y 3, cuyos porcentajes son 50%, 40% y 10% respectivamente.

La escala de evaluación de cada uno es:

Parámetro 1: 3pts.

Parámetro 2: 1pts.

Parámetro 3: 5pts.

Entonces el valor final de la propuesta X es:

$$(3 \times 0,5) + (1 \times 0,4) + (5 \times 0,1) = 2,4 \text{ Pts}$$

### ✚ Especificaciones de una solución

La solución elegida se expone por escrito detalladamente. Los datos de entrada a esta fase son la solución elegida, parte de ella en forma de croquis, apuntes, cálculos, etc. Y gran parte de ella todavía en la cabeza del proyectista. Además de ser incompleto, este material está desorganizado y difícilmente en condiciones de poder ser presentado adecuadamente. Los datos de salida de esta fase consisten usualmente en dibujos del proyecto, un informe escrito y, posiblemente, un modelo físico.

A continuación se presentara la aplicación de la metodología del diseño para nuestro proyecto.

### 3.1.2 Planteamiento del problema

El vidrio laminado es un material delicado que hay que saber como manipularlo. Independientemente de su gran resistencia a impactos frontales, es muy vulnerable a golpes en sus cantos, esto ocasiona gran cantidad de roturas durante el proceso de corte manual debido a la excesiva manipulación a la que es sometido. El diseño a presentar tomará en cuenta lo anterior, junto a otros aspectos importantes como son la velocidad y la presión ejercida para realizar el corte, las cuales deben ser uniformes y como separar el material polivinílico (polivinilbutiral) que se encuentra entre las dos capas de vidrio, para realizar el corte de la lámina de vidrio evitando en lo posible la manipulación y los errores de precisión, con la finalidad de minimizar el tiempo y el costo de proceso.

### 3.1.3 Análisis del problema

Para minimizar los errores de precisión, la manipulación y por ende el costo y el tiempo asociado al proceso del corte de las láminas de vidrio laminado, a continuación se definirán ciertas restricciones para llegar a una solución que cumpla con las necesidades de la empresa:

- ⊗ El costo asociado de la construcción del mecanismo debe ser lo más bajo posible.
- ⊗ La velocidad de corte del mecanismo debe ser mayor a la velocidad de corte manual.
- ⊗ La lámina de vidrio debe manipularse menos haciendo el corte con la máquina que haciendo el corte manualmente.
- ⊗ Debe cortar, al menos, la medida mas pequeña de la lámina mas grande que existe en Venezuela (2,44 mts).
- ⊗ Debe cortar los espesores de lámina de vidrio laminado con la que la empresa trabaja (6mm, 8mm, 10mm y 12 mm).
- ⊗ Debe adaptarse a las mesas de corte manual que posee la empresa.

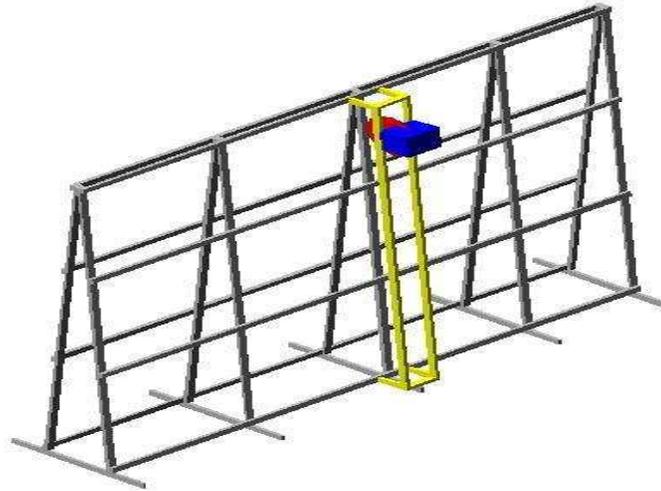
### 3.1.4 Búsqueda de soluciones

A continuación se presentan varias posibles soluciones generadas por la tormenta de ideas.

#### ⊗ **Modelo 1: Sierra vertical**

Consta de una armazón vertical para apoyar el vidrio (un burro para vidrio), en la mitad de ésta existe una estructura conformada por rieles dispuestos de forma vertical en los cuales está sujeta una sierra de alta potencia y que gira a altas revoluciones, esta sierra se desliza de arriba hacia abajo con ayuda de la gravedad (por su mismo peso) recorriendo toda la altura del armazón con la finalidad de

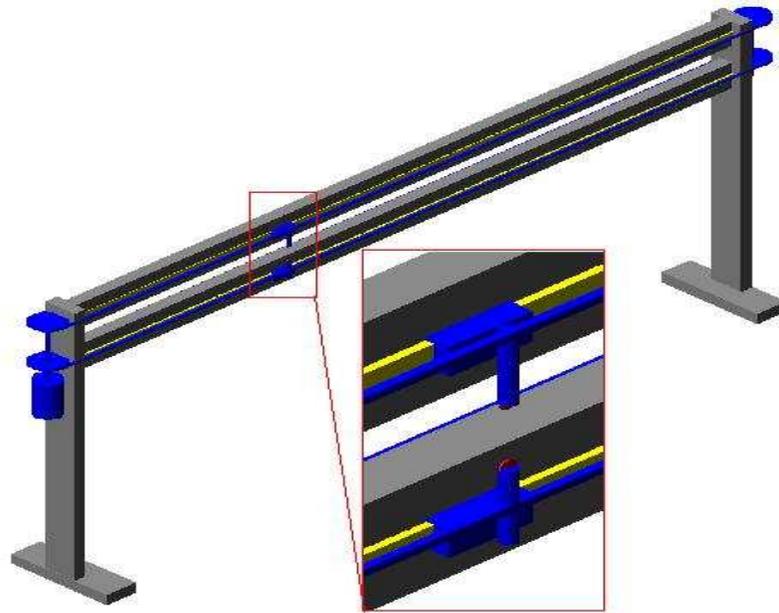
realizar un corte en el vidrio laminado, atravesando con el disco de corte las dos capas de vidrio junto con la película de PVB.



**Figura 1**

⊗ **Modelo 2: Riel de corte doble horizontal**

Consta de una estructura horizontal de rieles por donde se deslizan dos herramientas de corte movidas por un motor, estas realizan el corte de las dos láminas de vidrio al mismo tiempo. Mediante un mecanismo manual se le aplica presión a la lámina de tal forma que separe las dos piezas de vidrio, luego con un dispositivo generador de alta temperatura (resistencia) que se coloca en la zona del corte derrite la película de PVB, al realizar completamente el corte, la pieza deseada queda en un soporte. Esta máquina se acopla a una mesa de corte donde el vidrio descansa horizontalmente durante todo el proceso.



**Figura 2**

⊗ **Modelo 3: Máquina de corte simple con control numérico**

Consta de una mesa de corte horizontal donde descansa el vidrio, mediante un mecanismo de rieles una herramienta ejecuta cortes simples y en cualquier dirección (en una sola cara del vidrio) movida a conveniencia sobre toda la superficie del vidrio por medio de un control numérico (similar a un plotter), luego que se realizan los cortes se procede a voltear la lámina y realizarle los cortes por el otro lado, a continuación se baja la lámina de la máquina y por otros medios se separan las piezas.

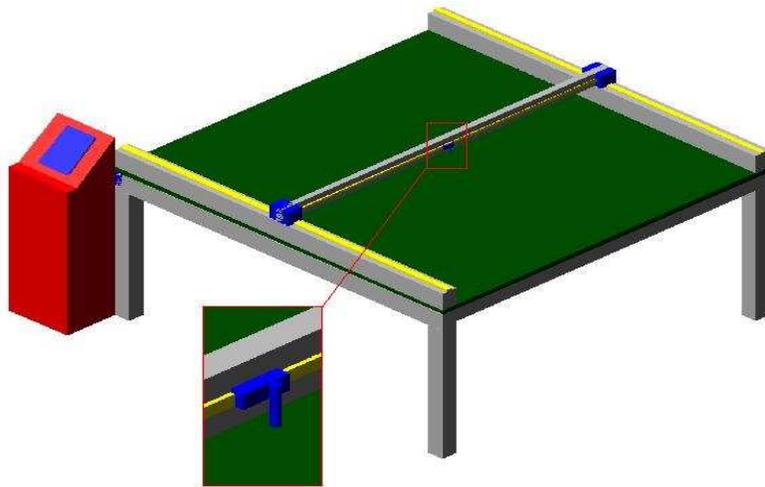


Figura 3

⊗ **Modelo 4: Sierra de corte horizontal**

Similar al modelo 2, con la diferencia que la herramienta de corte es una sierra para vidrio de alta potencia y de altas revoluciones, en esta, el motor que mueve la sierra es de mayor potencia que el de el modelo 2, debido al peso de la herramienta.

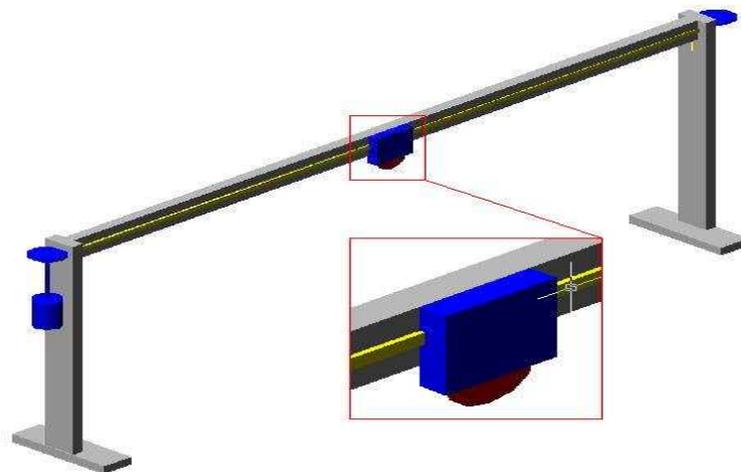


Figura 4

⊗ **Modelo 5: Riel de corte doble vertical**

Similar al modelo 1 con la diferencia que la herramienta de corte es un dispositivo que realiza el corte por ambos lados de la lámina, luego se debe bajar la lámina de la máquina y separar las piezas por otros medios.

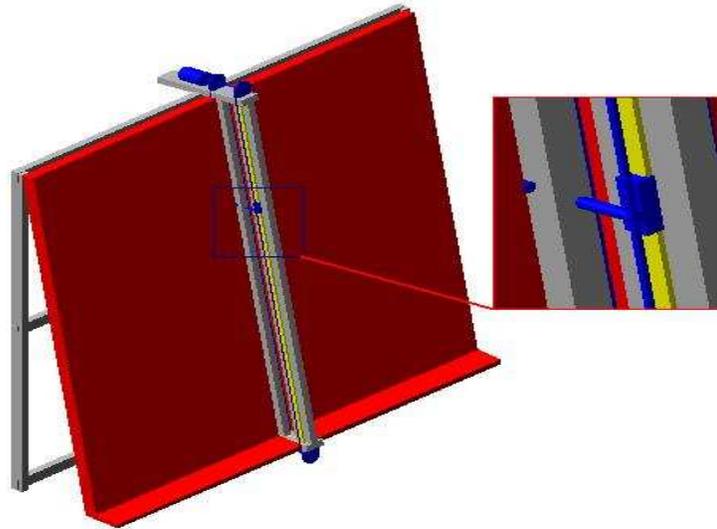


Figura 5

### 3.1.5 Fase de decisión y Análisis Morfológico

A continuación se seleccionarán los parámetros más importantes del problema, para evaluar las diferentes propuestas planteadas en la tormenta de ideas.

#### ⊕ Parámetros a evaluar

- ⊗ **Costo total del mecanismo:** Se refiere al costo del proceso de construcción junto con el ensamblaje, y contempla la adquisición de componentes, equipos y mano de obra.
- ⊗ **Tiempo total de corte:** Hace referencia al tiempo total de corte de una pieza determinada a partir la pieza madre.
- ⊗ **Manipulación de la lámina:** Es el número de veces que hay que levantar o mover la lámina de vidrio laminado para realizar el corte deseado.

- ⊗ **Área ocupada:** El espacio ocupado no deberá interrumpir el desenvolvimiento de otras actividades.
- ⊗ **Consumo de energía:** El consumo de energía eléctrica debe ser el mínimo posible.
- ⊗ **Acabado del corte:** Debe ser, al menos, igual al acabado generado por el proceso de corte manual.
- ⊗ **Tiempo de construcción:** Es el necesario para terminar la construcción y ensamble del mecanismo.
- ⊗ **Facilidad de construcción:** Los materiales, mecanismos, dispositivos y demás elementos empleados en la construcción deben ser de fácil acceso y bajo costo.
- ⊗ **Operabilidad:** El mecanismo debe ser ergonómico y de fácil operación para cualquier persona sin necesidad de un arduo entrenamiento.
- ⊗ **Mantenimiento:** Debe ser sencillo, económico, rápido y accesible.

### ⊕ Escala de evaluación

Para la evaluación de las características de los mecanismos propuestos se utilizará la siguiente escala numérica de evaluación:

Tabla 8

Escala Numérica	Significado
1 pt.	Menos favorable
2 pts.	Poco favorable
3 pts.	Favorable
4 pts.	Muy favorable
5 pts.	Más favorable

A cada parámetro se le dará un porcentaje debido a su importancia, éste será multiplicado por la escala de evaluación asignada a cada diseño según el parámetro en cuestión y se sumarán todos los resultados para obtener el valor a comparar entre las distintas propuestas, tal como fue ilustrado anteriormente.

El valor porcentual asignado a cada parámetro se presenta a continuación:

**Tabla 9**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor Porcentual (%)</b>
Costo total del mecanismo	18%
Tiempo de corte	11%
Manipulación de la lámina	11%
Área ocupada	10%
Consumo de energía	10%
Acabado del corte	10%
Tiempo de construcción	10%
Facilidad de construcción	8%
Operabilidad	6%
Mantenimiento	6%
TOTAL	100%

### **3.1.6 Matriz De Decisiones**

Realizando el cálculo antes descrito, tenemos la siguiente matriz de decisiones.

Tabla 10

Aspectos	Valor porcentual (%)	MODELOS				
		1	2	3	4	5
Costo total del mecanismo	18%	5	5	3	4	5
Tiempo total de corte	11%	2	2	2	2	1
Manipulación de lámina	11%	5	1	4	4	5
Área ocupada	10%	4	4	4	4	4
Consumo de energía	10%	3	4	3	2	3
Acabado del corte	10%	1	4	4	1	1
Tiempo de construcción	10%	5	5	3	4	4
Facilidad de construcción	8%	5	5	3	4	5
Operabilidad	6%	4	5	4	4	5
Mantenimiento	6%	4	5	3	3	5
TOTAL	100%	3,85	3,93	3,26	3,22	3,76

### 3.1.7 Resultados de la Matriz De Decisiones

Se seleccionó la propuesta número dos (2) como solución viable para desarrollar el diseño y construcción del mecanismo, al ser ésta la que más puntaje obtuvo en la evaluación anterior expresada en la matriz de Decisiones.

### 3.1.8 Especificaciones de la propuesta seleccionada

Es un mecanismo de corte doble, es decir, que corta el vidrio por las dos caras al mismo tiempo, consta de tres dispositivos fundamentales, que son el dispositivo de

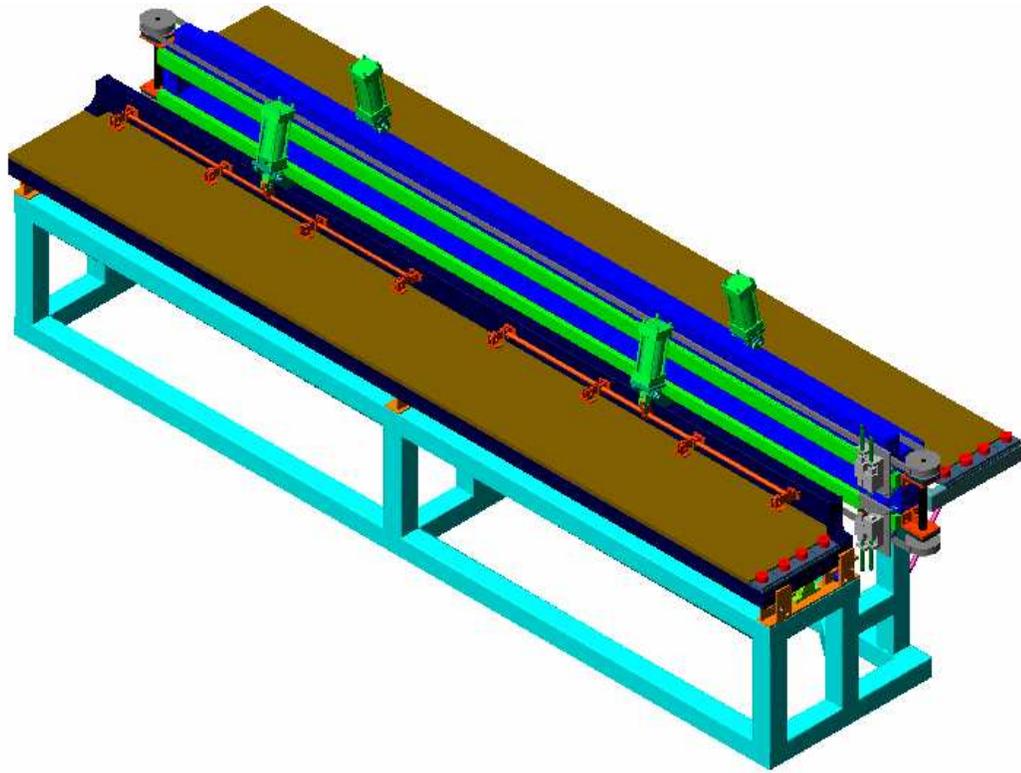
corte doble de vidrio, el dispositivo manual de rotura del vidrio y el dispositivo de corte del PVB.

El dispositivo de corte de vidrio se basa en un armazón fabricado con cuatro vigas rectangulares dispuestas en forma de U invertida. La parte superior consta de dos vigas dispuestas paralela y horizontalmente una encima de la otra separadas de manera que quepan las láminas de vidrio de mayor espesor entre ellas, éstas vigas están colocadas de forma tal que puedan ser aunados un par de rieles en uno de los lados de cada viga (viga superior y viga inferior), sobre los cuales corren de manera horizontal (siguiendo las vigas) dos carros de forma unísona por medio de un mecanismo de transmisión por cadena común movido por un motor eléctrico, éstos carros a su vez portan la herramientas de corte o cortavidrio, ésta herramienta de corte realiza un desplazamiento vertical de manera de poder hacer contacto con el vidrio y así realizar el corte por ambas caras, todo el dispositivo esta apoyado en otras dos vigas verticales que hacen la función de patas de soporte, es su parte inferior tienen ruedas de manera que su traslado se haga con facilidad.

El dispositivo manual de rotura de vidrio, consta de un sistema cinemático de palancas, el cual con el movimiento de la pieza a ser cortada, genera un momento flector en la línea del corte, tal que, se propague la grieta en forma perpendicular al plano de corte a través del espesor del vidrio y este se rompa por el plano deseado.

El tercer dispositivo, el de corte del PVB, esta sujeto a la parte superior de la estructura, éste se mueve de tal manera que quede posicionado sobre el corte realizado por el cortavidrio. El corte es realizado por calor, por medio de una resistencia térmica se conduce calor por toda la superficie del corte de manera tal que el PVB se funda y por lo consiguiente las dos piezas de vidrio se separen. El proceso de corte anteriormente descrito también se puede realizar con un dispositivo de inyección de sustancias químicas que destruyan el PVB para obtener el mismo resultado final.

**Prototipo final**



**Figura 6**

## *CAPÍTULO IV*

### **4.1 Procedimientos Experimentales**

Luego de obtener un prototipo para el mecanismo de corte del vidrio laminado y comenzar el diseño de todas las partes, nos encontramos que para diseñar y construir necesitábamos los valores de las siguientes propiedades del vidrio:

- Fuerza para fracturar el vidrio.
- Presión de corte para el rayado del vidrio.
- Fuerza para fracturar el vidrio laminado.

Conocer la fuerza para fracturar el vidrio es importante, ya que con esta se verifica si la presión para el rayado del vidrio funciona y se realiza correctamente. Este rayado inicial del vidrio lo realizarán manualmente varias personas experimentadas en el área.

Luego se procederá a calcular cuánta presión se necesita para realizar el rayado del vidrio, y se verificará si este se realiza de forma correcta fracturando el vidrio con la fuerza antes calculada.

Luego se calculará la fuerza necesaria para fracturar el vidrio laminado, primero se rayará el vidrio por ambas caras con la presión calculada anteriormente y luego se calculará la fuerza.

A continuación se presentarán los mecanismos y los todos los pasos para realizar los cálculos antes mencionados.

#### **4.1.1 Cálculo de la fuerza necesaria para fracturar el vidrio monolítico.**

El objetivo de éste ensayo es calcular experimentalmente la fuerza necesaria para fracturar una lámina de vidrio monolítico de dimensiones conocidas dependiendo del espesor de esta, éste dato es necesario para poder evaluar si la máquina de corte de vidrio esta efectuando correctamente el rayado o entalladura al vidrio.

En éste ensayo la raya o entalladura que se le realizara al vidrio monolítico con el cortador de vidrio se hará manualmente por varias personas experimentadas en el área de corte de vidrio.

#### **+ Funcionamiento de la máquina para fracturar el vidrio.**

Esta máquina consta de dos apoyos colocados a 9cm exactamente del centro de donde esta un indentador, el cual será colocado exactamente en el lado opuesto de donde se realizo la entalla al vidrio monolítico con el cortador de vidrios. Luego se procederá a colocar pesos conocidos en una bandeja que se encuentra unida al indentador ver Fig. 7

#### **+ Descripción y medidas del equipo.**

Medidas en milímetros.

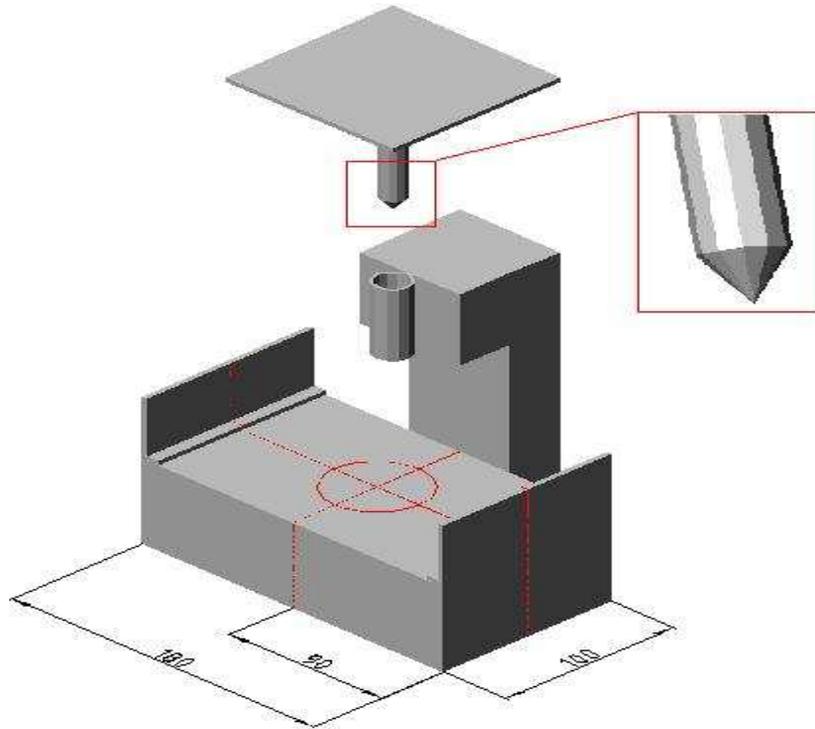


Figura 7

#### ✚ Descripción de la probeta para el ensayo

La probeta es una lámina de vidrio monolítico de 180mm. X 90mm.

Los espesores de las probetas de vidrio monolítico son 3mm, 4mm, 5mm, 6mm., ver fig. 8

Se ensayarán 50 probetas de cada espesor.

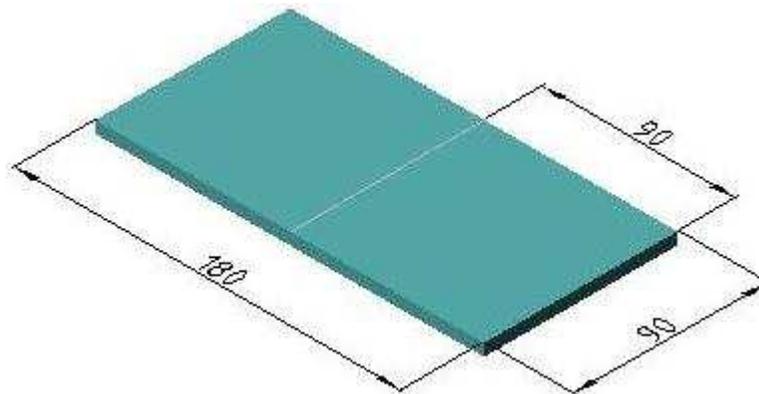


Figura 8

### ✦ Procedimiento experimental

1. Realizar la entalladura de las probetas manualmente como muestra la fig. 8
2. Colocar la probeta entallada en la máquina de fractura con la entalla de hacia abajo.
3. Colocar la entalladura alineada con el identador.
4. Vaciar arena en la bandeja del identador hasta que la probeta fracture.
5. Anotar el peso en que fracturó la probeta.

Éste procedimiento se debe hacer para todos los espesores de vidrio mencionados anteriormente.

Realizar todos los ensayos de una medida de espesor de vidrio y luego continuar con los otros espesores.

