

## **Capítulo III**

### **REDISEÑO DE LA MÁQUINA**

En este capítulo se realizarán los cálculos, planos y evaluación de alternativas de cada uno de los puntos a rediseñar. Así como la solución, mostrando un diseño conceptual antes de cada uno de los planos.

El funcionamiento de la guarda protectora era en forma neumática pero ahora con la automatización de la máquina será en forma electro neumática. Para el sistema de inyección, apertura y cierre de platinas se cambio del antiguo sistema hidráulico manipulado en forma manual a electro hidráulico.

#### 3.1 Guarda protectora

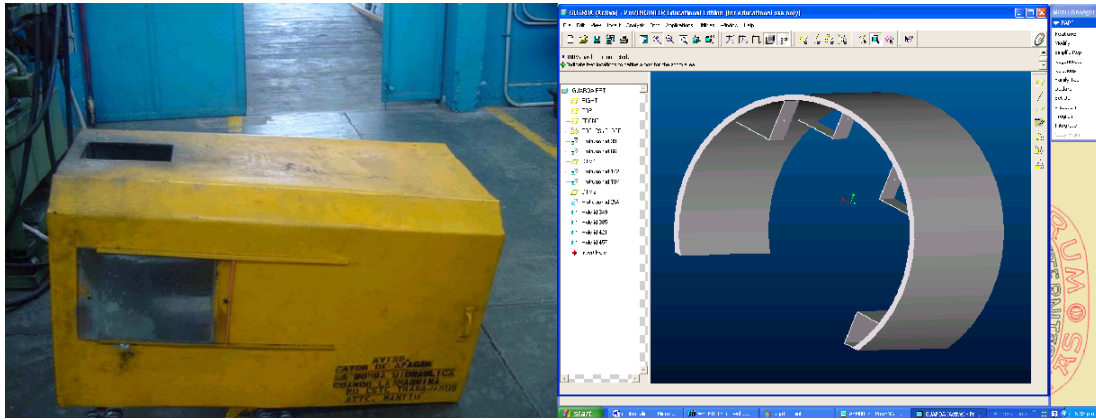
La guarda protectora es un factor importante en la máquina ya que esta es la protección del usuario al momento que la máquina este inyectando el material al molde, es decir, cuando la máquina halla terminado de inyectar el material a los moldes, la guarda y las platinas se abren para que el operador observe que en la cavidad de los moldes no se quede rebaba de la pieza terminada, una vez hecho el chequeo, nuevamente se cierran platinas, la guarda y se inyecta el material.

### 3.1.1 Evaluación de alternativas.

La guarda protectora puede ser de forma cuadrada o cilíndrica, puede ser corrediza o fija en uno de los lados para que sea levantada por el usuario, como si fuera una caja. El punto más importante es que el operador evite el estar operando la máquina. Con el fin de que solo este supervisando el funcionamiento y el acabado de las piezas terminadas.

Se optó, que la guarda tiene que ser corrediza y cilíndrica, porque sería de mucho menor peso, operada en forma electro neumático es decir los movimientos serán manipulados por la automatización, y la forma cilíndrica favorece a la mejor protección de las platinas, si en algún momento expulsa material.(Fig.3.1).

El factor de menor peso favorece a la guarda que se abrirá y cerrará en forma neumática, y a su vez será fácil de montar y desmontar cuando se requiera dar mantenimiento a la máquina. Se tiene que tomar en cuenta que la guarda no estará expuesta a esfuerzos de ningún tipo ya que como se mencionó anteriormente nada más será de protección para el usuario, como muestra el diseño (apéndice A) MC-01-01.