### ✦ Cálculos tipo

Siendo X el valor de la fuerza (peso en Kg.) aplicada en cada probeta y n tiene el valor de 50, tenemos:

#### - Media aritmética

Aplicando la ecuación para vidrio de 3mm de espesor

$$\bar{x} = \frac{1}{50} \sum_{i=1}^{50} x_i = \frac{205.3 \text{ Kg}}{50} = 4.106 \text{ Kg} \approx 4.11 \text{ Kg}$$

#### - Desviación Estándar

Aplicando la ecuación para vidrio de 3mm. De espesor

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{50} x_i^2}{50} - 16.859236} = 0.38619547 \approx 0.39$$

### ✦ Resultados

A continuación se presentaran las tablas de los datos obtenidos, tabla de datos de fuerza para fracturar el vidrio monolítico según su espesor, tabla del promedio de dicha fuerza para cada espesor, tabla de la desviación estándar también para cada espesor y la grafica de variación de la fuerza según su espesor.

Tabla 11

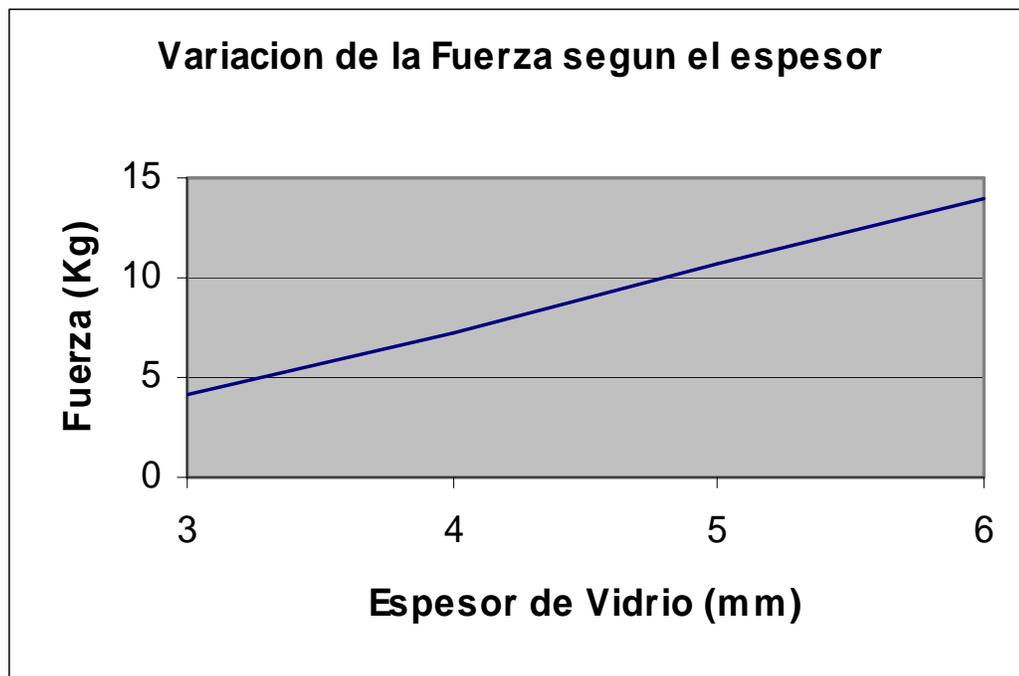
	Espesor del Vidrio (mm)			
	Tres	Cuatro	Cinco	Seis
Fuerza aplicada (Kg)	4,5	9,1	10,2	12,9
	4,7	9	9,8	13,8
	4	9,2	10,5	12,9
	3,9	8,8	9,7	14,9
	4,7	8,3	10,5	13,3
	4,5	7,8	10,5	13,2
	4	6,5	11	12,6
	4	6,7	11,5	12,8
	3,8	6,2	11,8	14,9
	3,7	6,7	11,7	14,3
	3,5	6,5	11,5	12
	4,2	6	10,5	15,5
	4,3	7,2	11,4	12,8
	3,5	7,1	11,5	14,3
	4,4	8,1	10,4	12,5
	4,6	6,4	9,7	14
	3,9	6,5	10	14,8
	4,1	6,9	11,3	13
	3,6	6,3	11,1	14,7
	3,9	6,2	10,8	15,4
	4,1	7,4	10,8	13,8
	4,8	9,4	9,9	13,7
	4,6	6,5	11,3	13,4
	3,8	9,7	10	12,9
	4,3	7,2	11,2	14,5
	3,5	7,3	10,7	15,1
	4,5	6,7	10	14,2
	3,8	6,8	10,6	15
	3,9	6,5	11,3	13,9
	4	6,9	10,3	13,9
	4,1	6,2	10,2	14
	4,3	7,4	10,5	14
	4,3	8,2	11,2	14,9
	4	8,1	9,8	12,9
	3,5	8,2	11,1	15,2
	3,9	7,5	10,7	13,9
	4,6	6,4	10,9	12,9
	3,5	6,9	9,9	14,4
	4,7	6,4	11,1	14,6
	3,9	6,4	9,8	14,9
4,5	7,1	10,1	13,9	
3,5	7,2	10,7	14,5	
3,7	7,3	10,4	13,9	
4,3	6,3	10,9	13,7	
4,2	8,9	11,2	14,3	
4,8	7,1	9,6	13,8	
3,8	7,8	10	15,1	
4	7,9	10,8	13,8	
4,5	6,3	10,9	13,3	
4,1	7,7	10,8	13,4	

Tabla 12

Medias Aritméticas según su espesor (mm)			
Tres	Cuatro	Cinco	Seis
4,106	7,304	10,642	13,928
3	4	5	6

Tabla 13

Desviación estándar según su espesor			
Tres	Cuatro	Cinco	Seis
0,38619547	0,9733091	0,59422046	0,84973946



### ✚ Análisis de resultados

Analizando los resultados obtenidos podemos observar que para un mismo espesor de vidrio monolítico las cargas aplicadas en kilogramos varían, esto se debe a que las probetas de vidrio monolítico seleccionadas son de diferentes conformado ya que provienen de diferentes láminas, podemos decir que en el proceso de producción del vidrio las láminas obtenidas nunca poseen las mismas propiedades a nivel microscópico. A esto se le suma que el proceso del rayado del vidrio fue realizado por una persona elegida al azar, a pesar de que esta persona sea un experto en corte y

rayado de vidrio este no siempre ejercerá la misma presión y el mismo ángulo para realizar el rayado del vidrio, por ende la carga que se le aplicara para fracturar el vidrio monolítico variara dependiendo de cuales sean las propiedades del vidrio monolítico y de la forma en que el cortador de vidrio realice el rayado de este.

Analizando las desviaciones estándar que se obtuvieron para los diferentes espesores de vidrio monolítico podemos decir que el procedimiento experimental realizado es aceptable ya que estos valores son bajos y es indicio de que tan dispersos están los datos de carga o fuerza obtenidos para fracturar el vidrio, a partir de estos valores podemos visualizar en que tanto nos afectaron las variables en el experimento y decir si este es aceptable o no.

Podemos observar también que la carga o fuerza aplicada para fracturar el vidrio monolítico varia según su espesor, observando la grafica Fuerza (Kg.) Vs. Espesor podemos decir que esta variación se aproxima a una recta.

### **✚ Conclusiones**

- El procedimiento experimental es aceptable y se toman los datos obtenidos para futuro uso o referencia.
- El conformado del vidrio siempre es diferente.
- Las desviaciones estándar obtenidas son aceptables.
- El rayado del vidrio varía en presión y ángulo en cada una de las probetas.
- La variación de la carga o fuerza para fracturar el vidrio varia según su espesor y esta variación se puede decir que es lineal.

#### **4.1.2 Cálculo de la presión de corte para rayar el vidrio.**

El objetivo de éste ensayo es determinar la presión necesaria para rayar o entallar el vidrio monolítico para que éste pueda romper en la máquina de fractura del vidrio.

Éste ensayo debe realizarse con los valores preestablecidos de fuerza de fractura para cada espesor de vidrio monolítico.

#### ✦ **Funcionamiento del equipo.**

Éste equipo consta de un sistema de carro-riel sobre el cual esta ubicada una herramienta de corte. En la herramienta de corte se encuentra un sistema neumático con un manómetro y funciona con un compresor el cual le da la presión a un pistón y éste a su vez se la transmite a la herramienta de corte, para que esta pueda realizar el entalle del vidrio monolítico. El sistema carro- riel consta de un carro con cuatro rolines que ruedan sobre dos rieles, éste sistema mantiene la herramienta de corte perpendicular al plano del vidrio y es movido manualmente en forma lineal, ver Fig. 9

#### ✦ **Descripción del equipo**

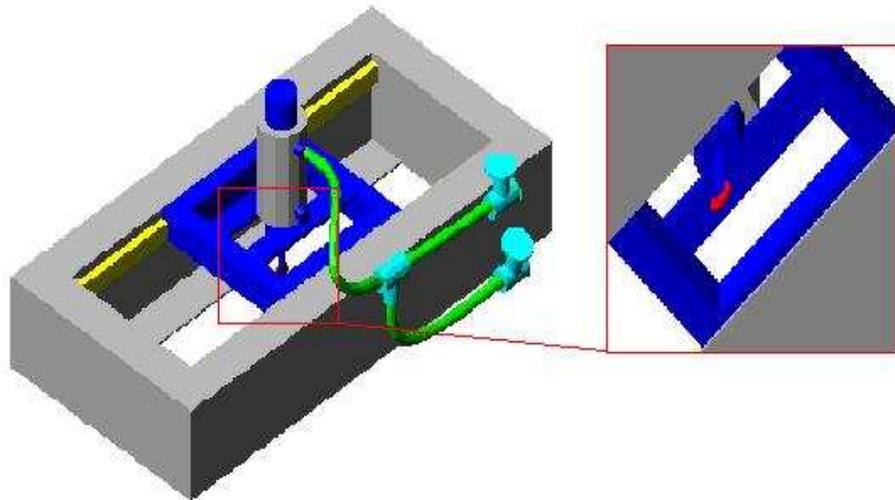


Figura 9

#### ✦ **Descripción de la probeta para el ensayo**

Las probetas utilizadas en éste ensayo fueron descritas en el ensayo de cálculo de la fuerza necesaria para fracturar el vidrio monolítico, misma cantidad de probetas.

### ✚ Procedimiento experimental

1. Colocar una probeta en la máquina de corte.
2. Colocar la herramienta de corte en una de los extremos de la probeta.
3. Abrir la válvula de entrada y nivelar la presión de corte a 0.8 kg/cm<sup>2</sup>.
4. Mover manualmente la herramienta de corte hacia el otro extremo de la probeta.
5. Desmontar la probeta de la máquina de corte y colocarla en la máquina de fractura.
6. Colocar el peso ya conocido (dependiendo del espesor de la probeta) para aplicar la fuerza requerida para la fractura del vidrio monolítico.
7. Anotar en una tabla si la probeta ensayada fracturó o no fracturó y la calidad del corte.
8. Si la probeta no fracturó en la máquina de fractura, aumentar la presión en el sistema neumático en 0.2 kg/cm<sup>2</sup> y repetir del paso 2 al 7.

En éste procedimiento deben realizar todos los ensayos de un mismo espesor y luego continuar con los espesores restantes.

### ✚ Resultados

A continuación se presentaran las tablas de los datos obtenidos para cada uno de los espesores, tabla de cantidad de presión aplicada para realizar el rayado del vidrio, calidad del rayado y del corte y su respectiva leyenda.

Tabla 14

Fuerza Ejercida (Kg)	Presión de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )	Espesor del Vidrio (mm)			
		Seis	Cinco	Cuatro	Tres
7,63	3	B	R	M	M
7,12	2,8	B	R	R	M
6,61	2,6	B	B	R	R
6,1	2,4	B	B	B	R
5,59	2,2	R	B	B	R
5,08	2	R	R	B	R
4,58	1,8	M	R	R	B
4,07	1,6	M	M	R	B
3,56	1,4	M	M	R	B
3,05	1,2	M	M	R	B
2,54	1	No	M	M	B
2,03	0,8	No	No	No	No

NOTA: El diámetro del pistón que ejerce la presión es 18 mm.

**B:** Corte de buena calidad

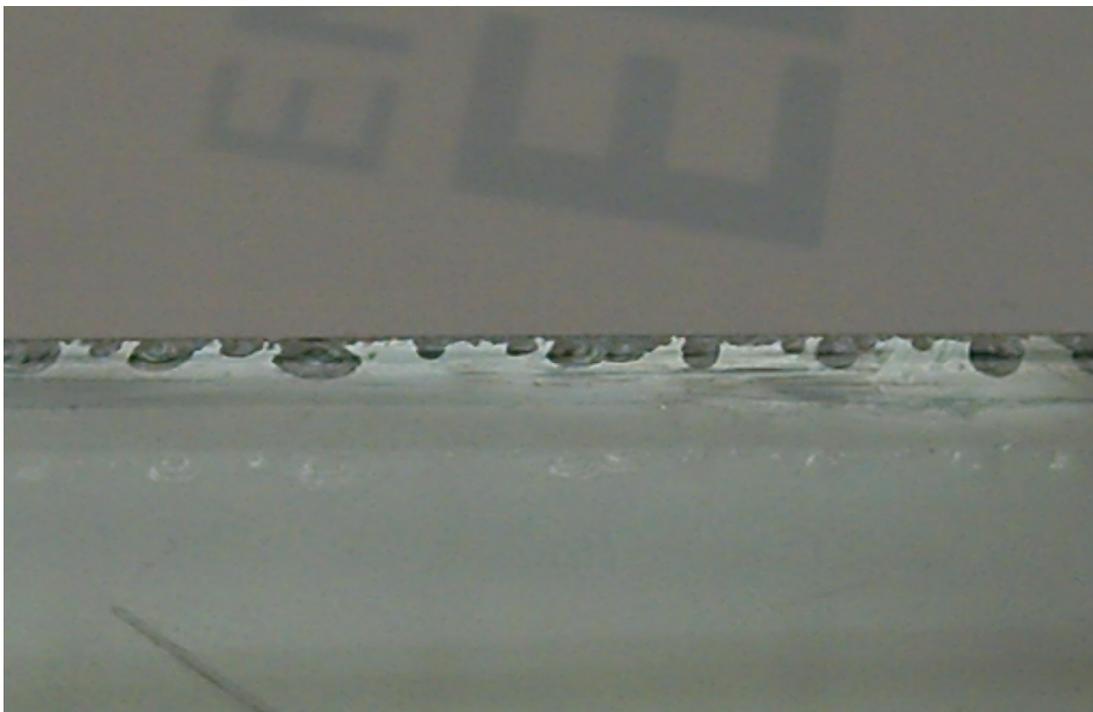
**R:** Corte de calidad media o regular

**M:** Corte de calidad baja o mala

**No:** No se realizó el corte

A continuación presentamos unas fotos representando un corte de baja calidad, de media calidad y de buena calidad.

Corte malo o de baja calidad.



En la foto de corte malo podemos observar el desconche que sufre el vidrio a todo lo largo del corte, esto sucede cuando el rayado que se efectúa a este, no es el adecuado y la superficie que queda después del corte es muy irregular y se pierde mucho material al realizar los acabados finales.

Corte regular o de calidad media.



En la foto de corte regular observamos que todavía existe en ciertas partes del corte desconche del vidrio, la superficie presenta en algunas partes irregularidad y en otras no, a pesar de esto todavía se pierde medianamente material al realizar los acabados finales.

Corte de buena calidad.



En la foto de corte de buena calidad, los desconches y las irregularidades en la superficie son mínimas, en este vidrio cuando se realicen los acabados finales se perderá poco material.

### **+ Análisis de resultados**

Analizando los resultados obtenidos podemos observar que los diferentes espesores de vidrio monolítico fracturan a diferentes valores de presiones y en algunos casos no fractura, sin embargo la calidad del rayado del vidrio nunca es igual, dependerá de la presión aplicada, esta calidad de rayado realizada por la máquina fue analizada por una persona experta en el área de rayado y fractura del vidrio.

Notamos que el rayado en el vidrio se ejecutará siempre y cuando exista el efecto de rodadura entre el vidrio y el disco de diamante de la herramienta de corte a expensas de la velocidad en que se realice el mismo, este efecto aparecerá siempre y cuando se le aplique una presión suficiente a la herramienta de corte.

## ✚ Conclusiones

- El rayado del vidrio se puede realizar con diferentes valores de presión.
- El rayado del vidrio es provocado siempre y cuando exista rodadura entre el disco adiamantado de la herramienta de corte y el vidrio.
- El mejor rango de presión para realizar el rayado del vidrio esta entre 2,2 Kg/cm<sup>2</sup> y 2,6 Kg/cm<sup>2</sup>, tomando como referencia para elegir este rango la calidad del corte del vidrio.
- Para un mismo valor de presión de rayado de vidrio monolítico la calidad del corte del vidrio varia según su espesor.
- La calidad de corte depende de la presión aplicada a expensas de la velocidad de ejecución del mismo.

### 4.1.3 Cálculo de la fuerza necesaria para fracturar el vidrio laminado.

El objetivo de éste ensayo es determinar la fuerza necesaria para fracturar una lámina de vidrio laminado de dimensiones conocidas dependiendo del espesor de esta, usando la máquina de corte o rayado de vidrio para realizar la entalladura del vidrio laminado.

## ✚ Funcionamiento del equipo

Para éste ensayo es necesario tener preestablecida la presión de corte que usará la máquina de rayado del vidrio laminado la cual fue calculada en el ensayo de Cálculo de la presión de corte para rayar el vidrio. En éste ensayo el vidrio laminado será rayado de la misma manera y con el mismo mecanismo del ensayo anterior.

### ✦ Descripción del equipo

La descripción y funcionamiento de las máquinas utilizadas para este ensayo fueron descritas en los dos ensayos anteriores.

### ✦ Descripción de las probetas para el ensayo.

Las probetas a usar en éste ensayo están conformadas por dos láminas de vidrio monolítico unidas entre si por una película de polivinilbutiral. Dependiendo del espesor de las láminas de vidrio monolítico será el espesor de la probeta de vidrio laminado, si las láminas de vidrio monolítico usadas para construir la probeta de vidrio laminado son de 6mm, el espesor final de esta será de 12mm. Solo se deben unir probetas del mismo espesor y no de espesores diferentes para realizar éste ensayo, ver Fig. 10.

Las probetas de vidrio laminado tienen las mismas dimensiones y en las mismas cantidades que las probetas de vidrio monolítico usadas en los ensayos anteriores.

Los espesores de las probetas son de 6mm, 8mm, 10mm, 12mm.

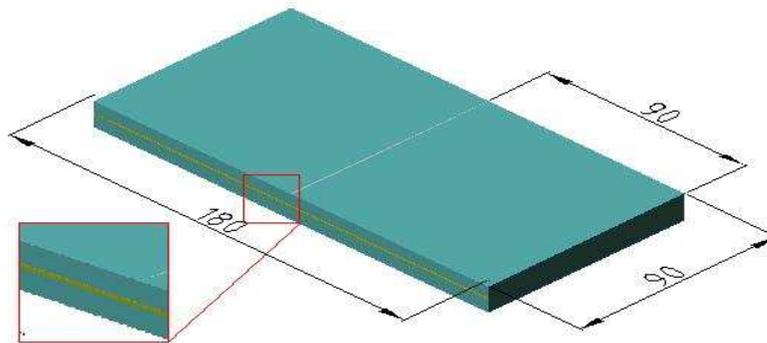


Figura 10

### **✚ Procedimiento Experimental**

1. Montar la probeta en la máquina de corte de vidrio y realizar el rayado de éste por uno de los lados.
2. Voltar la probeta y realizar el rayado del vidrio laminado por el otro lado.
3. Repetir los pasos del 2 al 5 del ensayo del Cálculo de la fuerza necesaria para romper el vidrio monolítico.
4. Voltar la probeta de vidrio laminado ya fracturada por un lado y repetir el paso 3

Realizar éste procedimiento para todas las probetas de un mismo espesor y luego la de otros espesores.

### **✚ Resultados**

A continuación se presentaran las tablas de los datos obtenidos para cada espesor, tabla de carga o fuerza aplicada para fracturar el vidrio laminado por cada uno de sus caras, tabla del promedio de dichas cargas o fuerzas aplicadas para cada una de sus caras, tabla de desviación estándar de las cargas o fuerzas aplicadas para cada una de sus caras y la grafica de variación de la fuerza según su espesor.

Tabla 15

Lado 1	Espesor del Vidrio Laminado (mm)			
	Seis	Ocho	Diez	Doce
Fuerza aplicada (Kg)	9,5	17,3	27,5	38,5
	10,1	18,1	28,2	39,1
	10,1	16,7	26,8	37,9
	10	17,4	27,9	37,6
	9,1	17,2	27,6	37,9
	9,3	17	27,9	38,1
	8,7	18,1	28,1	38
	8,8	16,9	27,9	38,2
	8,9	16,7	26,7	37,8
	9,4	17,3	26,9	39
	9,7	17,4	27	38,5
	9,1	16,8	27,2	38,5
	8,9	16,5	27,5	38,9
	8,5	17,6	27,3	38,6
	9,3	17,9	27	37,3
	9,6	18	27	38,7
	10,1	17,4	28,1	37,9
	9,3	16,9	27,5	38
	10,2	17,6	26,8	38
	9,8	17,9	27,3	37,8
	9,9	17,2	28	38,3
	9,9	17,3	27,2	38,6
	9,3	17,4	27,1	38,9
	9	17,7	26,9	39,2
	9,1	17,9	26,8	37,9
	9	16,7	27,5	38,7
	9,7	16,8	27,6	38,5
	9,5	16,9	27,7	38,6
	9,5	17	28,1	37,7
	9,9	17,2	26,8	39,4
	8,7	16,9	26,9	38,4
	8,9	18,4	27,5	38,4
	8,8	16,8	27,6	37,9
	9,1	16,9	27	38,3
	8,9	17,2	28,1	39,2
	10,2	17	27,9	38,6
	9,5	17,2	27,3	37,2
	9,6	17,1	26,8	39,2
	8,7	16,9	27,1	38,6
	9,5	16,9	27,9	38,7
9,3	17	28,3	39,4	
10	17,3	27,8	38,7	
9	17,3	27,5	38,5	
9	17,1	27,5	38,4	
9,4	16,7	27,9	38,9	
9,5	16,9	27	37,2	
9,9	17,3	27,1	38,7	
10,4	17,1	27,9	39	
9,8	17,2	27,6	38,6	
9,7	17	27,5	38,7	

Tabla 16

Lado 2	Espesor del Vidrio Laminado (mm)			
	Seis	Ocho	Diez	Doce
Fuerza aplicada (Kg)	6.5	12.1	17.8	25.5
	7.1	12.3	17.9	26.2
	5.3	13.7	18.1	24.9
	5.6	12	18	25
	6.7	13.5	18.9	25.3
	6.6	13.6	17.9	26.7
	7.2	13.7	18.7	26
	5.4	13	19	25.9
	5.9	12.9	19.3	25.8
	5.8	13.4	17.9	25.7
	7	12.6	18.1	25.9
	7.1	12.5	18.5	26.5
	6.5	13.1	18.6	26.9
	6.7	13.9	18.9	26.9
	6.4	14.1	18.4	27
	6.4	12.9	18	26.3
	6.2	13.6	17.8	26.1
	6.9	13.5	19.3	26.3
	6.6	13.6	18.1	26.3
	5.8	13.9	18	26.5
	5.7	12.9	17.8	26.8
	6.3	14	17.9	26.7
	6.5	13.9	19.1	26.1
	5.8	13.5	18.5	26
	5.7	13.5	18.7	25.7
	5.9	13.5	18.2	26.2
	6	13	18.9	25.9
	6	13	18.1	25.8
	6.1	13.1	19	25.9
	6.5	13.1	18.9	26.5
	6.7	13.8	17.5	25.7
	6.9	12.7	19.2	25.3
	6.7	13.7	18.6	25.1
	6.6	13.5	18.7	27
	5.9	13.4	18.3	26.4
	6	13.8	18.3	25.5
	7	14.1	18.4	25
	6	12.7	18.9	26
	6.2	13.9	18	25.9
	6.4	13.9	18.1	26.1
6.7	13.1	17.9	26	
6	13.7	17.6	24.9	
6.1	12.8	18.2	25.9	
6.2	12.9	19.1	25.4	
5.8	13	17.9	25.6	
5.7	13.9	18.2	25.1	
5.9	13.5	18.4	25.9	
5.8	13.5	18.8	25.8	
6.3	13	18.8	26.2	
6.5	13.1	18.5	26.1	

Tabla 17

Lado 1	Medias Aritméticas según su espesor (mm)			
	Seis	Ocho	Diez	Doce
	9,422	17,22	27,4530612	38,414
	6	8	10	12

Tabla 18

Lado 1	Desviación Típica según su espesor DESVEST			
	Seis	Ocho	Diez	Doce
	0,47864179	0,42522503	0,45281621	0,54436257

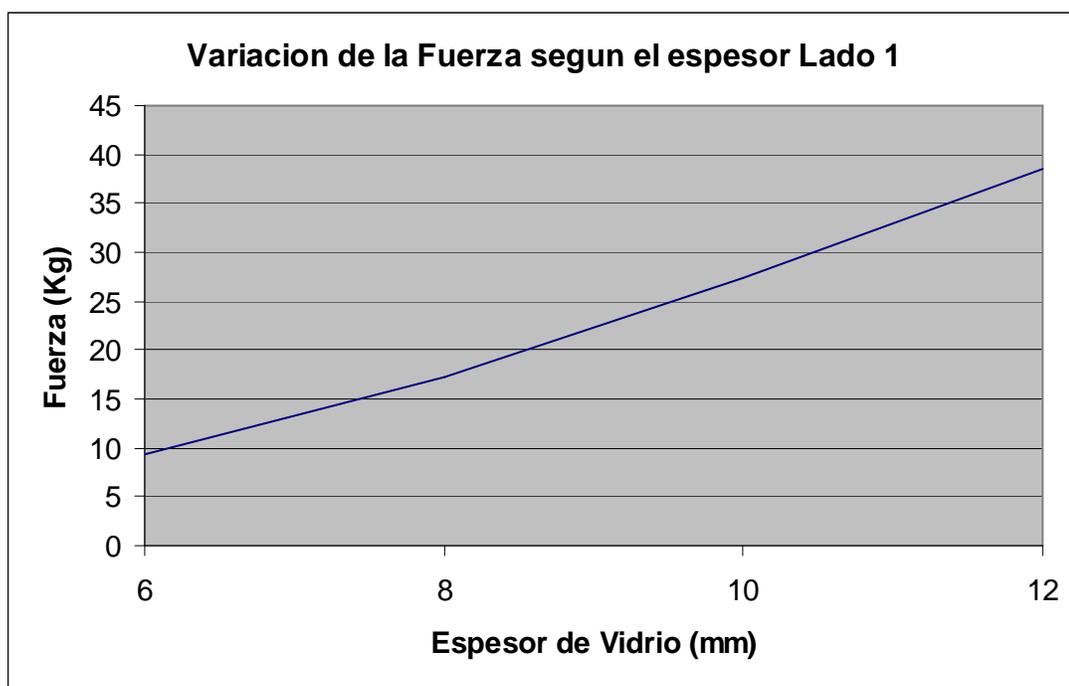
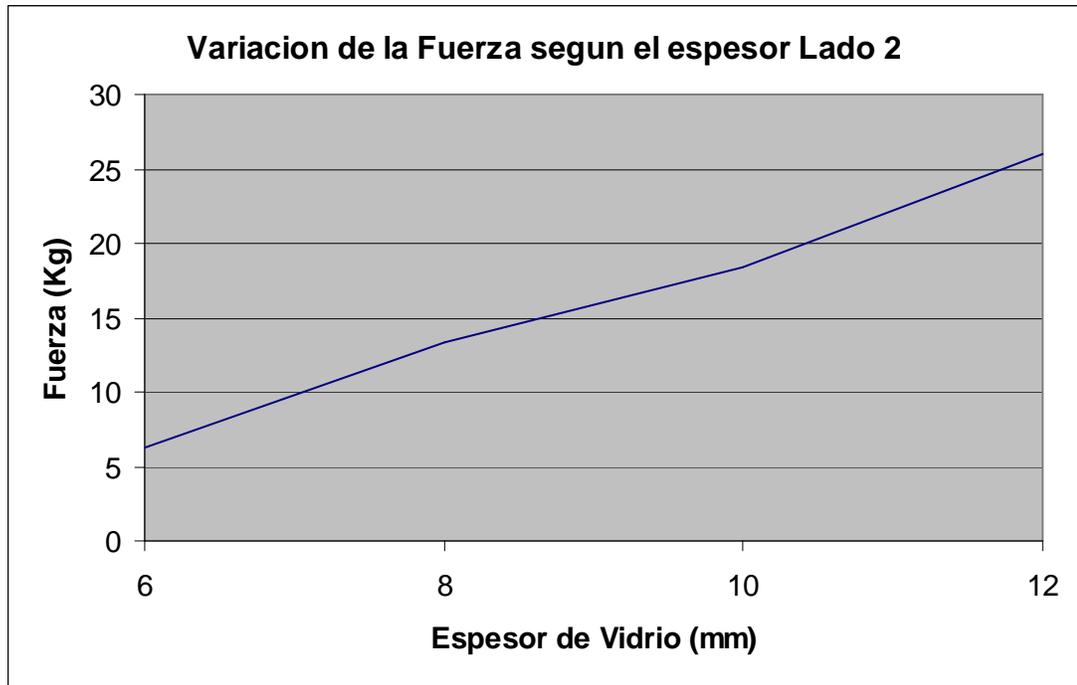


Tabla 19

Lado 2	Medias Aritméticas según su espesor (mm)			
	Seis	Ocho	Diez	Doce
	6,272	13,308	18,394	25,9734694
	6	8	10	12

Tabla 20

Lado 2	Desviación Típica según su espesor DESVEST			
	Seis	Ocho	Diez	Doce
	0,4712294	0,51896286	0,47741224	0,55519348



#### ✚ Análisis de resultados

Analizando los datos obtenidos podemos observar que el rayado del vidrio laminado realizado por la máquina es efectivo y que la fuerza o carga necesaria para fracturar el vidrio laminado varía según su espesor. A pesar que el vidrio laminado esta conformando por dos láminas de vidrio monolítico unidas por una película de polivinilbutiral la disposición de esta unión y las propiedades polivinilbutiral trae como consecuencia que la fuerza que se necesita aplicar para fracturar el vidrio laminado sea mucho mayor que la fuerza para fracturar el vidrio monolítico. Para fracturar la segunda cara del vidrio laminado observamos que se necesita menos fuerza o carga de fractura que la aplicada para la primera cara, sin embargo esta carga es mayor que la que se aplica para el vidrio monolítico debido también a la película

de polivinilbutiral y la resistencia que ofrece el vidrio opuesto al que se va a fracturar. En este cálculo experimental podemos decir que la desviación estándar o dispersión de los datos obtenidos es mínima y aceptable para usar estos en referencias futuras.

### ✚ Conclusiones

- La fuerza o carga para fracturar el vidrio laminado varía según su espesor.
- La fuerza o carga para fracturar el vidrio laminado varía para sus dos lados siendo la carga del primer lado mucho mayor que la carga aplicada en el segundo lado.
- Las propiedades del polivinilbutiral afecta la carga que se debe aplicar para fracturar el vidrio laminado, y este afecta los dos lados al momento de la fractura.
- La desviación estándar o dispersión de los datos obtenidos es mínima.

#### 4.1.4 Cálculo de la velocidad.

Basándonos en las dos experiencias anteriores notamos que la indentación de las muestras fueron realizadas a diferentes velocidades, ya que nuestro dispositivo de rayado o indentación con el que realizamos el experimento anterior no controla la variable “velocidad de corte”, aún así, todos los cortes fueron efectuados, siendo la presión aplicada a la herramienta de corte la variable que afecta mayormente la calidad del mismo.

Haciendo un análisis de estos resultados, notamos que, la indentación del vidrio se efectuará siempre y cuando exista el efecto de rodadura entre el disco de diamante de la herramienta de corte y el vidrio, como éste efecto depende exclusivamente de la fuerza de roce que aparece entre los dos materiales cuando entran en contacto y este roce depende a su vez de la fuerza de indentación., teóricamente hablando, siempre que se aplique una fuerza de indentación suficiente va a existir rodadura sin importar la velocidad en que se ejecute el rayado o indentación.

La limitante en todo este proceso es la fragilidad del vidrio, es decir, existe un rango de presiones para que se realice el rayado, no se quiebre el vidrio y además el corte se obtenga de buena calidad, ese rango obtenido en las experiencias anteriores, junto con las limitaciones intrínsecas del diseño y de los materiales de construcción van a definir el rango de la velocidad de corte de la máquina.

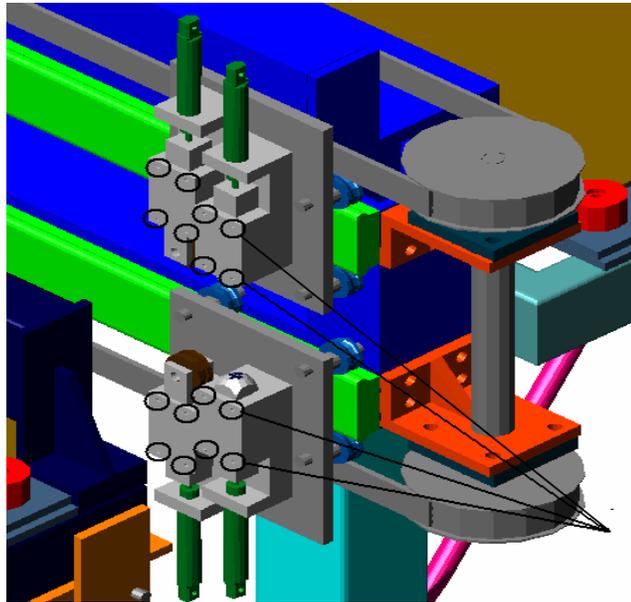
Haciendo una pequeña recolección de datos de campo en varias compañías del ramo sobre una población de 10 Maestros Cortadores con más de 8 años de experiencia cortando vidrio, descubrimos que la velocidad de corte manual es aproximadamente de unos 0.5 m/seg. Independientemente del tipo y del espesor del vidrio a cortar, aunado a esto, el resultado de las investigaciones sobre la velocidad de corte de las máquinas ya existentes en el mercado nos arroja un rango de velocidades de entre 0.5 m/seg. Y 2.3 m/seg. Tomando en cuenta todo lo anterior decidimos basar el diseño en un rango de velocidades de entre 0.5 m/seg. Y 2 m/seg. Y utilizaremos un sistema de control variable, para tener un mejor control al momento de la optimización de la variable “velocidad de corte” en la máquina.

## CAPÍTULO V

### 5.1. Cálculos

#### 5.1.1. Cálculo de los tornillos como elemento de unión.

##### ✚ Tornillos del porta herramientas.



Variables:

Ph = Peso del porta herramientas.

Pp = Presión ejercida por el pistón.

N = Fuerza normal de reacción y fuerza a la que se somete el tornillo.

T = Esfuerzo de corte.

Ap = Área del pistón.

Apas = Área del pasador.

Sy = Esfuerzo de fluencia.

Fs = Factor de seguridad.

$$Pp = 2,6 \frac{Kgf}{cm^2} ; Ph = 1,9883Kgf ; Ap = 4,90cm^2$$

$$N = (Pp * Ap) + Ph = \left( 2,6 \frac{Kgf}{cm^2} * 4,90cm^2 \right) + 1,9883Kgf = 14,7283Kgf = 144.4352Nw$$

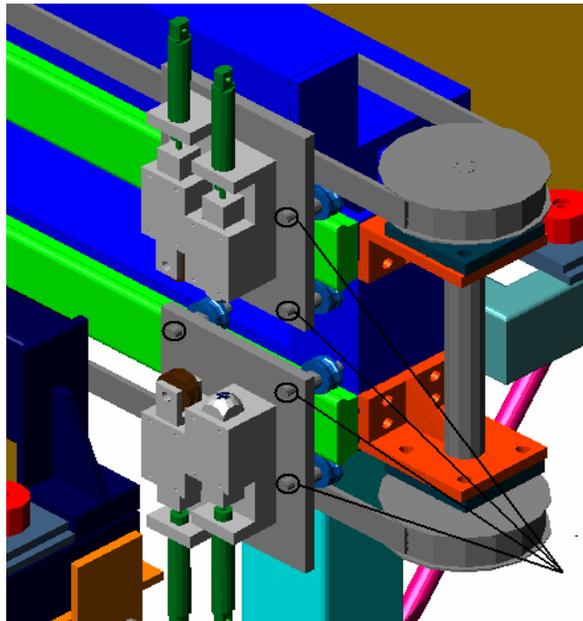
$$T = \frac{N}{A_{pas}} ; T \leq \frac{S_y}{2F_s} ;$$

$$A_{pas} \geq \frac{N * 2 * F_s}{S_y} \geq \frac{144,4352Nw * 2 * 2}{227526990,675Pa} \geq 2,5392 * 10^{-6} m^2 \geq 2,53mm^2$$

$$A_{pas} = \frac{\pi(diam)^2}{4} ; Diam = \sqrt{\frac{A_{pas} * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{2,53mm^2 * 4}{\pi}} = 1,79mm$$

El diámetro del pasador o tornillo deberá ser mayor a 1,79 mm para que este no falle.

#### ✚ Tornillos del Carro móvil.



Pc = Peso del carro móvil.

Pt = Peso total que soportaran los tornillos.

N = Fuerza normal de reacción y fuerza a la que se somete el tornillo.

Apas = Área del pasador.

T = Esfuerzo de corte.

$$P_c = 3,0905 \text{ Kgf}$$

$$P_t = P_c + N = 3,0905 + 14,7283 = 17,8188 \text{ Kgf} = 174,7427 \text{ Nw}$$

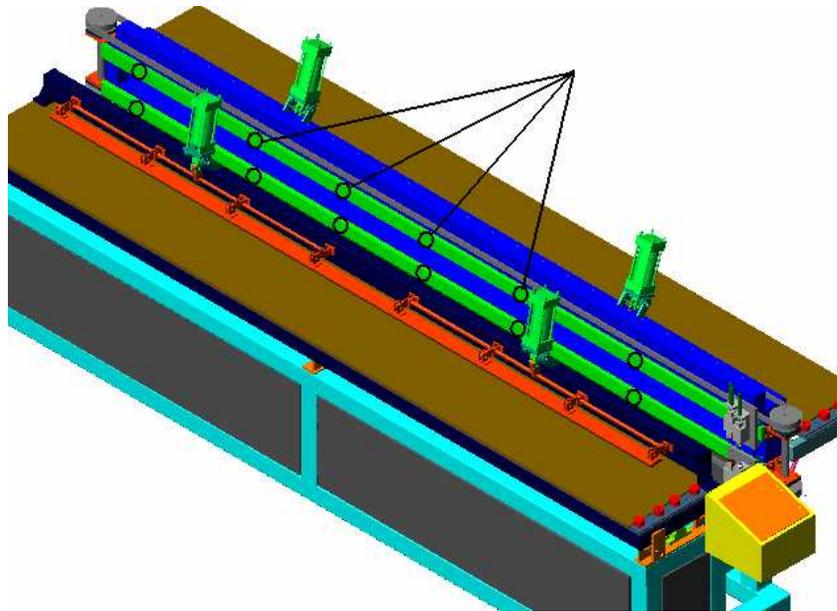
$$T = \frac{N}{A_{pas}} ; T \leq \frac{S_y}{2F_s} ;$$

$$A_{pas} \geq \frac{N * 2 * F_s}{S_y} \geq \frac{174,7427 \text{ Nw} * 2 * 2}{227526990,675 \text{ Pa}} \geq 3,0720 * 10^{-6} \text{ m}^2 \geq 3,072 \text{ mm}^2$$

$$A_{pas} = \frac{\pi(\text{diam})^2}{4} ; \text{Diam} = \sqrt{\frac{A_{pas} * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{3,072 \text{ mm}^2 * 4}{\pi}} = 1,97 \text{ mm}$$

El diámetro del pasador o tornillo deberá ser mayor a 1,97mm para que este no falle.

#### ✚ Tornillos del riel.



Diam = Diámetro del pasador.

Ft = Fuerza total a la que estarán sometidos los tornillos, la cual se obtendrá del grafico de fuerza cortante.

T = Esfuerzo de corte.

Fp = Fuerza permisible.

Ntor = Numero de tornillos.

Ft= 1646,1888 Nw;

Diam = 7 mm = 0,007 m

$$A_{pas} = \frac{\pi(diam)^2}{4} ; A_{pas} = \frac{\pi(0,007)^2}{4} = 3,8484 * 10^{-5} m^2$$

$$T = \frac{Fp}{A_{pas}} ; T \leq \frac{Sy}{2Fs} ; Fp \leq \frac{Sy * A_{pas}}{2 * Fs}$$

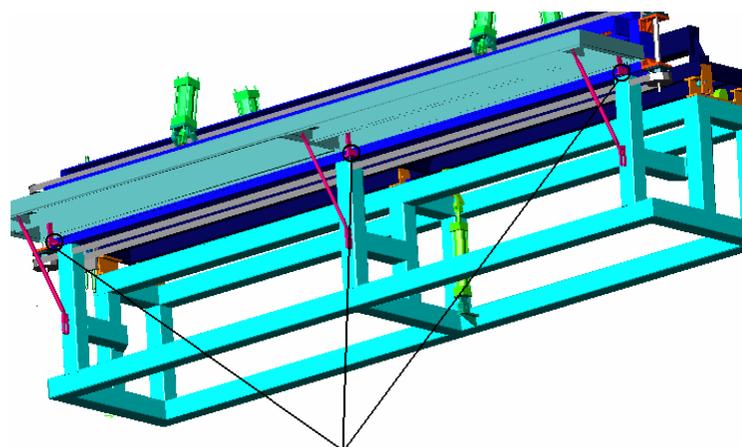
$$Fp \leq \frac{227526990,675 * 3,8484 * 10^{-5}}{2 * 2} = 2189,03 Nw$$

$$Ntor = \frac{Ft}{Fp} ; Ntor = \frac{1646,1888 Nw}{2189,03 Nw} = 0,7520 \square 1 \text{ tornillo}$$

Un solo tornillo soporta la fuerza mayor a la que estará sometido, la cantidad de tornillos a utilizar dependerá ahora del largo que posea el riel y no de la fuerza aplicada a estos.

Se colocaron 7 tornillos en cada uno de los rieles de ¼ de pulgada con una separación de 50 centímetros entre tornillos.

#### ✚ Cálculos de los tornillos de la mesa fija.



Peso total de la mesa y la lámina de vidrio

$$F = 150 \text{ Kg} + 250 \text{ Kg} = 400 \text{ Kg.} = T = 3922,66 \text{ Nw}$$

$$T = \frac{N}{A_{pas}} ; T \leq \frac{S_y}{2F_s} ;$$

$$A_{pas} \geq \frac{N * 2 * F_s}{S_y} \geq \frac{3922,66 * 2 * 2}{227526990,675} = 6,8961 * 10^{-5} m^2 = 68,961 mm^2$$

$$A_{pas} = \frac{\pi(diam)^2}{4} ; Diam = \sqrt{\frac{A_{pas} * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{68,691 mm^2 * 4}{\pi}} = 9,3703 mm$$

El diámetro mínimo del pasador para la mesa fija es 9,3703 milímetros.

### ✚ Cálculo de tornillos de mesa de presión.

Diagrama.

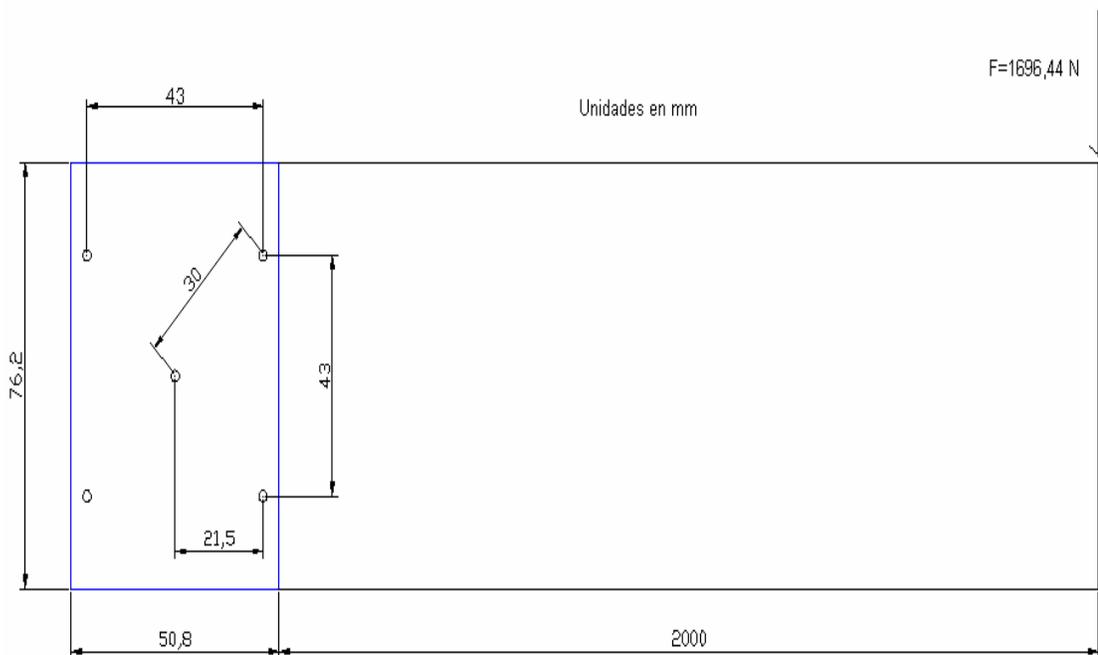


Figura 11

Presión del pistón = 6 bar.

Diámetro del pistón = 60 mm

$$A_p = \frac{\pi \text{Diame}^2}{4} = \frac{\pi(60)^2}{4} = 2827,4333 \text{mm}^2 = 2,8274 * 10^{-3} \text{m}^2$$

$$F_{piston} = P * A = 600000 * 2,8274 * 10^{-3} = 1696,44 \text{N} = V$$

$$M = 1696,44 * 2 = 3435,8885 \text{ N * m}$$

Brazo al perno = 30 mm

Carga Cortante primaria (carga resultante de la fuerza de corte V)

$$F_{prim} = \frac{v}{n} = \frac{1696,44}{8} = 212,055 \text{N}$$

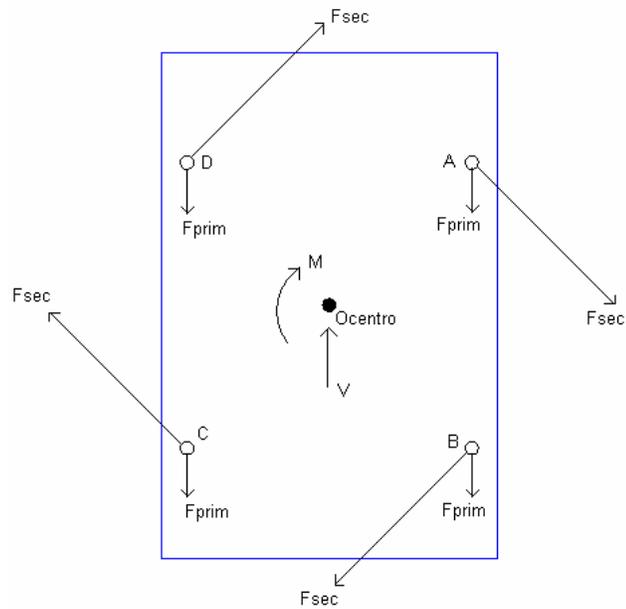
Carga Cortante secundaria (carga resultante del momento):

Como todas estas cargas son iguales, entonces:

$$F_{sec} = \frac{M}{8(\text{Brazo perno})} = \frac{3435,8885}{8 * (0,03)} = 14316,2020 \text{N}$$

Fuerza en los pernos

Diagrama de fuerzas en los pernos.



**Figura 12**

Los pernos A y B sufren los mayores esfuerzos:

$$F_{\text{pernA}} = F_{\text{pernB}} = F_a$$

$$F_a = F_{\text{prim}} + F_{\text{sec}} = (0; -212,055) + (10123,0835; -10123,0835)$$

$$F_a = (10123,0835; -10335,1385)$$

$$F_a = 14466,9245 \text{ N}$$

Los pernos C y D sufren los menores esfuerzos:

$$F_{\text{pernC}} = F_{\text{pernD}} = F_b$$

$$F_b = F_{\text{prim}} + F_{\text{sec}} = (0; -212,055) + (10123,0835; 10123,0835)$$

$$F_b = (10123,0835; 9911,0285)$$

$$F_b = 14167,0499 \text{ N}$$

Por lo tanto para calcular el diámetro del perno usamos la fuerza Fa

$$A_{perno} = \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2$$

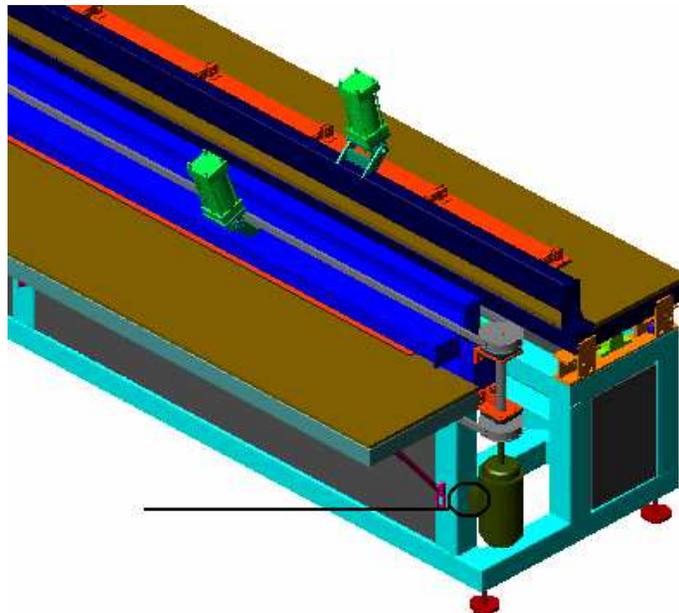
$$\frac{F_{perno}}{A_{perno}} \leq \frac{S_y}{2F_s}$$

$$A_{perno} \geq \frac{2 * F_s * F_{perno}}{S_y} \geq \frac{2 * 2 * 14466,9245}{227526990,975 Pa} \geq 2,5433 * 10^{-4} m^2 \geq 254,33 mm^2$$

$$D_{perno} \geq \sqrt{\frac{254,33 * 4}{\pi}} \geq 17,995 mm$$

El diámetro del perno debe ser mayor o igual a 17,995 mm.