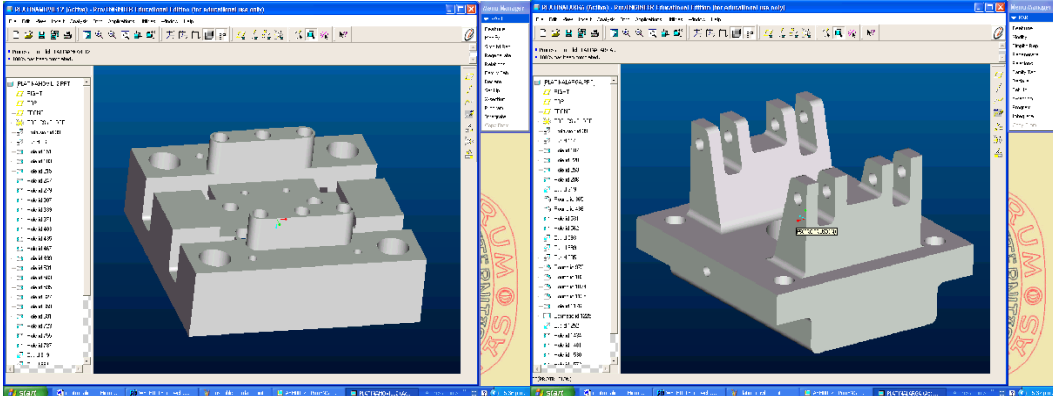


**Figura 3.1 Guarda anterior y diseño Conceptual**

### 3.2 KIT de Platinas

El Kit de platinas es la parte más importante de toda la máquina de inyección a presión de cámara caliente ya que en este es en donde los moldes están montados. El pistón de abrir y cerrar las platinas debe tener la fuerza necesaria para que selle completamente y no exista fuga del material inyectado, ya que el pistón de inyección tiene una presión de 1550 Psi.

El diseño del kit de platinas debe de tener dimensiones mucho mas grandes de las que tenia anteriormente, como se muestra en los planos que se encuentran en el anexo de cada una de las piezas ya que este mejoraría el cierre y la fuerza de empuje que ejerce el pistón. En esta parte se presenta el diseño conceptual de cada una de las partes que la componen el kit de platinas.(Figura 3.2).



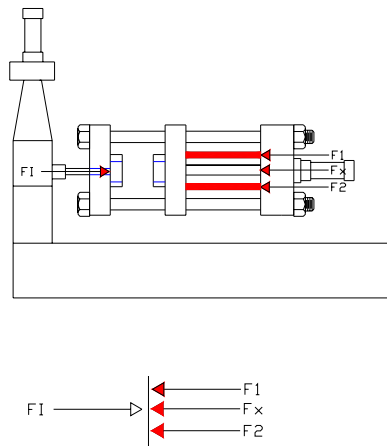
**Figura 3.2** Diseño conceptual Kit de placas

Anteriormente el diseño las placas estaban en forma horizontal, en el rediseño será con un cierto ángulo de desnivel, esto será mucho mejor ya que la caída será a favor de la gravedad y los moldes tendrán un mejor cierre. (Fig. 3.3)



**Figura 3.3** Rediseño del kit de placas y con ángulo de caída

En el kit de platinas se tiene que tomar en cuenta las deformaciones en los puntos críticos es decir donde estará sometida toda la fuerza del pistón y que pueden existir fracturas o rupturas. Se presenta los cálculos necesarios para saber la deformación, cargas y esfuerzos a la que están sometidos, tomando en cuenta que toda las partes que la componen el kit están hechos de acero, por lo tanto el modulo de elasticidad es de 200 Gpa obtenida de la (Tabla 3.1). Para realizar los cálculos necesarios, basándonos en las especificaciones de la máquina que se encuentra en el capítulo 1, se realiza el diagrama de cuerpo libre (Figura 3.4).



**Figura 3.4 Diagrama de cuerpo libre H12**

- Para la fuerza que se aplica en la platina, es decir donde son colocados los dados.