#### ✦ Cálculo de los tornillos de la base del motor.



Peso total del motor y caja reductora.

$$F = 25 \text{ Kg.} = T = 245,1662 \text{ Nw}$$

$$T = \frac{N}{A_{pas}} ; T \leq \frac{S_y}{2F_s} ;$$

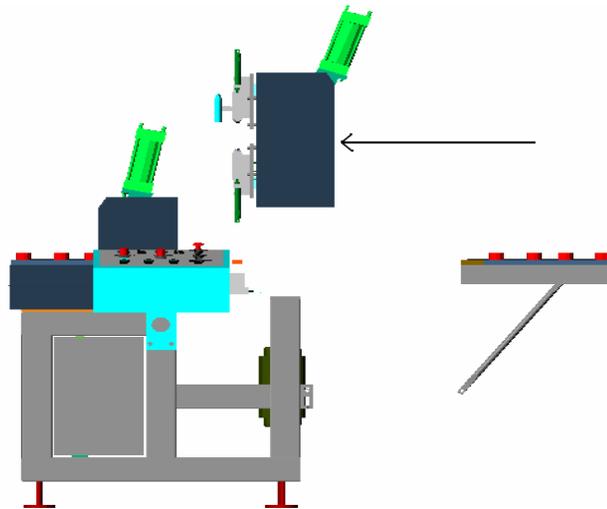
$$A_{pas} \geq \frac{N * 2 * F_s}{S_y} \geq \frac{245,1662 * 2 * 2}{227526990,675} = 4,3101 * 10^{-6} m^2 = 4,3101 mm^2$$

$$A_{pas} = \frac{\pi(diam)^2}{4} ; Diam = \sqrt{\frac{A_{pas} * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{4,3101mm^2 * 4}{\pi}} = 2,3426mm$$

El diámetro mínimo de los tornillos de la base del motor es 2,3426 milímetros.

Este diámetro de tornillo se usara también para las chumaceras de los ejes.

### 5.1.2. Cálculo de la viga principal de soporte.



L = longitud de la viga.

Plam = Peso de la lámina de vidrio más grande.

Pestr = Peso de la estructura que soporta el vidrio.

q = Fuerza distribuida a lo largo de la viga soporte.

Fta = Fuerza aplicada a la viga en el centro el cual es el lugar más desfavorable.

Rv1, Rv2 = Reacciones en los empotramientos.

M1, M2 = Momentos en el empotramiento.

Sx = Modulo de sección.

E = Modulo de elasticidad.

I = Momento de inercia.

Fp = Fuerza de los pistones de sostén.

L = 4 m

$$Plam = 200 \text{ Kgf}$$

$$Pestr = 100 \text{ Kgf}$$

$$\text{Presión del pistón} = 6 \text{ bar} = 600000 \text{ pa}$$

$$\varnothing_{piston} = 80 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$$

$$\text{Area piston} = \pi \left( \frac{0,08}{2} \right)^2 = 5,0265 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Fp = 600000 * 5,0265 * 10^{-3} = 3015,9 \text{ N}$$

Esta fuerza se transmite a la viga por medio de 4 bisagras por lo tanto:

$$Fp1 = \frac{3015,9}{4} = 753,975 \text{ N} = Fp2 = Fp3 = Fp4$$

$$q = 4,53 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} = 44,4241 \frac{\text{Nw}}{\text{m}} ; Fta = 317,6091 \text{ Kgf} = 3114,6812 \text{ Nw}$$

$$\sum Fh = 0$$

$$\sum Fv = 0 ; Rv1 + Rv2 = Fta + q * L + Fp$$

$$Rv1 + Rv2 = 3114,6812 \text{ Nw} + (44,4241 * 4) + 3015,9 = 6308,2776 \text{ Nw}$$

Por simetría  $Rv1 = Rv2$  por lo tanto

$$Rv1 = Rv2 = \frac{6308,2776 \text{ Nw}}{2} = 3154,1388 \text{ Nw}$$

$$\sum M = 0 ;$$

$$M1 - M2 = (3292,3776 * 2) + (753,975 * 0,8) + (753,975 * 1,6) + (753,975 * 2,4) + (753,975 * 3,2) - (3154,1388 * 4)$$

$$M1 - M2 = 0$$

Por simetría M1 y M2 son iguales en magnitud pero en sentidos contrarios.

Aplicando el Método de la segunda derivada. (Para determinar M1 y M2)

$$M = M1 + 3154,1388\langle z \rangle - 3114,6812\langle z - 2 \rangle - \frac{44.4241}{2}\langle z \rangle^2 -$$

$$753,975\langle z - 3,2 \rangle - 753,975\langle z - 2,4 \rangle - 753,975\langle z - 1,6 \rangle - 753,975\langle z - 0,8 \rangle$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{EI}$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{1}{EI} \left( M1 + 3154,1388\langle z \rangle - 3114,6812\langle z - 2 \rangle - \frac{44.4241}{2}\langle z \rangle^2 - \right) +$$

$$(753,975\langle z - 3,2 \rangle - 753,975\langle z - 2,4 \rangle - 753,975\langle z - 1,6 \rangle - 753,975\langle z - 0,8 \rangle)$$

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{EI} \left( M1\langle z \rangle + \frac{3154,1388}{2}\langle z \rangle^2 - \frac{3114,6812}{2}\langle z - 2 \rangle^2 - \frac{44.4241}{6}\langle z \rangle^3 - \right) +$$

$$\left( \frac{753,975}{2}\langle z - 3,2 \rangle^2 - \frac{753,975}{2}\langle z - 2,4 \rangle^2 - \frac{753,975}{2}\langle z - 1,6 \rangle^2 - \frac{753,975}{2}\langle z - 0,8 \rangle^2 \right) + C1$$

$$y = -\frac{1}{EI} \left( \frac{M1}{2}\langle z \rangle^2 + \frac{3154,1388}{6}\langle z \rangle^3 - \frac{3114,6812}{6}\langle z - 2 \rangle^3 - \frac{44.4241}{24}\langle z \rangle^4 - \right) +$$

$$\left( \frac{753,975}{6}\langle z - 3,2 \rangle^3 - \frac{753,975}{6}\langle z - 2,4 \rangle^3 - \frac{753,975}{6}\langle z - 1,6 \rangle^3 - \frac{753,975}{6}\langle z - 0,8 \rangle^3 \right) + C1\langle z \rangle + C2$$

Condiciones iniciales o condiciones de borde:

$$Z = 0 \rightarrow y = 0$$

$$Z = 0 \rightarrow y' = 0$$

$$Z = 4 \rightarrow y = 0$$

Por las condiciones iniciales

$$C1 = 0; C2 = 0$$

$$0 = \left( \frac{M1}{2} \langle 4 \rangle^2 + \frac{3154,1388}{6} \langle 4 \rangle^3 - \frac{3114,6812}{6} \langle 4-2 \rangle^3 - \frac{44.4241}{24} \langle 4 \rangle^4 - \right) +$$

$$\left( \frac{753,975}{6} \langle 4-3,2 \rangle^3 - \frac{753,975}{6} \langle 4-2,4 \rangle^3 - \frac{753,975}{6} \langle 4-1,6 \rangle^3 - \frac{753,975}{6} \langle 4-0,8 \rangle^3 \right)$$

$$M1 = M2 = 2822,9327 \text{ Nw} * \text{ m}$$

Ahora calculamos el modulo de sección.

$$Sx \geq \frac{Mx}{\left( \frac{Sy}{Fs} \right)}$$

$$Sx \geq \frac{2822,9327 \text{ Nw} * \text{ m}}{\frac{344703747,5 \frac{\text{Nw}}{\text{m}^2}}{2}} = 1,6378 * 10^{-5} \text{ m}^3 = 16,378 \text{ cm}^3$$

Con este valor de modulo de sección nos dirigimos a la tabla y seleccionamos el perfil estructural.

Diagrama de corte y momento flector de la viga principal.

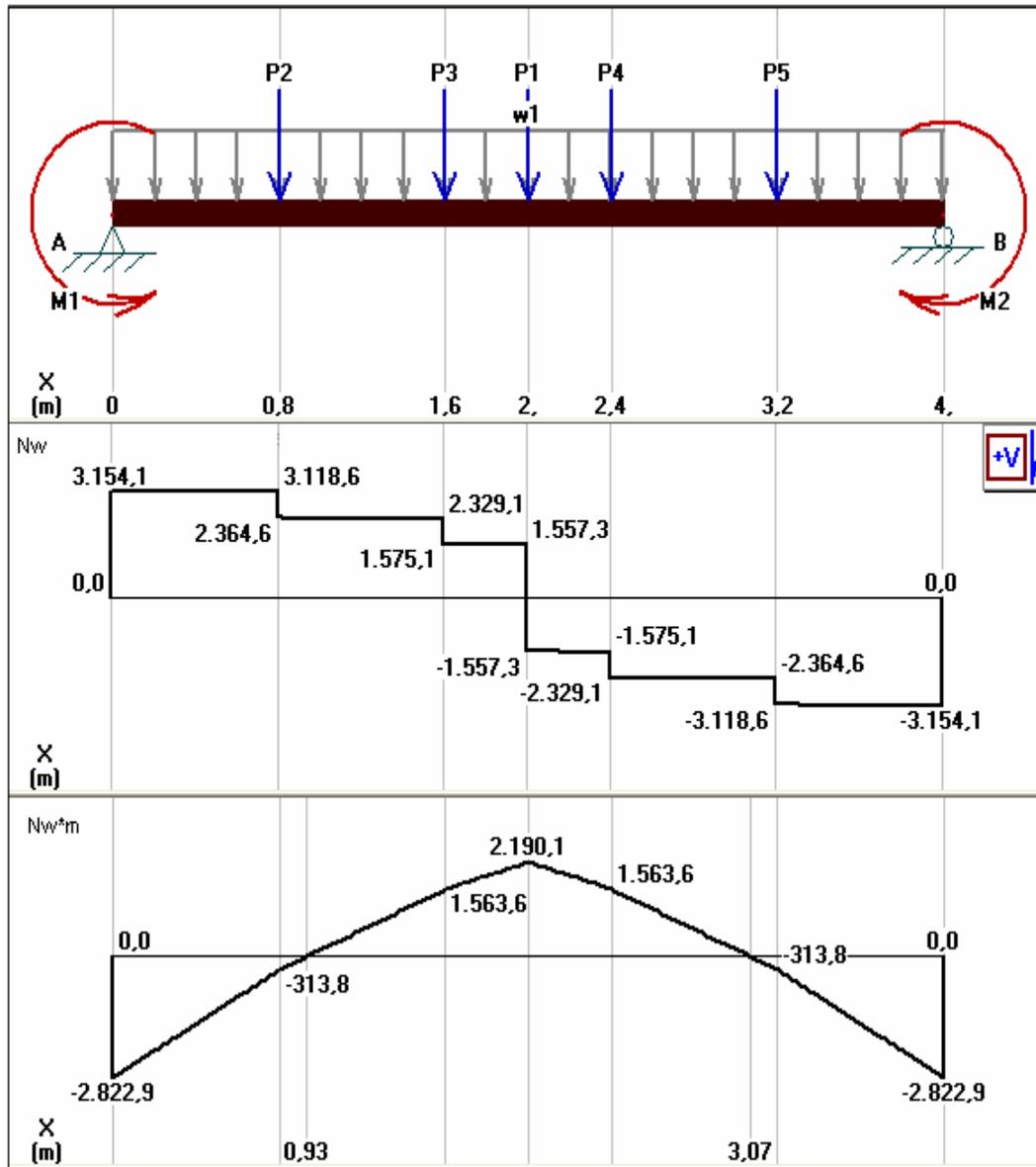


Figura 13

Tubo estructural acabado en caliente - Dimensiones nominales y características de los perfiles huecos de sección rectangular.

Tabla 21

Tubos sección rectangular		Espesor	Masa por unidad de longitud	Área de la sección transversal	Momento de inercia de flexión		Radio de giro		Módulo de flexión elástico		Módulo de flexión plástico		Momento de inercia de torsión		
H x B					M	A	lxx	lyy	ixx	iyx	Sx	Sy		Wplxx	Wplyy
mm	mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm.	cm.	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>		
50	25	2.5	2.69	3.43	10.4	3.39	1.74	0.994	4.16	2.71	5.33	3.22	8.42		
		3.0	3.17	4.04	11.9	3.83	1.72	0.973	4.76	3.06	6.18	3.71	9.64		
	30	2.5	2.89	3.68	11.8	5.22	1.79	1.19	4.73	3.48	5.92	4.11	11.7		
		3.0*	3.41	4.34	13.6	5.94	1.77	1.17	5.43	3.96	6.88	4.76	13.5		
		4.0	4.39	5.59	16.5	7.08	1.72	1.13	6.60	4.72	8.59	5.88	16.6		
60	40	5.0	5.28	6.73	18.7	7.89	1.67	1.08	7.49	5.26	10.0	6.80	19.0		
		2.5	3.68	4.68	22.8	12.1	2.21	1.60	7.61	6.03	9.32	7.02	25.1		
		3.0*	4.35	5.54	26.5	13.9	2.18	1.58	8.82	6.95	10.9	8.19	29.2		
		4.0*	5.64	7.19	32.8	17.0	2.14	1.54	10.9	8.52	13.8	10.3	36.7		
		5.0	6.85	8.73	38.1	19.5	2.09	1.50	12.7	9.77	16.4	12.2	43.0		
	80	40	6.0	7.99	10.2	42.3	21.4	2.04	1.45	14.1	10.7	18.6	13.7	48.2	
			6.3	8.31	10.6	43.4	21.9	2.02	1.44	14.5	11.0	19.2	14.2	49.5	
			3.0*	5.29	9.74	54.2	18.0	2.84	1.63	13.6	9.00	17.1	10.4	43.8	
			4.0*	6.90	8.79	68.2	22.2	2.79	1.59	17.1	11.1	21.8	13.2	55.2	
			5.0*	8.42	10.7	80.3	25.7	2.74	1.55	20.1	12.9	26.1	15.7	65.1	
90	50	6.0	9.87	12.6	90.5	28.5	2.68	1.50	22.6	14.2	30.0	17.8	73.4		
		6.3	10.3	13.1	93.3	29.2	2.67	1.49	23.3	14.6	31.1	18.4	75.6		
		8.0	12.5	16.0	106	32.1	2.58	1.42	26.5	16.1	36.5	21.2	85.8		
		3.0	6.24	7.94	84.4	33.5	3.26	2.05	18.8	13.4	23.2	15.3	76.5		
		4.0	8.15	10.4	107	41.9	3.21	2.01	23.8	16.8	29.8	19.6	97.5		
		5.0	9.99	12.7	127	49.2	3.16	1.97	28.3	19.7	36.0	23.5	116		
		6.0	11.8	15.0	145	55.4	3.11	1.92	32.2	22.1	41.6	27.0	133		
		6.3	12.3	15.6	150	57.0	3.10	1.91	33.3	22.8	43.2	28.0	138		
		8.0	15.0	19.2	174	65.6	3.01	1.84	38.6	25.8	51.4	32.9	160		
		3.0*	6.71	8.54	110	36.8	3.58	2.08	21.9	14.7	27.3	16.8	88.4		
	100	50	4.0*	8.78	11.2	140	46.2	3.53	2.03	27.9	18.5	35.2	21.5	113	
			5.0*	10.8	13.7	167	54.3	3.48	1.99	33.3	21.7	42.6	25.8	135	
			6.0	12.7	16.2	190	61.2	3.43	1.95	38.1	24.5	49.4	29.7	154	
			6.3	13.3	16.9	197	63.0	3.42	1.93	39.4	25.2	51.3	30.8	160	
			8.0	16.3	20.8	230	71.7	3.33	1.86	46.0	28.7	61.4	36.3	186	
120			60	3.0*	7.18	9.14	124	55.7	3.68	2.47	24.7	18.6	30.2	21.2	121
				4.0*	9.41	12.0	158	70.5	3.63	2.43	31.6	23.5	39.1	27.3	156
				5.0	11.6	14.7	189	83.6	3.58	2.38	37.8	27.9	47.4	32.9	188
				6.0	13.6	17.4	217	95.0	3.53	2.34	43.4	31.7	55.1	38.1	216
				6.3	14.2	18.1	225	98.1	3.52	2.33	45.0	32.7	57.3	39.5	224
	8.0	17.5		22.4	264	113	3.44	2.25	52.8	37.8	68.7	47.1	265		
	120	80		3.0*	10.7	13.6	249	83.1	4.28	2.47	41.5	27.7	51.9	31.7	201
				4.0*	13.1	16.7	299	98.8	4.23	2.43	49.9	32.9	63.1	38.4	242
				5.0*	15.5	19.8	345	113	4.18	2.39	57.5	37.5	73.6	44.5	279
				6.0	16.2	20.7	358	116	4.16	2.37	59.7	38.8	76.7	46.3	290
6.3			20.1	25.6	425	135	4.08	2.30	70.8	45.0	92.7	55.4	344		
8.0			24.3	30.9	488	152	3.97	2.21	81.4	50.5	109	64.4	396		
80			4.0*	4.0*	11.9	15.2	303	161	4.46	3.25	50.4	40.2	61.2	46.1	330
				5.0	14.7	18.7	365	193	4.42	3.21	60.9	48.2	74.6	56.1	401
				6.0	17.4	22.2	423	222	4.37	3.17	70.6	55.6	87.3	65.5	468
				6.3	18.2	23.2	440	230	4.36	3.15	73.3	57.6	91.0	68.2	487
	8.0	22.6		28.8	525	273	4.27	3.08	87.5	68.1	111	82.6	587		
		10.0	27.4	34.9	609	313	4.18	2.99	102	78.1	131	97.3	688		

\* Medidas más comerciales.

Con un modulo de sección de  $16,378cm^3$  seleccionamos un tubo estructural de  $H=80mm$  y  $B=40mm$  de espesor de  $4mm$  siendo el modulo de sección de este tubo  $17,1cm^3$ , siendo también este una de los tubos mas comerciales.

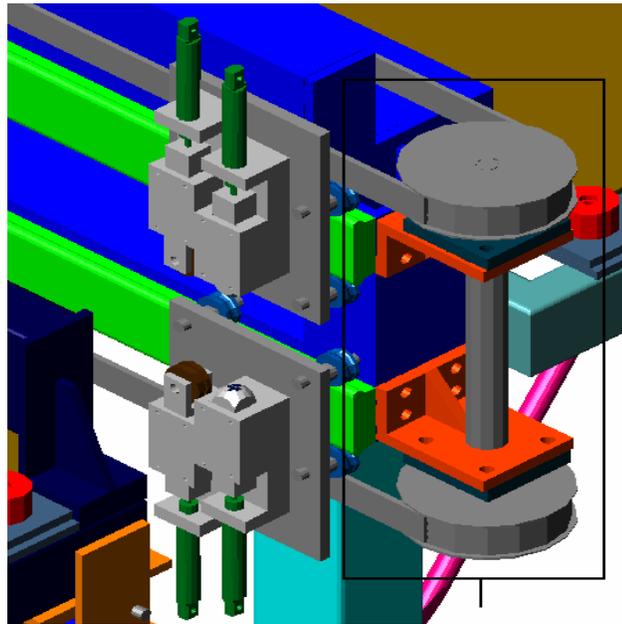
### **Observación**

El tubo estructural seleccionado para la viga principal soporta los esfuerzos a los que esta sometido, pero se necesita realizarle un plano por uno de sus lados, cuando se intento realizar esto, el tubo se deformaba por que no tenia la suficiente rigidez y no pudimos conseguir el plano que necesitábamos. A raíz de esto nosotros planteamos dos (2) soluciones para resolver el problema. Una era construir una viga de metal a partir de perfiles IPN, UPN, UPL, etc. para aumentar su rigidez y la otra era seleccionar un tubo estructural de mayores dimensiones.

La solución tomada fue construir una viga a partir de perfiles estructurales, ya que la empresa a la que le solicitamos nos realizara el plano no nos garantizo que un tubo estructural de mayores dimensiones soportaría las cargas y esfuerzos a la que se sometía este cuando se le realizaba el plano.

Las características de la viga construida a partir de perfiles se encuentran en el plano Soporte Riel.

### 5.1.3. Cálculos del mecanismo de transmisión del porta herramientas.



Torque:

Diagrama de cuerpo libre.

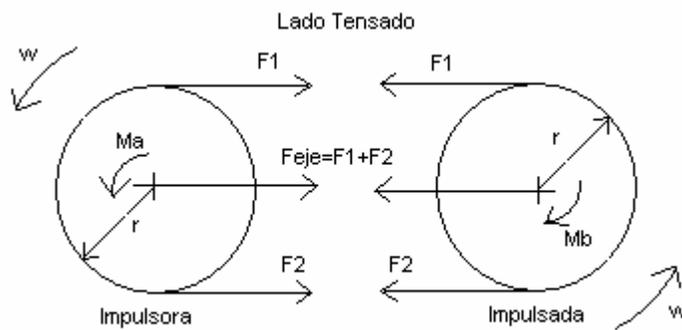


Figura 14

$$F1 = 3F2$$

$$Feje = 3F2 + F2 = 4F2$$

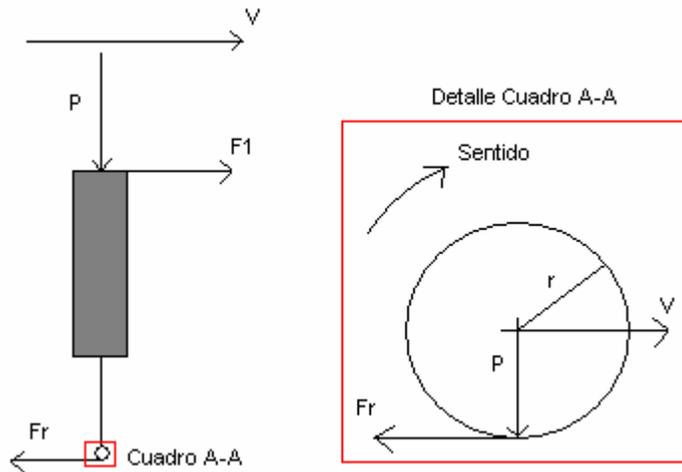
$$Fn = F1 - F2 = 3F2 - F2 = 2F2$$

$$Feje = CFn; C = 2; Feje = 2Fn$$

$$Fn = M/r; M = Fn * r$$

Cálculo de F1:

Diagrama de cuerpo libre de la herramienta de corte y la rulina de rayado.



**Figura 15**

$$v = 1,5 \text{ m/s}$$

$$r = 2,5 \text{ mm}$$

$$P = 6 \text{ bar} = 87,0206 \text{ psi} = N$$

$$\text{Área del émbolo} = 0,9738 \text{ pulg}^2$$

$$Fr = \mu_s * N$$

$$Fr = F1$$

$$\mu_s = \left\{ \begin{array}{l} \text{para superficie seca } 0,5..0,7 \\ \text{para superficie lubricada } 0,3..0,5 \end{array} \right\}$$

Usamos  $\mu_s = 0,5$

$$lbf = \frac{87,0206}{0,9738} = 89,3678 lbf = 397,4832 Nw$$

$$Fr = 0,5 * 397,4832 = 198,7416 Nw$$

$$F1 = 198,7416 Nw$$

$$F2 = \frac{F1}{3} = \frac{198,7416}{3} = 66,2472 Nw$$

$$Feje = 4F2 = 4 * 66,2472 = 264,9888Nw$$

$$Fn = \frac{Feje}{2} = \frac{264,9888}{2} = 132,4944Nw$$

$$M = 132,4944 * 0,07 = 9,2746Nw * m$$

M = T = Torque o momento mínimo para cada una de las poleas.

Ecuación de momento flector:

$$M = 264,99 < X - 0,03 > + 264,99 < X - 0,34 > - 264,99 < X > - 264,99 < X - 0,38 >$$

Diagramas de corte y momento flector respectivamente del eje del motor.

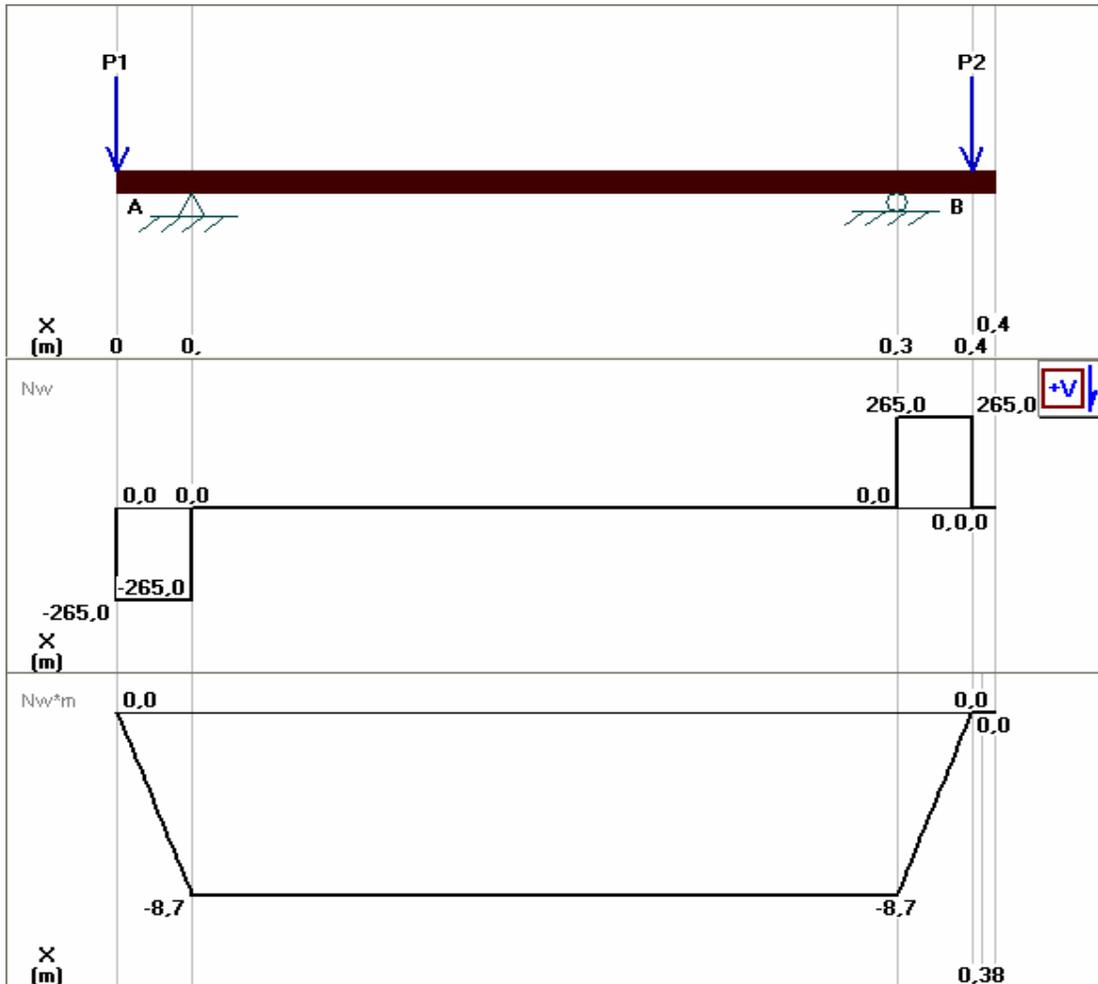


Figura 16

### 5.1.4. Cálculo de la potencia del motor

$$r = 0,07m$$

$$M = \frac{265}{2} * 0,07 = 9,275Nw * m$$

$$Tresistivo = 9,27Nw = 82,0796Lb * pu lg$$

Luego calculamos el torque de aceleración y desaceleración

Inercias de los elementos.

Poleas.

$$J_{polea} = \frac{(\pi * L * \rho * (re^4 - ri^4))}{2} = \frac{(\pi * 0,045 * 7850 * ((0,07)^4 - (0,0225)^4))}{2} = 1,1318 * 10^{-2} Kg * m^2$$

Ejes.

$$J_{eje} = \frac{(\pi * L * \rho * (r^4))}{2} = \frac{(\pi * 0,5 * 7850 * ((0,03175)^4))}{2} = 6,2651 * 10^{-3} Kg * m^2$$

Carga o peso a mover.

$$J_{carga} = Peso * (r)^2 = (2Pcarrp + 8Ppherram) * (0,07)^2$$

$$J_{carga} = (2 * (3,0405) + 8 * (1,9883)) * (0,07)^2 = 0,1077 Kg * m^2$$

El torque de aceleración será:

$$T_{acel} = J_{total} * \left( \frac{\Delta RPM}{\Delta Tiempo} \right) * \frac{2\pi}{60}$$

$$T_{acel} = (0,0552 + 0,0125 + 0,1077) * \left( \frac{200}{0,133} \right) * \frac{2\pi}{60} = 27,6208N * m = 244,4646Lbf * pu lg$$

$$T_{total} = T_{aceler} + T_{resist} = 244,4646 + 82,0796 = 326,5442 Lbf * Pulg$$

$$T_{total} = 326,5442 Lbf * Pulg = 3,7621 Kgf * m$$

$$v = w * r$$

$$w = \frac{1,5m/s}{0,07m} = 21,42 rad / s = 204,64 RPM \square 200RPM$$

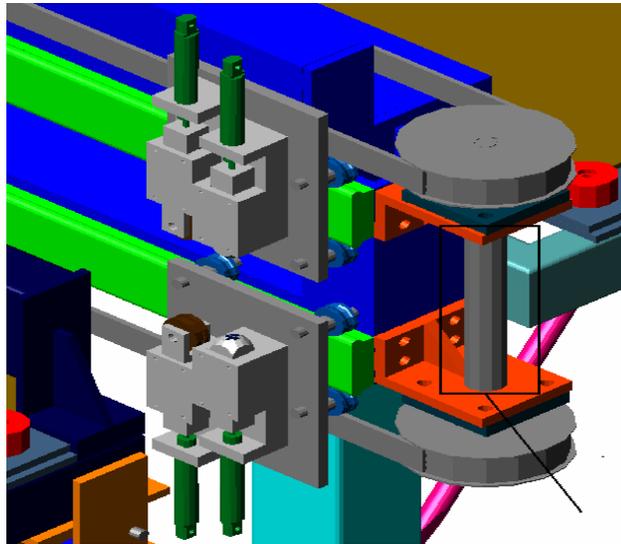
$$Pot = \frac{T * RPM}{716.2} = \frac{200 * 3,7621}{716.2} = 1,0505 HP$$

Luego

La velocidad real será:

$$v = 21,42 * 0,07 = 1,49 m / s$$

### 5.1.5. Cálculo de los diámetros del eje.



AISI HR 1045;  $S_y = 310 MPa = 45 Kpsi$ ;  $S_{ut} = 570 MPa = 82 Kpsi$



Figura 17

Primer Diámetro (D1).

En este punto del eje existe torsión pura por lo tanto:

$$\tau = \frac{16T}{\pi D^3} = \frac{S_y}{2n}$$

$$D1 = \sqrt[3]{\frac{32nT}{S_y\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 3 * 9,27}{310 * 10^6 * \pi}} = 9,70 * 10^{-3} m$$

$$D1 = 9,7039 \text{ mm.}$$

Segundo Diámetro (D2).

Por la izquierda:

$$K_f = 1,5$$

$$D2 = \left\{ \frac{32n}{\pi} \left[ \left( \frac{K_f * Mb}{S_e} \right)^2 + \left( \frac{T}{S_{ut}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$S_e = S_e' * K_a * K_b * K_c * K_d * K_e$$

$$S_e' = 0,504 S_{ut} = 0,504 * 570 * 10^6 = 287,28 * 10^6 Pa$$

$$K_a = a(S_{ut})^b ; a = 1,58 Mpa; b = -0,085$$

$$Ka = 1,58(570 * 10^6)^{-0,085} = 0,2847$$

$$Kb = 0,7 ; Kc = 1 ; Kd = 1 ; Ke = 1$$

$$Se = 287,28 * 10^6 * 0,2847 * 0,7 * 1 * 1 * 1 = 57252031,2 Pa$$

$$Se = 57,2520 MPa$$

$$Mb = 8,745 Nw * m$$

$$D2 = \left\{ \frac{32 * 3}{\pi} \left[ \left( \frac{1,5 * 8,745}{57,2520 * 10^6} \right)^2 + \left( \frac{9,27}{570 * 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} = 1,9146 * 10^{-2} m$$

$$D2 = 19,1467 \text{ mm.}$$

Por la derecha:

$Kf = 2,5$ ; todos los valores restantes son idénticos a D1

$$D2 = \left\{ \frac{32 * 3}{\pi} \left[ \left( \frac{2,5 * 8,745}{57,2520 * 10^6} \right)^2 + \left( \frac{9,27}{570 * 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} = 2,2688 * 10^{-2} m$$

$$D2 = 22,2688 \text{ mm.}$$

El diámetro tres D3 por la parte izquierda es igual al diámetro dos D2 por la derecha.

$$D3 = D2 = 22,2688 \text{ mm.}$$

El diámetro tres D3 por la izquierda es igual al diámetro tres D3 por la derecha.

$$D3 = 22,2688 \text{ mm.}$$

El diámetro cuatro D4 por la izquierda es igual al diámetro tres D3.

$$D4 = D3 = 22,2688 \text{ mm.}$$

El diámetro cuatro D4 por la derecha es igual al diámetro dos D2 por la izquierda por simetría.

$$D4 = D2 = 19,1467$$

Diámetro (D5).

En este punto del eje existe torsión pura por lo tanto:

$$\tau = \frac{16T}{\pi D^3} = \frac{S_y}{2n}$$

$$D5 = \sqrt[3]{\frac{32nT}{S_y\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 3 * 18,54}{310 * 10^6 * \pi}} = 1,222 * 10^{-2} m$$

$$D5 = 12,22 \text{ mm.}$$

### 5.1.6. Cálculo de las Chavetas.

Diagrama de cuerpo libre para el cálculo de la chaveta.

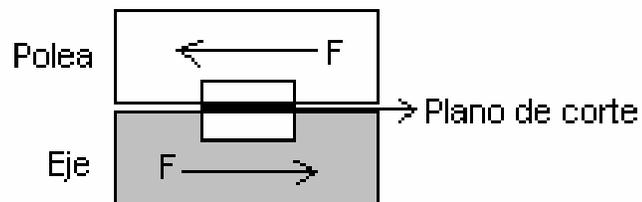


Figura 18

Material: AISI 1010 HR;  $S_y = 26 \text{ Kpsi} = 180 \text{ Mpa}$

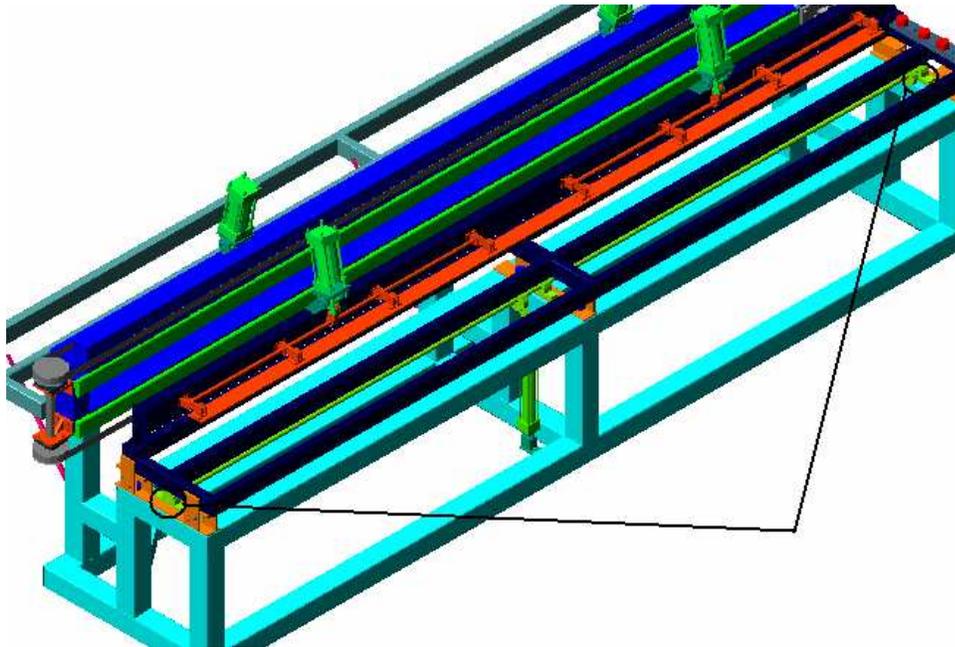
$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{F}{T * L} = \frac{S_{sg}}{n}$$

$$L = \frac{F * n}{S_{sg} * T} = \frac{2966,4 * 2,80}{103,86 * 10^6 * 0,003175} = 2,5188 * 10^{-3}$$

$$T = \frac{F * n}{S_{sg} * L} = \frac{2966,4 * 2,80}{103,86 * 10^6 * 0,045} = 1,777 * 10^{-3} m$$

T = 1,77 mm.

### 5.1.7. Cálculo de los engranajes de la mesa de separación del polivinilbutiral.



Para diseñar este sistema tomamos en consideración que la diferencia de los recorridos lineales entre los dos engranajes debe ser mayor o igual a un centímetro y menor a 5 centímetros, por lo tanto los engranajes son de diferentes diámetros.

Estas consideraciones se seleccionaron para que el sistema de separación del polivinilbutiral funcione correctamente. El límite superior se colocó para que el sistema no se tranque y el límite inferior se colocó para que el sistema hale el polivinilbutiral de un lado más que del otro y se separe con más facilidad.

Diagrama del sistema.

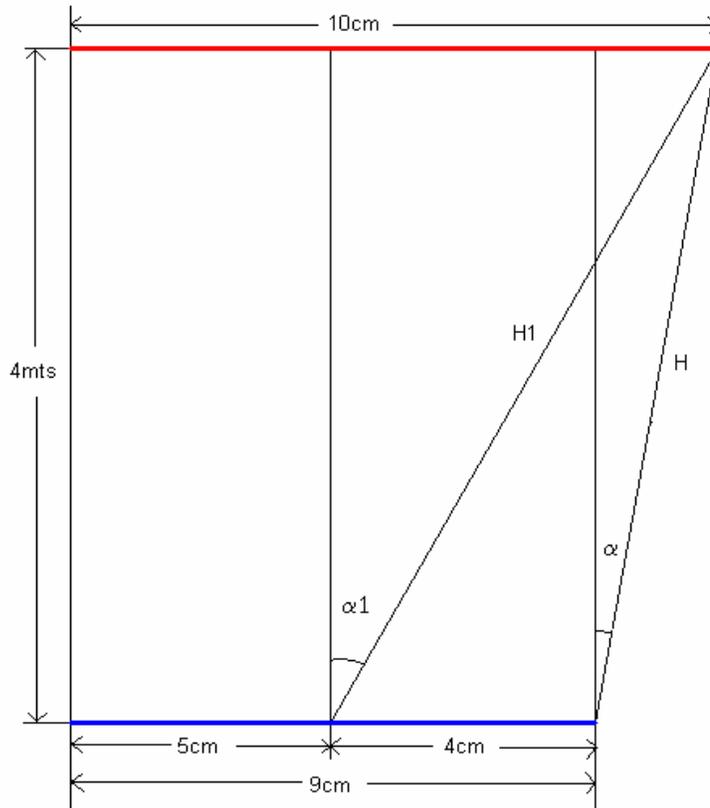


Figura 19

Nota: La línea roja esta descrita por el recorrido que realiza el engranaje de mayor diámetro y la línea azul la describe el recorrido que realiza el engranaje de menor diámetro

Diferencia de recorridos 1 cm.

$$L_t = 4 \text{ mts.}$$

$$R_l = 10 \text{ cm}$$

$$R_c = 9 \text{ cm.}$$

$$H = \sqrt{(L_t)^2 + (R_l - R_c)^2}$$

$$H = \sqrt{(4)^2 + (0,01)^2} = 4,000012 \text{ mts}$$

$$\text{Cos}(\alpha) = \frac{4}{4,000012} = 0,999997$$

$$\text{ArcCos}(0,999997) = 0,1403^\circ$$

Relación de engranajes:

$$Relacion = \frac{Rl}{Rc} = \frac{10}{9} = 1,1111$$

Diferencia de recorridos 5 cm.

$$Lt = 4 \text{ mts.}$$

$$Rl = 10 \text{ cm}$$

$$Rc1 = 5 \text{ cm.}$$

$$H1 = \sqrt{(4)^2 + (0,05)^2} = 4,00031 \text{ mts}$$

$$\text{Cos}(\alpha1) = \frac{4}{4,00031} = 0,999922$$

$$\text{ArcCos}(0,999922) = 0,7133^\circ$$

Relación de engranajes:

$$Relacion = \frac{Rl}{Rc} = \frac{10}{5} = 2$$

### 5.1.8. Cálculo del pistón para el sistema de separación del polivinilbutiral.

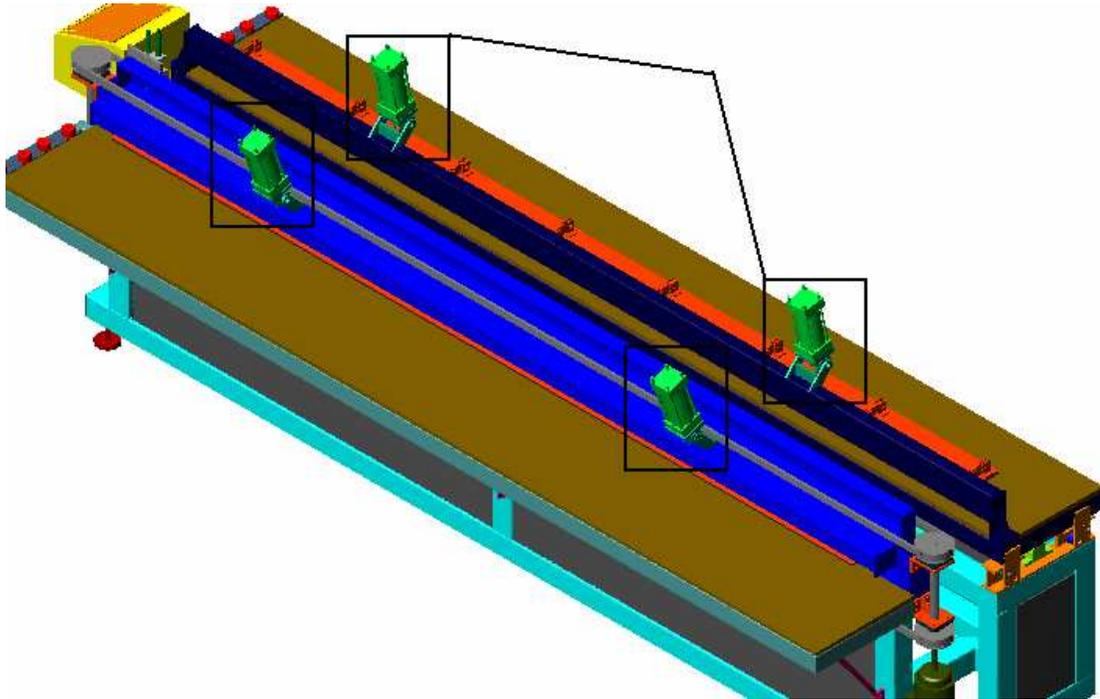


Diagrama del sistema.

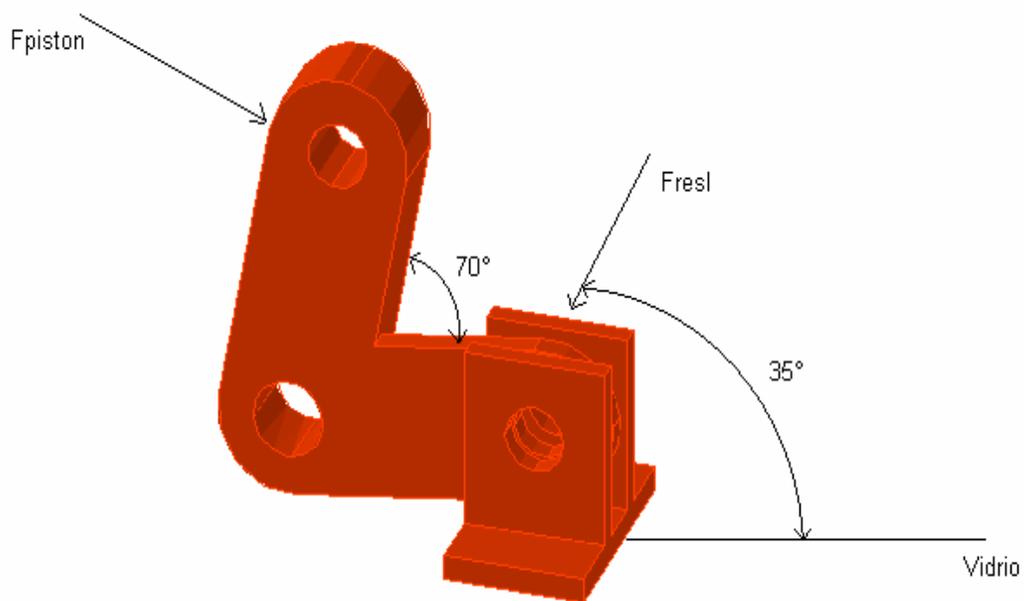


Figura 20

$$\varnothing_{piston} = 80mm$$

Presión del pistón = 6 bar = 600000 Pa

$$A_p = \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 = \pi \left( \frac{80}{2} \right)^2 = 5024mm^2 = 50,24cm^2 = 0,005024m^2$$

$$F_{piston} = A_p * presion = 0,005024m^2 * 600000 = 3014,4Nw$$

Fresl = Pistón

Horizontal

$$Fresl1 = F_{piston} * (\cos(35^\circ)) = 3014,4 * 0,8191 = 2469,095Nw$$

Vertical

$$Fresl2 = F_{piston} * (\cos(55^\circ)) = 3014,4 * 0,5735 = 1728,7584Nw$$

Fuerza de roce

$$\mu = 0,9 \text{ Coeficiente de roce de la goma o caucho.}$$

$$N = Fresl2 = 1728,7584 Nw$$

$$Fr = \mu * N = 0,9 * 1728,7584 = 1555,8825Nw$$

En este sistema de sujeción existen cuatro (4) pistones por lo tanto la fuerza antes calculada se multiplica por cuatro (4).

$$Fresl1 = 2469,095 * 4 = 9876,38 Nw$$

$$Fr = 1555,8825 * 4 = 6223,3 \text{ Nw}$$

El diámetro del pistón para la separación del polivinil butiral no puede exceder las fuerzas presentes anteriormente ya que esto produciría que el vidrio deslice y la resina de plástico no se separe.

Por lo tanto el mayor diámetro posible de este pistón es:

$$presion = \frac{F_{piston}}{A_p} \Rightarrow A_p = \frac{F_{piston}}{presion}$$

$$\text{Presión del pistón} = 6 \text{ bar} = 600000 \text{ Pa}$$

$$\text{Pistón} = F_{res11} + Fr$$

$$F_{piston} = 9876,38 + 6223,3 = 16099,86 \text{ Nw}$$

$$A_p = \frac{16099,68}{600000} = 0,02683 \text{ m}^2 = 268,3 \text{ cm}^2$$

$$D = 2\sqrt{\frac{268,30}{\pi}} = 18,4826 \text{ cm} = 184,826 \text{ mm}$$

El mayor diámetro del pistón para que no supere la fuerza de sujeción del vidrio es 184,826 mm.

Tabla de propiedades Adhesivas del PVB.

Tabla 22

FUERZAS ADHESIVAS DEL PVB	Cantidad de Phenolic	Cura	Resistencia a la tensión (psi) a:					
			72 F	180 F	250 F	300 F	380 F	450 F
Butiral-72	50 phr	30 min. A 330 F	6000	4000	1400	500	240	100
Butiral-90	50 phr	30 min. A 330 F	5700	2800	1000	400	180	40
Butiral-72	100 phr	20 min. A 330 F	5000	3300	1100	480	200	55

De esta tabla podemos obtener la mayor presión que ejercerá este pistón la cual es 100 psi = 689475,7293 Pa.

$$A_{poliv} = \text{Área del PVB} = l * h$$

$$l = \text{largo de la película de PVB} = 3,3 \text{ mts.}$$

$$h = \text{Ancho de la película de PVB} = 0,74 \text{ mm} = 0,00074 \text{ mts.}$$

$$A_{poliv} = 3,3 * 0,00074 = 0,002442 \text{ mts}^2$$

$$F_{poliv} = P * A_{poliv} = 689475,7293 * 0,002442 = 1683,6997 \text{ Nw}$$

Esta fuerza  $F_{poliv}$  es la fuerza que debe ejercer el pistón a una presión de 6 bar = 600000 Pa.

$$presion = \frac{F_{piston}}{A_p} \Rightarrow A_p = \frac{F_{piston}}{presion}$$

$$A_p = \frac{1683,6997}{600000} = 2,8061 \times 10^{-3} \text{ mts}^2$$

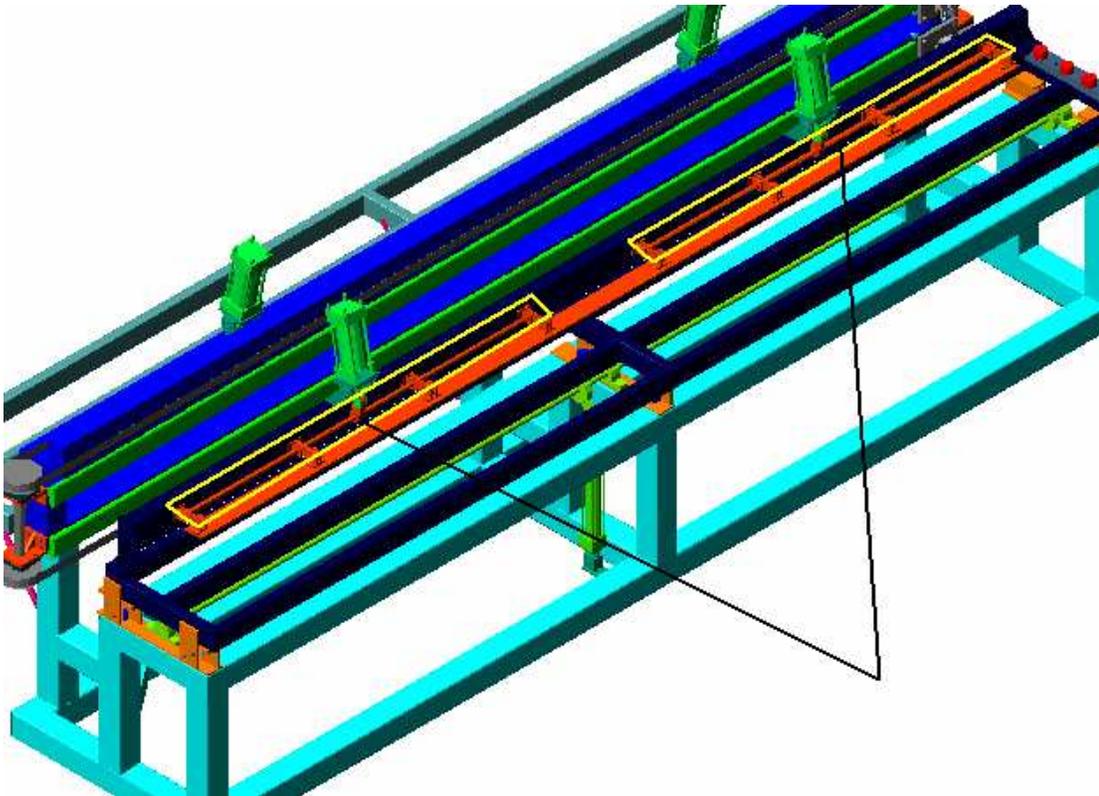
Ahora calculo el diámetro del pistón a seleccionar.

$$A_p = \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2$$

$$D = 2 \sqrt{\frac{2,8061 \times 10^{-3}}{\pi}} = 5,9773 \times 10^{-2} \text{ mts} = 59,773 \text{ mm}$$

El diámetro del pistón debe ser mayor a 59,773 mm.