La presión ejercida por el pistón es de 10.69 Mpa =  $10690000 \frac{N}{m^2}$  .

$$\begin{aligned}
1Pa &= 1 \frac{N}{m^2} \\
P &= 10,690,000 \frac{N}{m^2} \\
P &= \frac{FI}{A} & 3.1 \\
FI &= PA \\
FI &= (10,690,000 \frac{N}{m^2})(0.03349m^2) \\
FI &= 358,008N
\end{aligned}$$

La fuerza ejercida por el Pistón de cierre de platinas es de (20.7 Ton) fuerzas (20,700N) los cuatro brazos soportan la inyección del material. Por lo tanto realizaremos una sumatoria de fuerzas para saber la fuerza que están soportando cada uno.

$$\sum F(x) = 0$$

Sabemos que las fuerzas  $F_1=F_2=F_3=F_4=F_p$  3.2

$$\begin{aligned}
-4F_p - F_x + FI &= 0 \\
-4F_p - (20,700N) + 358,008N &= 0 \\
F_p &= \frac{(358,008N - 20,700N)}{4} \\
F_p &= 84,327N
\end{aligned}$$

- La deformación que se esta ejerciendo en la platina móvil con el pistón de cierre de platinas.

$$\begin{aligned} \nu_{\max} &= \frac{Pl^3}{48EI} \\ I &= \frac{1}{12}(.203m)(0.0275m)^3 \\ I &= 3.5181 \times 10^{-7} m^3 \\ \nu_{\max} &= \frac{(20,700N)(.2158m)^3}{48(200 \times 10^9 Pa)(3.5181 \times 10^{-7} m^3)} \\ \nu_{\max} &= 1.322mm \end{aligned} \tag{3.3}$$

- La deformación y su esfuerzo en los brazos.

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{P}{A} \\ \sigma &= \frac{84,327N}{(0.03175m)(0.03175m)} \\ \sigma &= 83.65Mpa \end{aligned} \tag{3.4}$$

Para saber que tanto se están deformando los brazos aplicamos la siguiente Fórmula

$$\delta = \frac{PL}{AE} \tag{3.5}$$

Dónde:

$\delta$  ... Deformación (m o mm)

P... Carga (N)

A... Área ( $m^2$ )

E... Modulo de elasticidad (Pa)

$$\delta = \frac{(84,327N)(0.17074m)}{(0.03175m)(0.03175m)(200 \times 10^9 Pa)}$$
$$\delta = 7.127 \times 10^{-2} mm$$

- Para la platina fija se tiene que analizar los esfuerzos cortantes y su deformación.

$$\tau = \frac{F}{A}$$
$$\tau = \frac{84,237N}{2\left(\frac{\pi(d^2)}{4}\right)}$$
$$\tau = \frac{38,735.3N}{2\left(\frac{\pi((0.01587m)^2)}{4}\right)} \quad 3.6$$
$$\tau = 213.15 Mpa$$

Carga máxima aplicada en la platina fija

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{A}$$
$$F_{max} = (\sigma_{adm})(A)$$
$$F_{max} = (250 \times 10^6 Pa)(0.0165m)(0.032m) \quad 3.7$$
$$F_{max} = 132,000N$$

Por ultimo el diámetro requerido para los pasadores



$$\tau = 213.15 \text{ Mpa}$$

$$A_{req} = \frac{F}{\tau}$$

$$A_{req} = \frac{84,237 \text{ N}}{213.15 \times 10^6 \text{ Pa}}$$

$$A_{req} = 395.2 \text{ mm}^2 \quad 3.8$$

$$A_{req} = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{A_{req}(4)}{\pi}}$$

$$D = 22.4 \text{ mm}$$

### 3.3 Sistema Hidráulico a Sistema Electro Hidráulico

El sistema hidráulico anteriormente manejado por sistema de botones, es decir que los accionadores, los timer y los botones de control eran manejados manualmente y se pretende cambiar todo el sistema a eléctrico. Los tiempos de la guarda protectora y el cierre de platinas será por medio de sensores y manejados por un sistema lógico PLC (logo).