**5.1.9. Cálculo del pasador del sistema de presión del vidrio.**



Presión del pistón = 6 bar = 600000 Pa

$$A_p = \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 = \pi \left( \frac{80}{2} \right)^2 = 5024 \text{ mm}^2 = 50,24 \text{ cm}^2 = 0,005024 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{piston}} = A_p * \text{presion} = 0,005024 \text{ m}^2 * 600000 = 3014,4 \text{ Nw}$$

$$F_{\text{corte}} = F_{\text{piston}} * \cos(70) = 3014,4 * 0,3420 = 1030,9248 \text{ Nw}$$

$$A_{\text{pasador}} = \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2$$

$$\frac{F_{\text{pasador}}}{A_{\text{pasador}}} \leq \frac{S_y}{2F_s}$$

$$A_{\text{pasador}} \geq \frac{2 * F_s * F_{\text{pasador}}}{S_y} \geq \frac{2 * 2 * 1030,9248}{227526990,975 \text{ Pa}} \geq 1,8124 * 10^{-5} \text{ m}^2 \geq 18,124 \text{ mm}^2$$

$$D_{\text{pasador}} \geq \sqrt{\frac{18,124 * 4}{\pi}} \geq 4,8037 \text{ mm}$$

El diámetro del pasador debe ser igual o mayor a 4,8037 mm.

### 5.1.10. Cálculo de transferencia de calor.

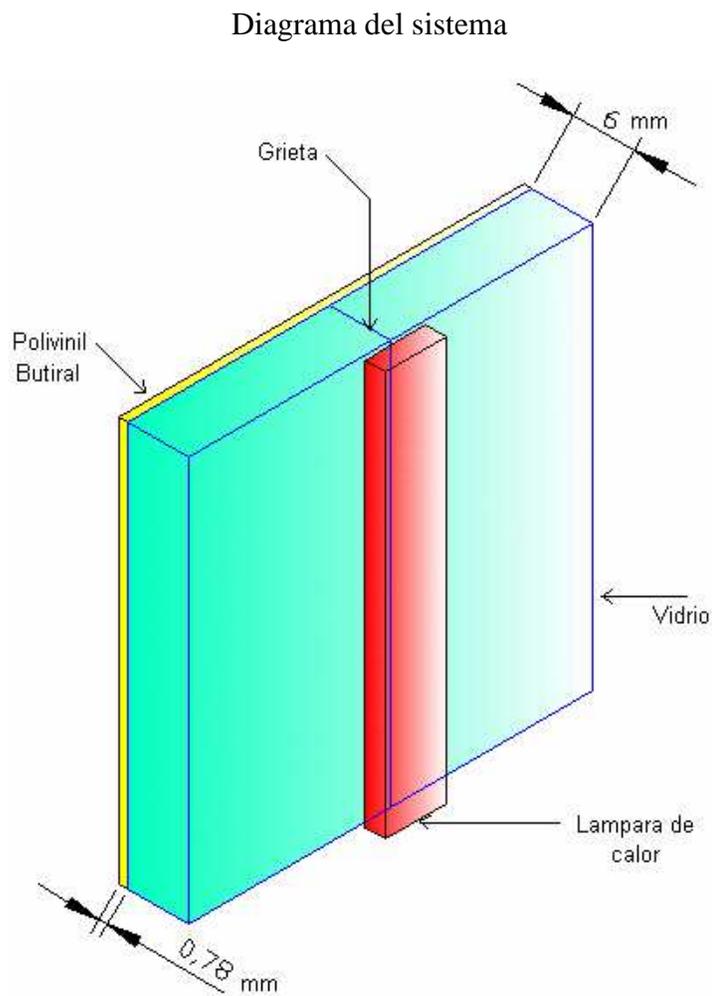


Figura 21

$$q_{\text{rad}} = 5,67 * 10^{-8} * 0,90(T_1^4 - T_2^4)$$

$$q_{k1} = 1,4 * A * (T_2 - T_3)$$

$$T_3 = 398 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A = (4\text{m} * 0,02\text{m}) = 0,08\text{m}^2$$

Cálculo para que el polivinil butiral alcance la temperatura máxima es decir la de ignición (398 °C).

$$\frac{qk_1}{A} = 1,4 * \frac{(25 - 398)}{0,006} = 87033,333 \frac{W}{m^2}$$

Ahora:

$$q_{rad} = \frac{qK_1}{A}$$

$$87033,333 = 5,67 * 10^{-8} * 0,9 * (T_1^4 - (298)^4)$$

$$T_1 = \sqrt[4]{\frac{87033,333}{5,67 * 10^{-8}} + (298)^4} = 1114,505 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_1 = 841,505 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cálculo para que el polivinil alcance la temperatura mínima es decir la de ablandamiento (110 °C).

$$\frac{qk_1}{A} = 1,4 * \frac{(25 - 110)}{0,006} = 19833,333 \frac{W}{m^2}$$

Ahora:

$$q_{rad} = \frac{qK_1}{A}$$

$$19833,333 = 5,67 * 10^{-8} * 0,9 * (T_1^4 - (298)^4)$$

$$T1 = \sqrt[4]{\frac{19833,333}{5,67 * 10^{-8}} + (298)^4} = 773,3458^\circ K$$

$$T1 = 500,3458^\circ C$$

### 5.1.11. Cálculo de soldadura.

Ya que el material base es acero estructural con una resistencia de fluencia de 344703747,5 Pascales, usaremos un material de aporte o un electrodo de soldadura E60xx, ya que estos electrodos son de fácil consecución en el medio, su costo es bajo y su resistencia ultima y limite de fluencia son los adecuados para el acero estructural usado como material base, además que este electrodo es de alta penetración, lo que garantiza fusión y por consiguiente una buena unión en la mezcla.

Los puntos o lugares para estudiar y realizar el cálculo de soldadura son aquellos que se encuentren mas solicitados por las fuerzas presentes en la estructura.

Estos puntos se encuentran en la mesa móvil y son:

- 1.) La base de los pistones, la cual va unida a la viga de la mesa móvil.
- 2.) La unión entre la viga de la mesa móvil y los soportes.

#### Diagrama.

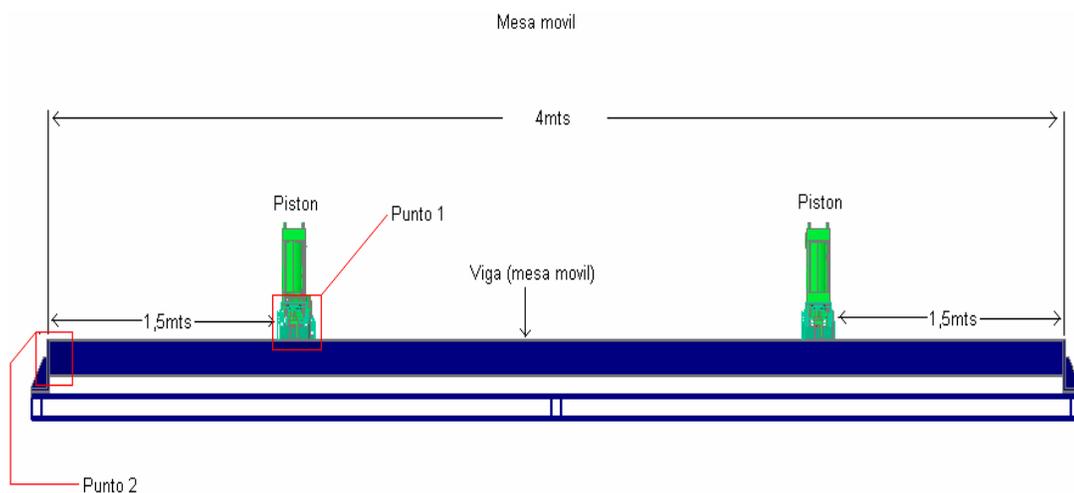


Figura 22

Propiedades mínimas a la tensión del material soldante para soldadura de arco.

Tabla 23

Numero de electrodo AWS	Resistencia ultima Kpsi(Mpa)	Resistencia de fluencia Kpsi(Mpa)	Elongación ( % )
E60xx	62 (427)	50 (345)	17 - 25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14 - 17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13 - 16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Esfuerzos permitidos por el reglamento AISC para metal soldante.

Tabla 24

Tipo de carga	Tipo de junta	Esfuerzo permisible	n*
Tensión	A tope	0,60 Sy	1,67
Aplastamiento	A tope	0,90 Sy	1,11
Flexión	A tope	0,60 - 0,66 Sy	1,52 - 1,67
Compresión simple	A tope	0,60 Sy	1,67
Cortante	A tope o de filete	0,40 Sy	1,44

\* El factor de seguridad n ha sido calculado considerando la energía de distorsión

Cálculo de la soldadura de la base de los pistones (tensión en la soldadura).

Diagrama.

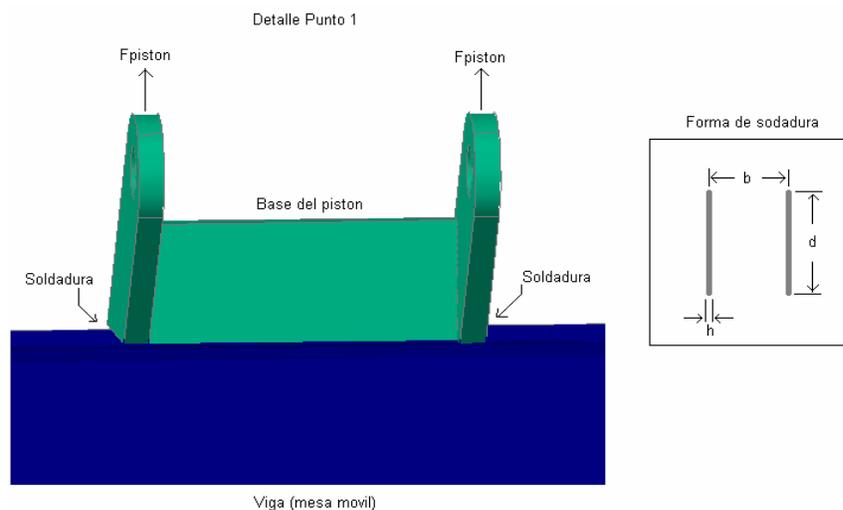


Figura 23

Presión del pistón = 6 bar = 600000 Pa

$$A_p = \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 = \pi \left( \frac{80}{2} \right)^2 = 5024 \text{ mm}^2 = 50,24 \text{ cm}^2 = 0,005024 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{piston}} = F = A_p * \text{presion} = 0,005024 \text{ m}^2 * 600000 = 3014,4 \text{ Nw}$$

h = Ancho de garganta.

d = Longitud del cordón = 5cm.

$$\tau_{\text{max}} = \frac{1.414 * F}{h * l} = \frac{1.414 * (3014,4)}{h * (0,05)} = \frac{85247,232}{h}$$

Ahora para juntas a tensión usaremos 0,60 \* Sy la cual según la tabla tiene un factor de seguridad de n = 1,67.

Entonces:

$$\sigma_{\text{permisible}} = 0,6 S_y$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = 0,6 * (345000000) = 207000000 \text{ Pa}$$

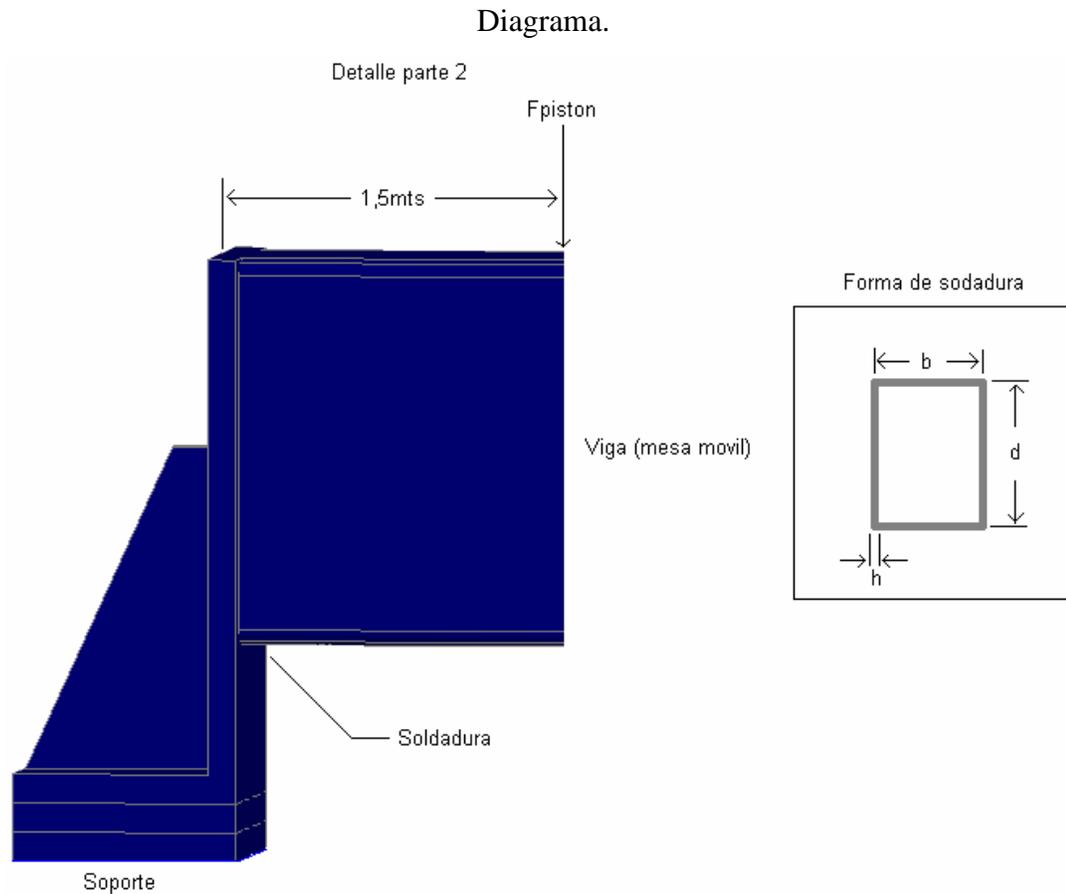
$$\sigma_{\text{permisible}} \geq \tau_{\text{max}}$$

$$207000000 \geq \frac{85247,232}{h} \rightarrow h \geq \frac{85247,232}{207000000} = 4,1182 \times 10^{-4} \text{ mts}$$

$$h \geq 4,1182 \times 10^{-4} \text{ mts} = 0,4118 \text{ mm}$$

El ancho de garganta de la soldadura debe ser mayor a 0,4118 milímetros.

Cálculo de la soldadura de la unión entre la viga de la mesa móvil y los soportes  
(Flexión en la soldadura).



**Figura 24**

$b = d = 10 \text{ cm.}$

$h = \text{ancho de garganta.}$

$$A_p = \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 = \pi \left( \frac{80}{2} \right)^2 = 5024 \text{ mm}^2 = 50,24 \text{ cm}^2 = 0,005024 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{piston}} = A_p * \text{presion} = 0,005024 \text{ m}^2 * 600000 = 3014,4 \text{ Nw}$$

$$\text{Peso de la viga} = 80 \text{ Kg} = 784,532 \text{ Nw}$$

$$F = \text{Pistón} - \text{Peso de la viga} = 3014,4 - 784,532 = 2229,868 \text{ Nw}$$

Esfuerzo cortante primario.

$$\tau = \frac{V}{A}$$

Siendo  $V = F$

$A = \text{Área de garganta.}$

$$A = 1.414 * h * (0,1 + 0,1) = 0,2828 * h$$

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{2229,868}{0,2828 * h} = \frac{7884,9646}{h}$$

Esfuerzo normal producto del momento flector.

Segundo momento de área unitario.

$$I_u = \frac{d^2}{6} ((3 * b) + d)$$

$$I_u = \frac{(0,1)^2}{6} ((3 * 0,1) + 0,1) = 6,666 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Entonces el segundo momento de área basado en la garganta de la junta es:

$$I = 0,707 * h * (I_u) = 0,707 * h * (6,666 \times 10^{-4}) = 4,7128 \times 10^{-4} * h$$

Ahora el momento normal es:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{M(d/2)}{4,7128 \times 10^{-4} * h} = \frac{2965,7244(0,1/2)}{4,7128 \times 10^{-4} * h} = \frac{314645,6833}{h}$$

Esfuerzo cortante Máximo

$$\tau_{\max} = \sqrt{(\tau)^2 + (\sigma)^2}$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{7884,9646}{h}\right)^2 + \left(\frac{314645,6833}{h}\right)^2} = \frac{314744,4706}{h}$$

Ahora para juntas en flexión usaremos  $0,66 * S_y$  la cual según la tabla tiene un factor de seguridad de  $n = 1,67$

$$\sigma_{\text{permisible}} = 0,6S_y$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = 0,6 * (345000000) = 207000000 Pa$$

$$\sigma_{\text{permisible}} \geq \tau_{\text{max}}$$

$$227700000 \geq \frac{314645,6883}{h} \rightarrow h \geq \frac{314645,6883}{227700000} = 1,3818 \times 10^{-3} mts$$

$$h \geq 1,3818 \times 10^{-3} mts = 1,3818 mm$$

El ancho de la garganta de la soldadura debe ser mayor a 1,3818 milímetros

Tomando en cuenta que los lugares que se estudiaron para realizar el cálculo de soldadura dieron como resultado 0,4118 y 1,3818 milímetros respectivamente, la soldadura a realizar en toda la estructura será de 1,3818 milímetros de ancho de garganta como mínimo para garantizar que dicha soldadura no falle.

### 5.1.12. Cálculo del sistema de control y sistema neumático.

Para el funcionamiento del mecanismo de corte de vidrio laminado es necesario tener un sistema de control para los diferentes procesos que esta realiza. Para esto se solicito la ayuda de la empresa Cromalloy C.A..

Las especificaciones del sistema de control que se presentaron ante la empresa Cromalloy C.A.. Fueron las siguientes:

El sistema de control debe manejar 11 pistones neumáticos, un motor eléctrico D.C. o A.C., 3 células fotoeléctricas y una lámpara de cuarzo o lámpara de calor.

Los procesos que se realizan para el corte de vidrio laminado son:

Se activa el pistón #1 para el agarre del vidrio.

Se activa el motor moviendo el carro o porta herramientas desde la posición cero a su posición inicial de corte, (esta posición inicial la detecta una célula fotoeléctrica).

En la posición inicial, se detiene el motor, se activan los pistones #2 y #3 de corte o rayado del vidrio, y luego se activa el motor nuevamente.

Luego, la célula fotoeléctrica detecta el final del vidrio, se detiene el motor, se desactivan los pistones #2 y #3, se activa el pistón #4 para el tronzado del vidrio por una de sus caras, y el motor se activa nuevamente en dirección contraria.

Luego, la célula fotoeléctrica detecta el inicio del vidrio, se detiene el motor, se desactiva el pistón #4, se activa el pistón #5 para el tronzado del vidrio por la segunda cara, y el motor se activa en dirección contraria.

Luego la célula fotoeléctrica detecta el final del vidrio, se detiene el motor, se desactiva el pistón #5 y el motor se activa nuevamente en dirección contraria hasta llevar el carro o porta herramientas hasta la posición cero.

Luego se activan los pistones #6, #7, #8, #9 del sistema de presión para la separación del PVB, se activa el pistón #10 de la lámpara de cuarzo para posicionarla, se activa la lámpara, y se activa el pistón #11 de la mesa móvil la cual produce por separación del PVB.

Luego de separar el PVB, la lámpara se desactiva y vuelve a su posición inicial devolviendo el pistón #10 y la mesa vuelve a su posición inicial devolviendo el pistón #11.

Se necesitan 6 electro válvulas para controlar los pistones.

Se necesita un variador de frecuencia para el motor eléctrico (ya que el motor opera a diferentes velocidades).

La empresa Cromalloy C.A.. Luego de ver nuestras especificaciones nos presento el siguiente sistema:

Diagrama del sistema.

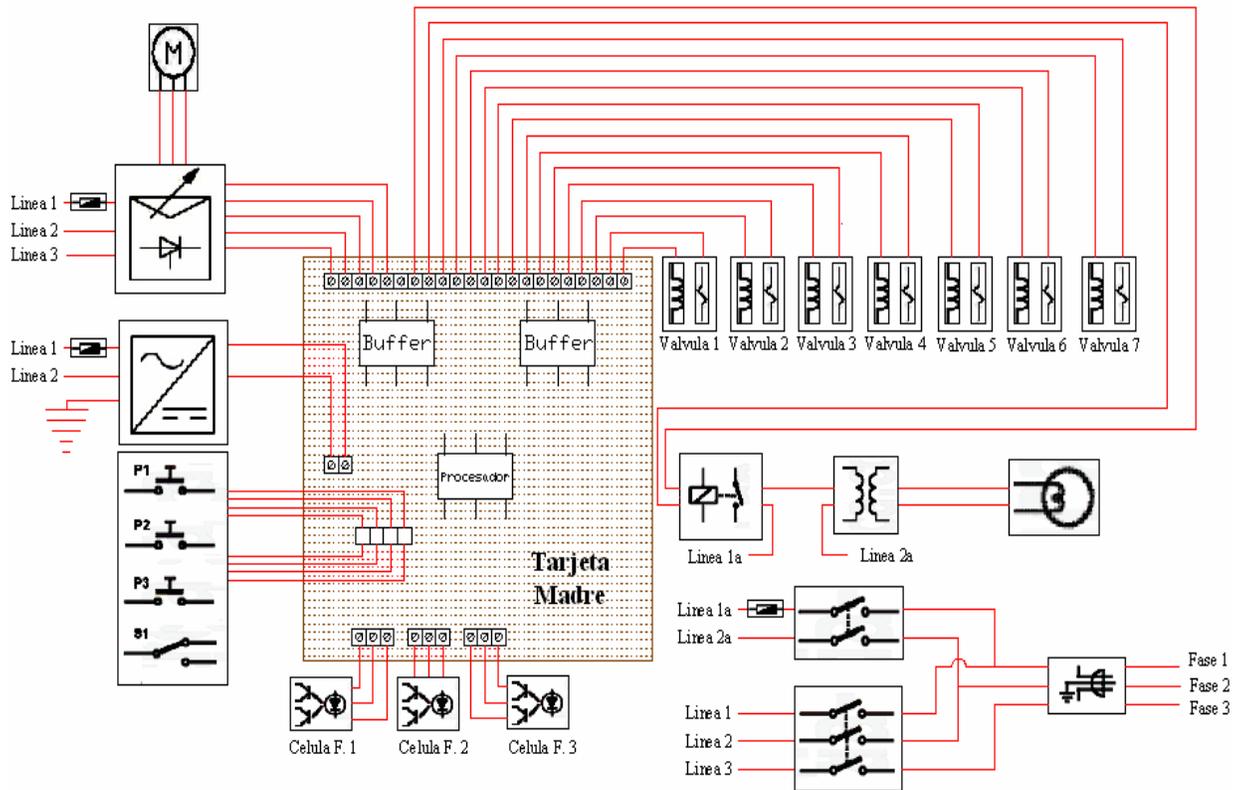
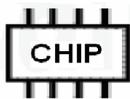


Figura 25

**Leyenda del sistema de control.**



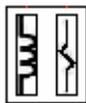
Chips que Contienen toda la información programada para el control de todos los procesos que realiza la máquina.



Clavija para conexión de elementos externos.



Conector extraíble de suiches.



Conjunto electro válvula.



Bobina de la electro válvula.



Solenoides de la electro válvula.

Válvula 1 : Controla un pistón de sujeción del vidrio cuando se realiza el rayado.

Válvula 2 : Controla dos (2) pistones, para el rayado del vidrio.

Válvula 3 : Controla un pistón para el tronzado del vidrio por la cara superior.

Válvula 4 : Controla un pistón para el tronzado del vidrio por la cara inferior.

Válvula 5 : Controla cuatro (4) pistones de sujeción del vidrio para separado del PVB.

Válvula 6 : Controla un pistón de movimiento de la mesa móvil para el separado del PVB.

Válvula 7 : Controla un pistón de movimiento de la lámpara de calor para el separado del PVB.



Conjunto célula fotoeléctrica.



Sensores ópticos.



Potenciómetro para calibrar los sensores ópticos.

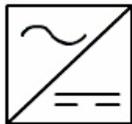
Célula F. 1 : Controla el posicionamiento del carro o porta herramientas para que la rulina de madera realice el tronzado del vidrio por la cara superior.

Célula F. 2 : Controla el posicionamiento del carro o porta herramientas para que la rulina de madera realice el tronzado del vidrio por la cara inferior.

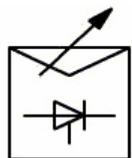
Célula F. 3 : Controla el posicionamiento del carro para que las rulinas de punta adiamantadas realicen el rayado del vidrio.



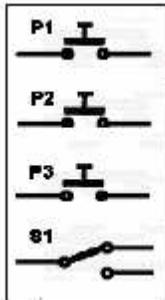
Motor eléctrico (trifásico 220 V.)



Fuente de poder (rectificador) 220 V A.C. , 12 – 24 V. D.C.



Variador de frecuencia que controla el sentido y la velocidad del motor eléctrico.



Tablero de control.



Pulsador de contacto abierto.



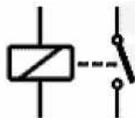
Suiche selector de dos (2) posiciones.

P1 : Pulsador para iniciar todo el proceso.

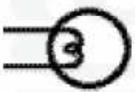
P2 : Pulsador para finalizar todo el proceso.

P3 : Pulsador para repetir cualquier ciclo del proceso.

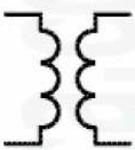
S1 : Suiche selector para modo manual o modo automático.



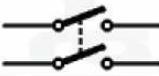
Rele que controla el paso de electricidad hacia la lámpara de cuarzo.



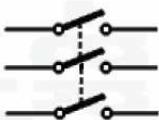
Lámpara de cuarzo o de calor.



Transformador de voltaje 220 V – 500 V.



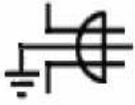
Suiche (breaker) doble usado para encender el transformador.(bifásico 220 – 50A).



Suiche (breaker) triple usado para encender la fuente de poder (rectificador) y el variador de frecuencia.(trifásico 220V – 20A).

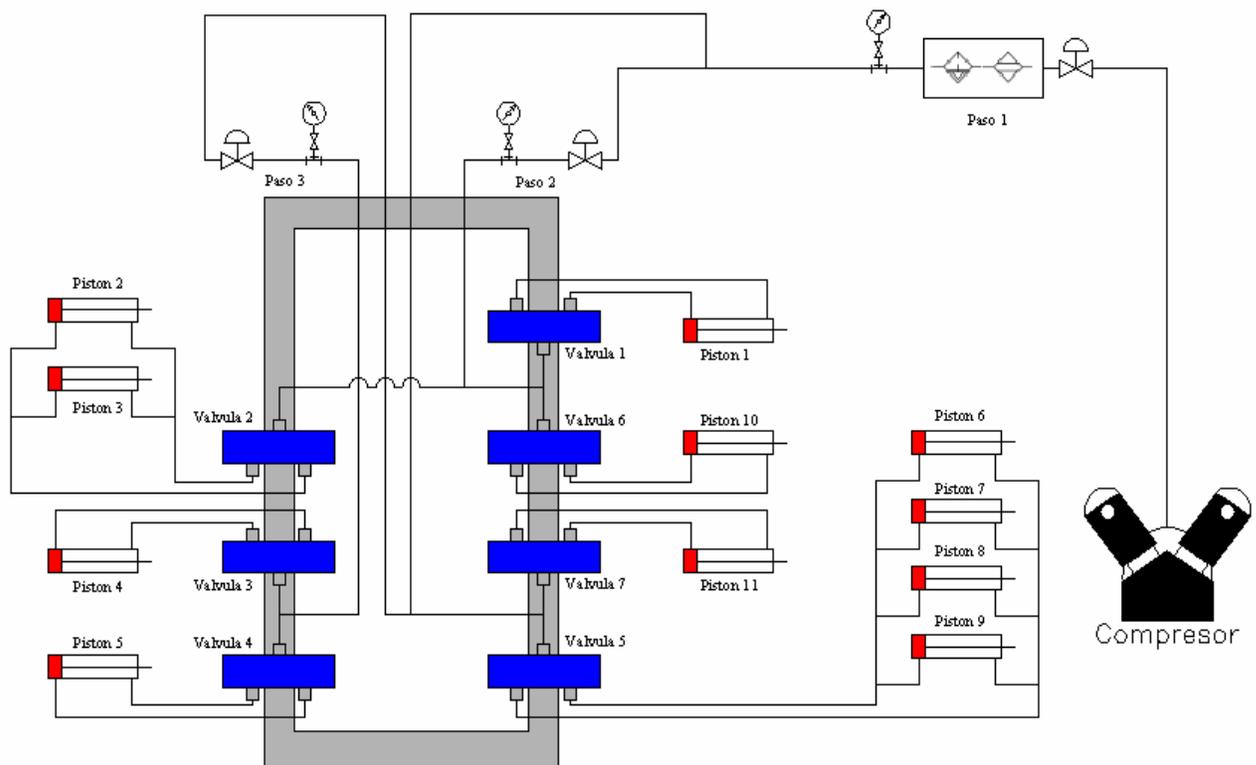


Fusible para protección de los elementos eléctricos y electrónicos.



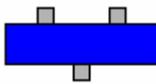
Enchufe de red eléctrica con tierra.

**SISTEMA NEUMÁTICO.**



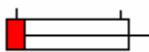
**Figura 26**

Leyenda.



Electro Válvula.

- Válvula 1 : Controla un pistón de sujeción del vidrio cuando se realiza el rayado.
- Válvula 2 : Controla dos (2) pistones, para el rayado del vidrio.
- Válvula 3 : Controla un pistón para el tronzado del vidrio por la cara superior.
- Válvula 4 : Controla un pistón para el tronzado del vidrio por la cara inferior.
- Válvula 5 : Controla cuatro (4) pistones de sujeción del vidrio para separado del PVB.
- Válvula 6 : Controla un pistón de movimiento de la mesa móvil para el separado del PVB.
- Válvula 7 : Controla un pistón de movimiento de la lámpara de calor para el separado del PVB.



Pistón doble acción.

- Pistón 1 : Pistón de sujeción del vidrio cuando se realiza el rayado.
- Pistón 2 : Pistón, para el rayado del vidrio por la cara superior.
- Pistón 3 : Pistón, para el rayado del vidrio por la cara inferior.

Pistón 4 : Pistón para el tronzado del vidrio por la cara superior.

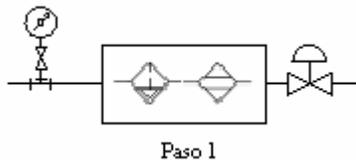
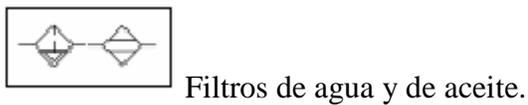
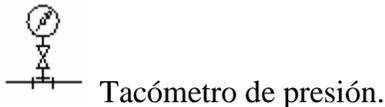
Pistón 5 : Pistón para el tronzado del vidrio por la cara inferior.

Pistón 6, Pistón 7 : Pistones de sujeción del vidrio en la mesa móvil para el separado del PVB.

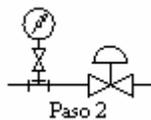
Pistón 8, Pistón 9 : Pistones de sujeción del vidrio en la mesa fija para el separado del PVB.

Pistón 10 : Pistón de movimiento de la lámpara de calor para el separado del PVB.

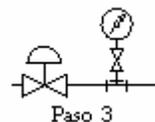
Pistón 11 : Pistón de movimiento de la mesa móvil para el separado del PVB.



Conjunto Principal que permite abrir o cerrar el paso regulado del aire a todo el sistema neumático y filtra el agua y aceite de la línea.



Conjunto que regula la presión empleada en : El pistón para sujetar el vidrio cuando se realiza el rayado, para los 2 pistones usados en el rayado del vidrio por ambas caras y para el pistón de movimiento de la lámpara de cuarzo.



Conjunto que regula la presione empleada en : Los 2 pistones usados para el tronzado del vidrio por ambas caras.



Compresor Compresor que supe todo el sistema de aire.

### 5.1.13. Costos.

En la siguiente tabla se mostraran todos los gastos económicos, parciales y totales, que se efectuaron en la construcción del mecanismo para cortar vidrio laminado.

Tabla 25

<b>COSTOS</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (Bs.)</b>
Sistema de control	6.942.600
Sistema neumático	5.444.340
Sistema Eléctrico	451.426
Tornería y Metalmecánica	2.814.160
Partes Especiales (importadas)	11.264.800
Partes Diversas	1.304.679
Materiales	2.999.786
Mano de Obra	6.000.000
<b>TOTAL</b>	<b>37.221.791</b>

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

Se diseñó y construyó un mecanismo semiautomático para el corte de vidrio laminado plano, que ejecuta el corte al mismo tiempo por ambas caras del vidrio y separa de forma automática la película de PVB.

Se determinó que con una presión de 2,4 Kg/cm<sup>2</sup>, se realiza el rayado del vidrio con una buena calidad hasta un espesor de 6mm.

El 95% de la máquina fue construida con perfilaría de acero estructural reciclado existente en la compañía, este material satisface la mejor relación desempeño – costo.

El carro o porta herramientas fue construido con aluminio 6063 T5 existente en la compañía, este material satisface los requerimientos de esfuerzo e inercias presentes.

El método más conveniente para separar el PVB es por calentamiento de la película de PVB según nuestro diseño.

El 80% de los mecanismos móviles trabajan con un sistema neumático.

El costo total de la máquina es significativamente menor que el de las máquinas existentes en el mercado, siendo éste de 37.221.791 Bolívares.

La máquina realiza el corte en un menor tiempo y de mejor calidad que de forma manual.

La velocidad de corte de la máquina se encuentra entre un mínimo de 0.5 m/seg. Y un máximo de 2 m/seg., siendo 1.5 m/seg. La velocidad óptima.

La mesa tiene una exactitud aproximada de 0.5 mm

Para minimizar los costos y el tiempo de construcción de cualquier mecanismo es necesario realizar de forma conjunta el cálculo de los elementos y la investigación de los recursos que existen en el mercado local.

## Recomendaciones

A pesar de que las zonas y puntos de la estructura estudiados para realizar los cálculos de soldadura y de selección de los perfiles estructurales fueron aquellos que estaban más solicitados en cuanto a esfuerzos, es recomendable hacer un estudio de cada uno de los puntos y de las zonas que conforman toda la estructura, ya que las fuerzas presentes varían según el lugar estudiado, es decir, las características de la soldadura y perfiles estructurales variaran según estas fuerzas. Con este estudio más amplio se podría minimizar el peso total de la máquina y la cantidad de material de soldadura usado para la estructura minimizando así los costos.

Para minimizar los costos de operación, se recomienda realizar un estudio de transferencia de calor más profundo (si es posible con un software de PC) para seleccionar la lámpara de mínimo consumo, ya que éste es el elemento de la máquina que más consume energía.

Para mejorar la maniobrabilidad de la lámina encima de la mesa se recomienda implantarle al diseño un sistema de flotación por aire para poder elevar con facilidad la lámina de vidrio.

Implantarle al diseño un sistema automatizado de medición del vidrio para mejorar la exactitud del corte.

## *CAPÍTULO VII*

### **7.1. Manual de Ensamblaje, Mantenimiento y Operación.**

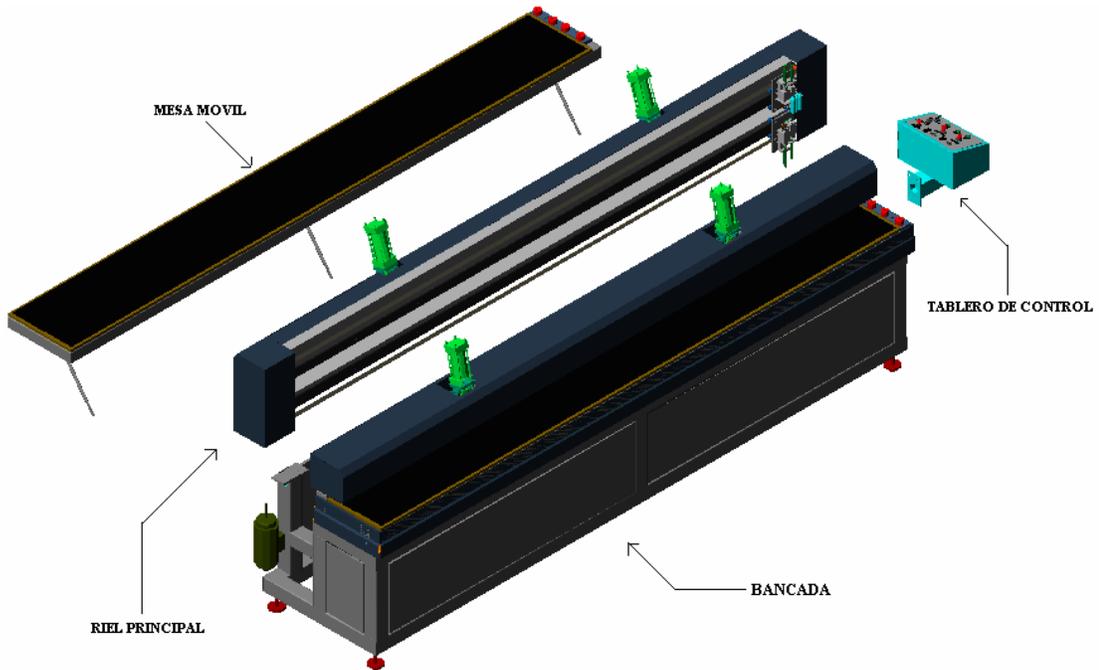
#### **Introducción.**

La máquina semi-automática de corte de vidrio laminado plano que se presenta a continuación es de gran utilidad en la empresa del vidrio, ya que esta máquina reduce la manipulación del vidrio laminado al momento del corte de este, minimizando así el riesgo de que la lámina de vidrio sufra algún tipo de fractura, minimiza el tiempo en que se realiza el corte del vidrio laminado y el corte realizado por esta máquina es más preciso que el realizado por un cortador experimentado dando como resultado menos pérdida de materia prima por errores humanos de imprecisión al momento del corte, además esta máquina posee un sistema de separación del vidrio y del polivinilbutiral totalmente automático.

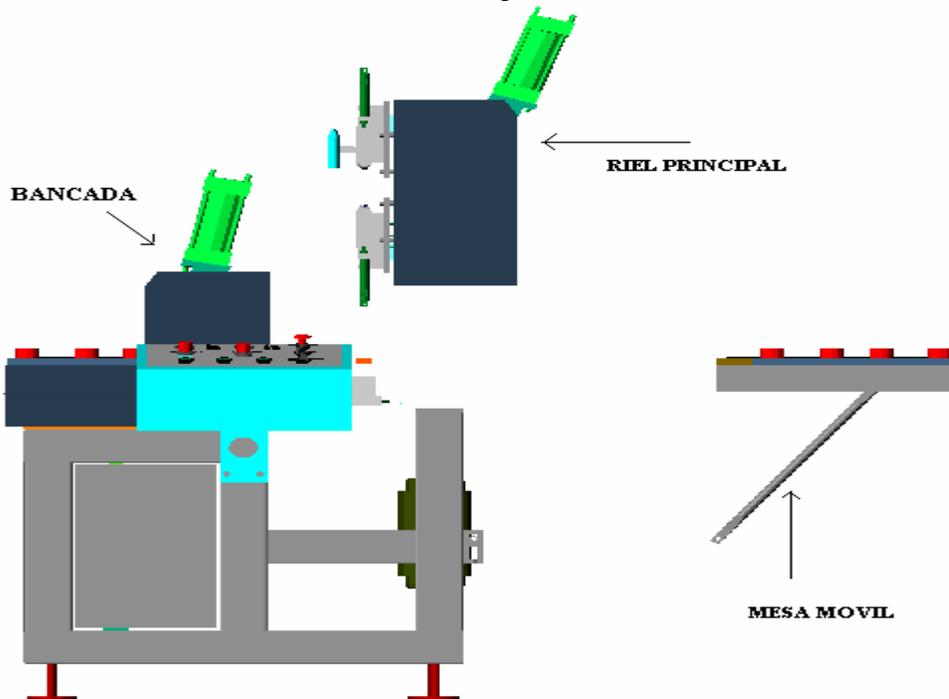
## 7.2. Manual de ensamble

La máquina consta de tres partes principales, el bloque principal, el riel principal y la mesa móvil, estas partes se ensamblan como lo muestran las siguientes figuras.

Isometría de las figuras de ensamble.

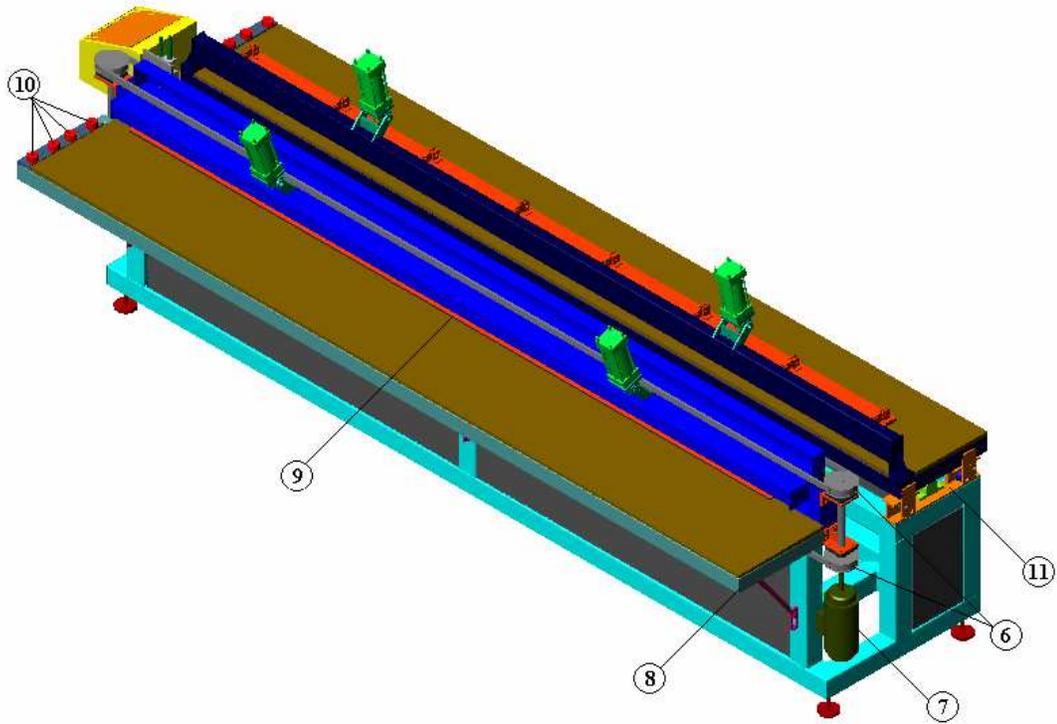
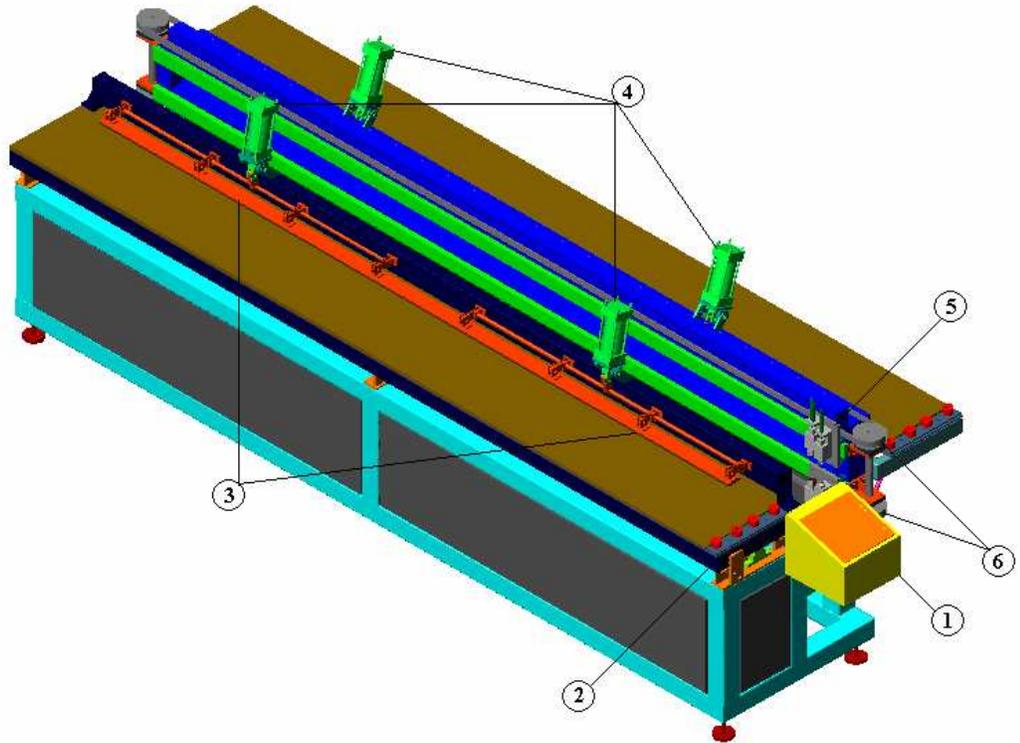


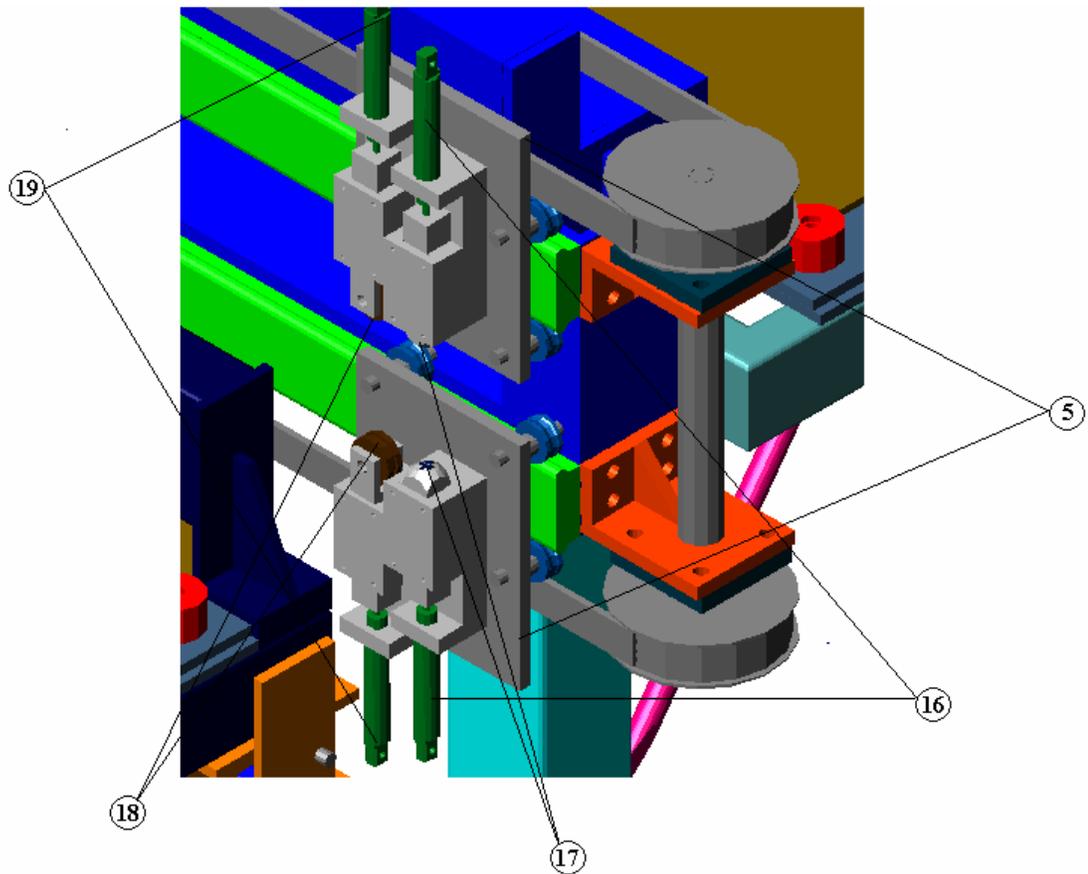
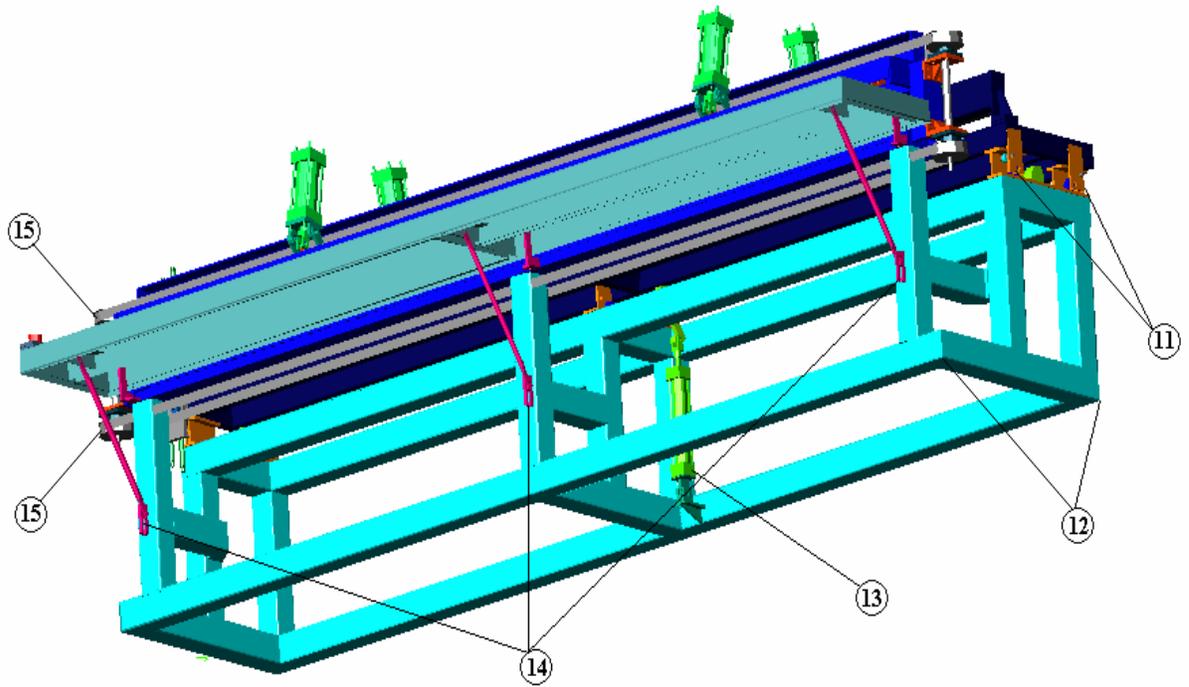
Vista frontal de las figuras de ensamble