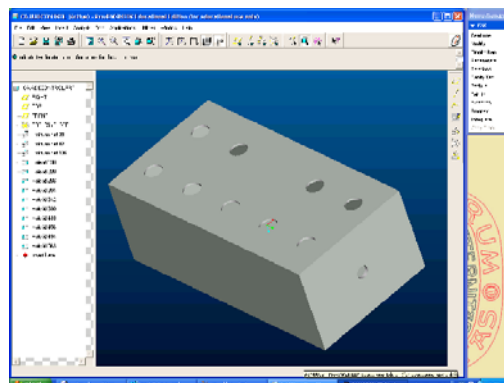
El cambio será una válvula 4/3 con bloque central la cual será elector válvula (Fig. 3.5) y este manejará todas las electro válvulas los cierres y aperturas tanto del kít de platinas y el pistón de inyección de material.



**Figura 3.5 Cambio de sistema Neumático a Eléctrico**

### 3.4 Sistema de control de operación.

Para la colocación del sistema de control tiene que ser lo más cerca posible a la máquina, que sea fácil de operar y que sea entendible su manejo. Esto con el beneficio para el operador, porque cuando tenga que calibrar las platinas pueda hacerlo cerca de la máquina y se evitaría la presencia de otro usuario. También se tiene que diseñar el soporte o brazo donde estará colocado el tablero de control (Fig. 3.6).



**Figura 3.6 Diseño conceptual de la caja de control**

### 3.4.1 Evaluación de alternativas.

En el tablero de control independiente, se puede hacer de dos maneras una sujeta a la máquina, otra con una extensión de cable, es decir que sea movable. La mejor solución es empotrado a la máquina, porque así el operador forzosamente tiene que estar revisando el funcionamiento.

Una de las formas de empotrar a la máquina sería con tornillos o soldado. La mejor solución es soldado y enterrado al piso para mucha mayor seguridad, porque los operarios en ocasiones llegan a colgarse en dicho control independiente.

El soporte de la caja tiene que ser lo suficientemente resistente al pandeo, para esto se tiene que diseñar el brazo y se utilizará un acero estructural de sección cuadrada. Para esto se utilizará la fuerza crítica del acero estructural y esta dada por la siguiente formula.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad 3.9$$

$$\sigma_{crit} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

Donde:

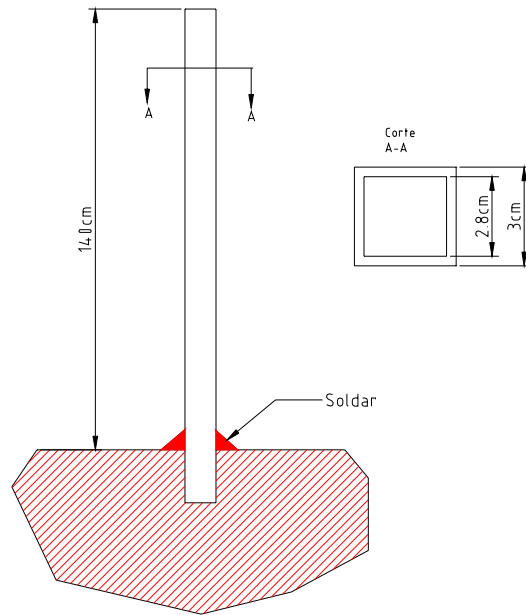
- $E$  = Módulo de elasticidad [Pa]
- $K$  = Constante fijación de los extremos.
- $L$  = longitud de la columna
- $I$  = Momento de inercia.

El modulo elástico de un acero estructural es de 200 Gpa ( $200E10$  Pa) obtenida de la (Tabla 3.1), como su base es empotrada y soldada por seguridad tiene un factor de  $K=.8$ , y una longitud de 140cm. La sección transversal será como se mencionó anteriormente de forma cuadrada.