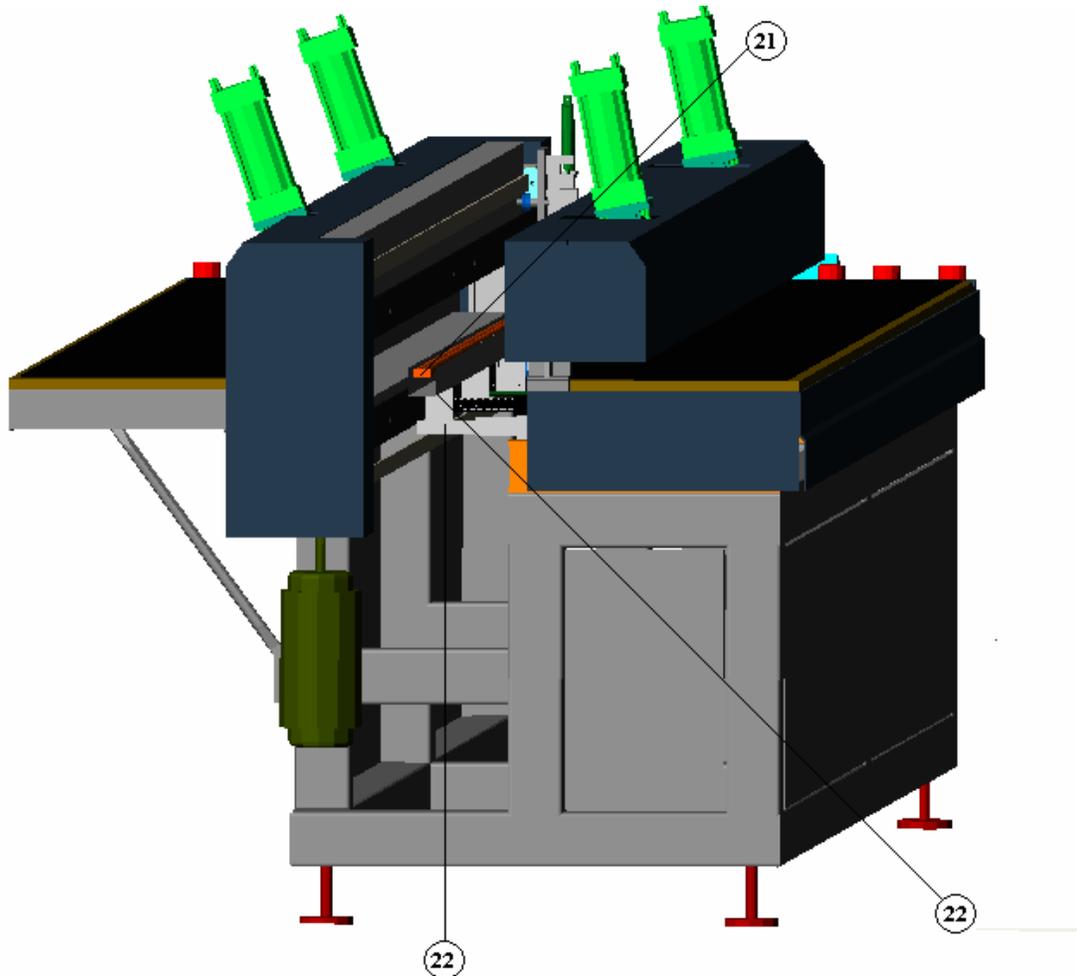
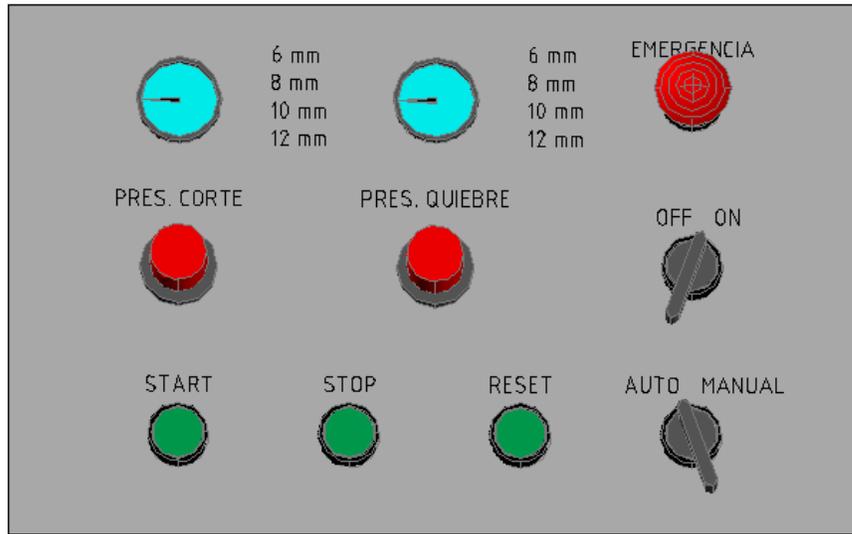
### 7.2.1. Mecanismos y partes principales

1. Consola de operación y control de la máquina (tablero de control).
2. Mesa móvil para el separado del polivinilbutiral.
3. Barras de presión. (Para la separación del polivinilbutiral).
4. Pistones del sistema de presión para la separación del polivinilbutiral (mesa móvil).
5. Carro o porta herramientas.
6. Poleas del sistema de movimiento del carro o porta herramientas.
7. Motor.
8. Mesa fija
9. Pistones del sistema de presión para la separación del polivinilbutiral (mesa fija).
10. Ruedas tope para posicionamiento del vidrio.
11. Sistema de movimiento de mesa móvil para la separación del polivinilbutiral.
12. Chasis de la máquina.
13. Pistón para movimiento de la mesa móvil para la separación del polivinilbutiral.
14. Sistema de nivelación de la mesa fija.
15. Correas Timing para el movimiento del carro o porta herramientas.
16. Pistones para el rayado del vidrio.
17. Rulinas de rayado del vidrio. (Rulinas de punta adiamantada intercambiables).
18. Rulinas de tronzado del vidrio. (Rulinas de madera).
19. Pistones para el tronzado del vidrio.
20. Detalle del Tablero de control.
21. Lámpara de cuarzo (Para la separación del polivinilbutiral).
22. Mecanismo de posicionamiento de la lámpara de cuarzo.
23. Detalle de las células fotoeléctricas.

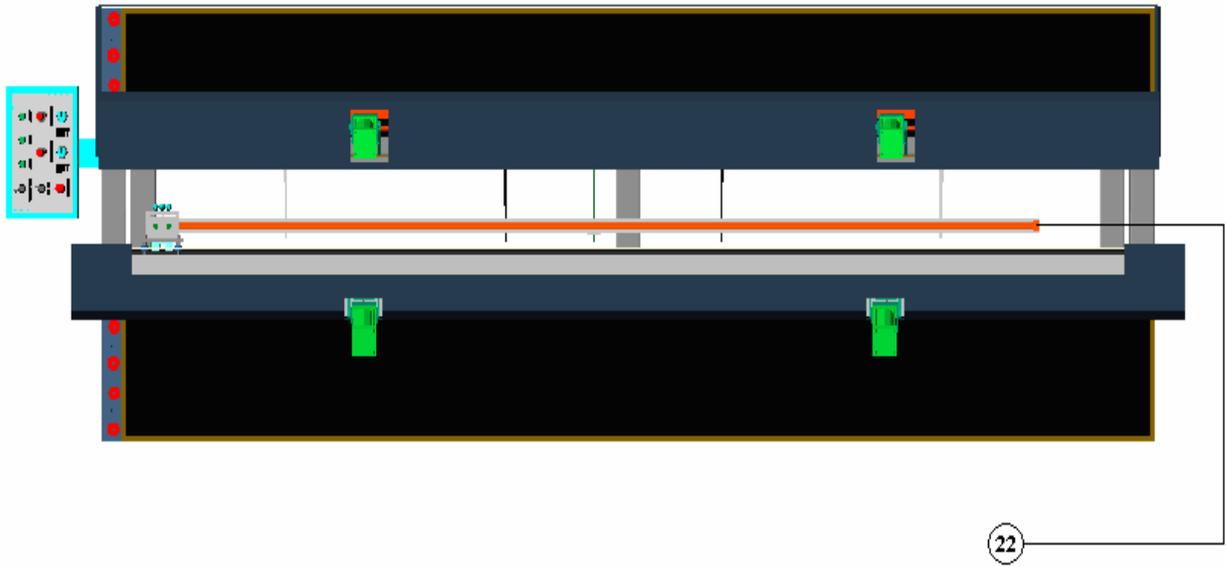




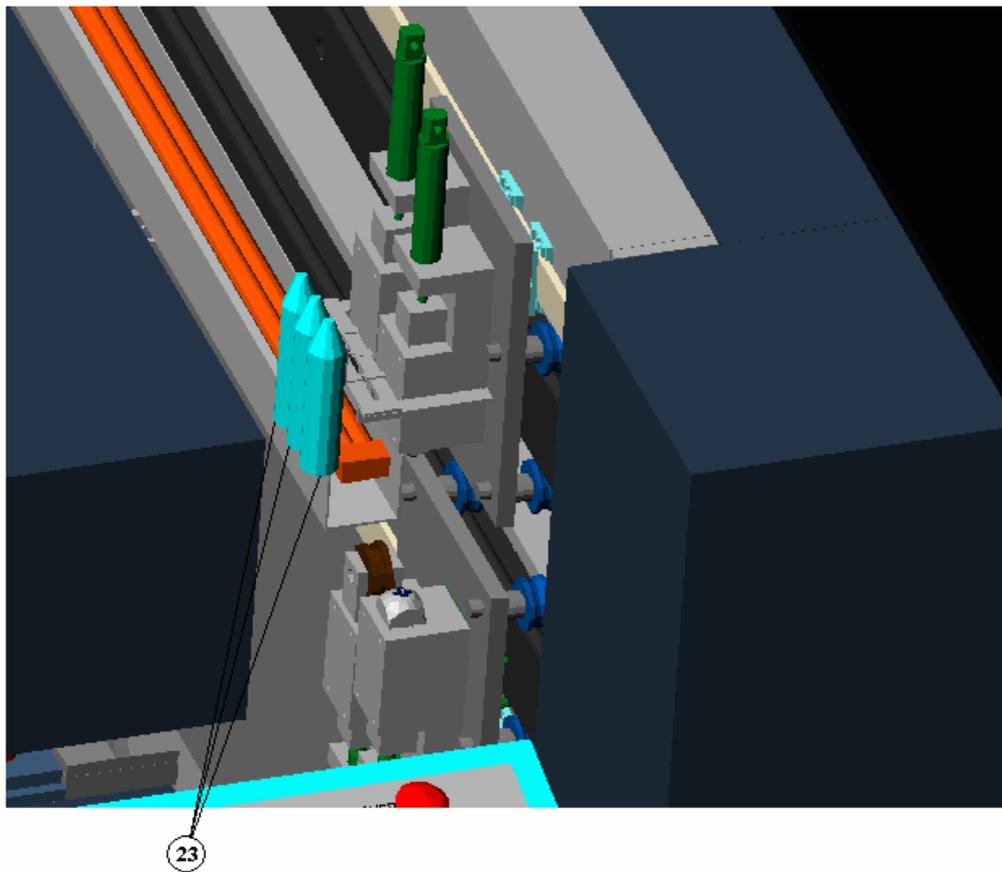
Detalle del tablero de control (20).



Vista superior de la lámpara.



Detalle de las fotocélulas (23).



### **7.3. Manual de mantenimiento.**

#### **7.3.1. Descripción de las diferentes partes de la máquina, función y mantenimiento.**

##### **⊗ Lámpara de cuarzo.**

Esta máquina consta de una lámpara de calor o lámpara de cuarzo la cual se usa para ablandar o derretir la película de plástico o polivinilbutiral que une las dos láminas de vidrio. Esta lámpara logra alcanzar casi instantáneamente altas temperaturas, ya que el filamento se encuentra muy cerca de la envoltura de cristal de cuarzo y emite radiaciones infrarrojas.

Esta envoltura de cuarzo de la lámpara no se puede tocar directamente con los dedos o manos, pues el sudor o la grasa de estos altera la composición química del cristal de cuarzo. Esta reacción, conocida como desvitrificación, deteriora la capsula o el tubo de protección, provocando que el filamento se funda.

Esta lámpara es libre de mantenimiento.

##### **⊗ Rulinas de corte o tronzado del vidrio.**

Esta máquina posee dos (2) rulinas o ruedas de madera que sirven para el tronzado o corte del vidrio. Estas son de libre de mantenimiento.

##### **⊗ Rulinas de rayado del vidrio.**

Esta máquina posee dos (2) rulinas de rayado del vidrio, estas rulinas están compuestas de acero con polvo de diamante. Estas piezas a medida que se van realizando los rayados del vidrio se desgastan y la calidad del rayado va disminuyendo.

Estas se deben cambiarse cada 800 rayados (30 días) aproximadamente para garantizar la calidad del rayado, corte y separación del vidrio.

⊗ **Carro o porta herramientas.**

Esta máquina consta de 2 carros o porta herramientas, en los cuales se encuentran los pistones y rulas de corte. Cada carro posee 4 rodamientos los cuales le permiten a estos deslizarse a lo largo de la máquina a través de un riel de acero.

Esta superficie en la cual se deslizan los rodamientos debe mantenerse limpia y libre de cualquier residuo para que al momento del corte o rayado del vidrio no exista ninguna interrupción o brinco en el carro que pueda dañar el corte que se esta realizando.

Los rodamientos poseen un canal el cual sirve para acumular el polvo u otro residuo pequeño que se encuentre en el riel, este canal debe limpiarse esporádicamente. El tiempo o lapso el cual se deben limpiar estos canales depende de las condiciones de trabajo en las cuales se encuentre la máquina. La lubricación de estos rodamientos es libre de mantenimiento.

⊗ **Barras de presión.**

Esta máquina posee unas barras que ejercen presión en el vidrio en el proceso de la separación del polivinilo. Estas barras son libres de mantenimiento.

⊗ **Consola de operación y control de la máquina.**

Esta máquina posee un sistema de control, conformado por elementos electrónicos que realizan los diferentes procesos del corte del vidrio laminado de forma automática o semi-automática. Este sistema posee una consola de operación conformada por 3 botones o pulsadores, que ejecutan las operaciones de inicio del

ciclo, fin del ciclo, y reiniciar el ciclo, y posee un suiche el cual tiene dos posiciones, manual y automático. Este sistema es libre de mantenimiento.

⊗ **Mesa de separado del polivinilbutiral.**

Esta máquina posee un sistema de engranajes y ejes unidos a un pistón el cual sirve para la separación o corte del polivinilbutiral. Estos engranajes, cremalleras y chumaceras deben limpiarse y lubricarse cada 15 días de trabajo. También es recomendable limpiar la alfombra del tope de la mesa y reemplazarla si se detectan daños graves.

⊗ **Motor DC.**

Esta máquina posee un motor eléctrico de corriente directa el cual es libre de mantenimiento. Revisar eventualmente las conexiones y los cables.

⊗ **Pistones neumáticos.**

Esta máquina consta de 11 pistones neumáticos de diferentes diámetros y recorridos, la línea de aire con que se alimenta a estos pistones debe tener una trampa de agua y una de aceite para así garantizar que exista solo aire en la línea, ya que la presencia de éstos no permite el buen funcionamiento de los pistones.

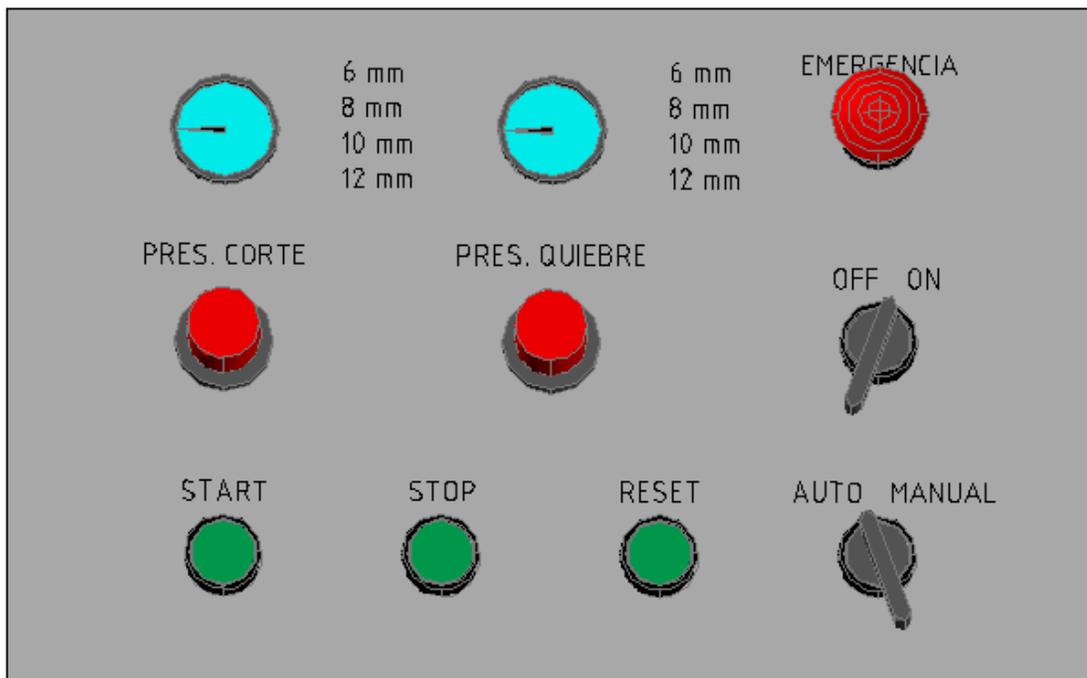
Las conexiones de la línea a los pistones deben verificarse que no exista ningún escape de aire para el buen funcionamiento de los pistones.

⊗ **Células fotoeléctricas.**

Esta máquina consta de tres células fotoeléctricas de libre mantenimiento, no se deben golpear ni maltratar.

## 7.4. Manual de operación.

Tablero de control.



Funcionamiento de la máquina.

- **Suiche OFF-ON:** Es el suiche principal de la máquina y sirve para encender o apagar toda las partes de la máquina.
- **Suiche AUTO-MANUAL:** Este suiche permite al usuario seleccionar si los procesos que efectúa la máquina se realizaran de forma automática o de forma manual. En la posición de AUTO la máquina realiza todos los procesos sin detenerse. En la posición manual los procesos se realizan uno por uno. La máquina realiza un proceso y se detiene hasta que el usuario pulse el botón START para realizar el siguiente proceso y así sucesivamente hasta finalizarlo todos.
- **Regulador PRES. CORTE:** Este es el regulador de presión de corte de las rulas de rayado del vidrio. Tiene 4 posiciones 6mm, 8mm, 10mm, 12mm, estas medidas indican el espesor del vidrio laminado que se desea cortar.

- **Regulador PRES. QUIEBRE:** Este es el regulador de las rulas de madera para el tronzado del vidrio. Tiene 4 posiciones 6mm, 8mm, 10mm, 12mm, estas medidas indican el espesor del vidrio laminado que se desea cortar.
- **Botón START:** Luego de encender la máquina, seleccionar AUTO-MANUAL, y regular las presiones de corte y quiebre, el botón START funciona para iniciar todo el proceso de corte de vidrio laminado.
- **Botón STOP:** Este botón funciona para detener la máquina en alguna parte del proceso del corte del vidrio laminado.
- **Botón RESET:** Este botón funciona para reiniciar todo el proceso de corte del vidrio laminado desde su primer paso, sin importar en que proceso se encuentre la máquina.
- **Botón EMERGENCIA:** Este es el botón de seguridad de la máquina que detiene toda la máquina y le corta la energía en caso de alguna emergencia.

Pasos para el uso correcto de la máquina:

- 1.- Colocar la lámina de vidrio en la mesa de corte.
- 2.- Colocar la lámina de vidrio haciendo escuadra al menos en dos(2) de las rulas de goma rojas para garantizar la perpendicularidad del corte.
- 3.- Encender la máquina en el suiche principal.
- 4.- Encender el suiche del tablero de control.
- 5.- Verificar que el carro o porta herramientas se encuentra en la posición cero o la posición inicial. De no ser así colocarlo en la posición inicial presionando el Botón Reset y dejarlo presionado hasta que el porta herramientas se coloque en la posición cero.
- 6.- Verificar que las presiones de rayado y tronzado del vidrio estén configuradas con el espesor de la lámina de vidrio a cortar. (6mm,8mm,10mm,12mm).

7.- Colocar el suiche Auto o Manual en la posición que se desee realizar el proceso. Se aconseja colocarlo siempre en Auto, para el uso manual el operador debe conocer detalladamente todos los procesos que realiza la máquina.

8.- Presionar el botón Start.

9.- Si la selección fue Auto la máquina realizara el proceso completo de forma automática, si la selección fue Manual se debe presionar el botón Start cada vez que se termine un proceso para iniciar el siguiente paso, así sucesivamente hasta que se realice el proceso final.

10.- Luego de realizado el corte se debe retirar las láminas de vidrio de la mesa.

11.- En caso de emergencia se debe presionar el Botón EMERGENCIA que corta toda la energía hacia la máquina o presionar el Botón Stop que detiene toda la máquina pero sin cortar la energía.

## **7.5. Seguridad.**

Evitar introducir partes del cuerpo en las zonas móviles de la máquina en especial en la zona de las barras de presión, así mismo tener en cuenta que la lámpara de cuarzo es una fuente de calor intenso que puede provocar graves quemaduras.

En términos generales es una máquina muy segura.

## **7.6. Recomendaciones generales**

Es recomendable, para un mejor desempeño de la máquina, entrenar a una persona para que la manipule y la opere, esta persona debe conocer todos los procesos que realiza esta y debe tener presente siempre, el manual de operación y mantenimiento, para evitar la mala manipulación de esta que pueda traer como consecuencia un daño en alguna pieza mecánica o electrónica.

## *BIBLIOGRAFÍA*

SHIGLEY, Joseph (1990): Diseño en Ingeniería Mecánica. Quinta Edición. México. Editorial McGRAW-HILL.

MOTT, Robert (XXXX): Diseño de Elementos de Máquinas, segunda edición, México. Editorial PRENTICE HALL.

INCROPERA, Frank (1999): Fundamentos De Transferencia De Calor. Cuarta Edición. México. Editorial PRENTICE HALL.

IGNOTO, Vicente (2003): Soldadura Para Ingenieros. Caracas, Venezuela. U.C.V. Facultad de Ingeniería.

THOMAS, Lindon (1980): Fundamentos de Transferencia de Calor. New Jersey. PRENTICE - HALL.

DIXON, Wilfrid (1975): Introducción al Análisis Estadístico. México. Editorial McGRAW- HILL.

Krüger G. Temperature effects on the structural behaviour of laminated safety glass. Universidad de Stuttgart, sección publicaciones, Otto-Graf-Journal 1998, [http://www.mpa.unistuttgart.de/publikationen/otto\\_graf\\_journal/ogj\\_1998/beitrag\\_krueger.pdf](http://www.mpa.unistuttgart.de/publikationen/otto_graf_journal/ogj_1998/beitrag_krueger.pdf) ,consultada 10 de septiembre de 2006.

BUTVAR solutions for improved performance, Solutia Inc., Sección Información Técnica, <http://www.butvar.com/es/techinfo.aspx> , consultada 11 de septiembre 2006

Nuño, Facundo. El vidrio. Sección Trabajos, Monografías <http://www.monografias.com/trabajos11/vidrio/vidrio.shtml> , consultada 3 de marzo 2006.

NAKANE, Koji. Properties of poly(vinyl butyral)/TiO<sub>2</sub> nanocomposites formed by sol-gel process, Sección Artículos, Department of Materials Science and Engineering, Fukui University, Bunkyo 3-9-1, Fukui 910-8507, Japan. [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6TWK-49WMT8V-1&\\_user=10&\\_coverDate=12%2F31%2F2004&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&view=c&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=a94f85cdc1d84b894327eb472b129d71](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TWK-49WMT8V-1&_user=10&_coverDate=12%2F31%2F2004&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=a94f85cdc1d84b894327eb472b129d71) , consultada 16 de septiembre de 2006

Museo del Vidrio. El vidrio, que es el vidrio?, Museo del vidrio de Monterrey N.L., México, sección investigación, Museo del Vidrio, Vitro, S.A. de C.V. 2000, <http://www.museodelvidrio.com/iev.htm> , consultada 3 de marzo 2006.

Sistema de motores pasó a paso SURESTEP, Sección manuales, Manual de Usuario <http://www.automationdirect.com/static/manuals/surestepmanualsp/surestepmanualsp.html> , Consultada 20 de septiembre de 2006.

Grupo Velazco, Prontuario, Tubos, Tubo Estructural conformado en Frió – Dimensiones Nominales y Características de los Perfiles Huecos de Sección Rectangular, [http://www.arcelordiberia.com/wgvelasco/L1/Prontuario/Tubos/Tubos421\\_3.shtml](http://www.arcelordiberia.com/wgvelasco/L1/Prontuario/Tubos/Tubos421_3.shtml) , consultada 29 de Agosto de 2006

SKF Venezolana, Rodamientos SKF, Sección Catalogo Interactivo, [http://www.skf.com/portal/skf\\_ve/home?lang=es](http://www.skf.com/portal/skf_ve/home?lang=es) , consultada 29 de agosto de 2006.

Mitsubishi Electric., Industrial Automation Spanish Branco, Sección productos – variadores de frecuencia, catálogos, [http://www.mitsubishi-automation.es/products/inverters\\_content.html](http://www.mitsubishi-automation.es/products/inverters_content.html) , consultada 20 de septiembre de 2006.

# *PLANOS*