**Tabla 3.1 Modulo de Elasticidad**

Material	Peso específico kg/m <sup>3</sup>	Resistencia final			Resistencia a la fluencia <sup>2</sup>		Módulo de elasticidad GPa	Módulo de rigidez GPa	Coeficiente de expansión térmica 10 <sup>-6</sup> /°C	Ductibilidad, porcentaje de alargamiento en 50 mm
		Tensión MPa	Compresión <sup>1</sup> MPa	Fuerza cortante MPa	Tensión MPa	Fuerza cortante MPa				
<b>ACERO:</b>										
Estructural (ASTM-A36)	7860	400	...	...	250	145	200	79	11.7	23
Alta resistencia-baja aleación ASTM-A242	7860	480	...	...	345	210	200	79	11.7	21
Aleación templada ASTM-A514	7860	825	...	...	690	380	200	79	11.7	18
Inoxidable, (302) laminado	7920	860	...	...	520	...	190	73	17.3	12
recocido	7920	620	...	...	275	152	190	73	17.3	50
<b>ACERO FUNDIDO:</b>										
Gris, 4.5% C, ASTM A-48	7200	170	650	240	...	...	70	28	12.1	0.5
Maleable, ASTM A-47	7300	340	620	330	230	...	165	64	12.1	10
<b>ALUMINIO</b>										
Aleación 1100-H-14 (99% Al)	2710	110	...	70	95	55	70	26	23.6	20
Aleación 2014-T6 (4.4% Cu)	2800	480	...	290	410	220	72	27	23.0	13
Aleación 6061-T6 (1% Mg)	2710	290	...	185	255	140	69	26	23.6	17
<b>CARBÓN</b>										
Laminado	8470	540	...	300	435	250	105	39	20	8
Recocido	8470	330	...	220	105	65	105	39	20	62
<b>COPRÓN AL FOSFORO</b>										
Laminado	8860	560	...	...	520	275	110	41	17.8	10
Spring temper (524)	8780	840	...	...	...	...	110	...	18.4	4
<b>ALEACION DE MAGNESIO</b>										
	1800	380	...	165	275	...	45	...	26	7
<b>ALEACION DE TITANIO</b>										
	4460	900	...	...	825	...	114	...	9.5	10
<b>ALEACION MONEL</b>										
En frío	8830	675	...	...	580	345	150	...	13.9	22
Recocido	8830	550	...	...	220	125	180	...	13.9	46
<b>MADERA, secada al aire<sup>4</sup></b>										
Abeto	525	...	50	7.5	...	...	12.5	...	Varia a 3.0 a 4.5	...
Abeto del este	440	...	37	6.9	...	...	9	...		...
Pino del sur	610	...	50	9.2	...	...	11	...		...
<b>CONCRETO</b>										
Resistencia media	2320	...	28	...	...	...	25	...	10	...
Resistencia alta	2320	...	40	...	...	...	30	...	10	...
<b>PLÁSTICO</b>										
Polipropileno, moldeado	1100	55	...	...	...	...	2	...	81	50
Poliestireno	1050	48	90	55	...	...	3	...	72	4
Polietileno de alto peso molecular	910	14	...	...	...	...	...	...	162	600
Polipropileno	1250	24	...	...	...	...	...	...	...	500
Polianilino	2770	20	240	35	...	...	70	...	7	...
Aluminio, 98% sílice	2190	...	50	...	...	...	65	28	80	...

Fuente: Mechanics of Materials, segunda edición , RC. Hibbeler.



**Figura 3.7 Columna para el problema**

- Calculamos el área de la sección transversal

$$A = (.03m)(.03m) - (.028m)(.028m) = .000116m^2 \quad 3.10$$

- Radio de giro

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad 3.11$$

$$I = \frac{1}{12} (.03m)(.03m)^3 - \frac{1}{12} (.028m)(.028m)^3 = 1.6278 \times 10^{-8} m^4$$

$$r = 0.011846m$$

- Carga crítica.

Donde:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 (200 \times 10^9 Pa) (1.6278 \times 10^{-8} m^4)}{((.8)(1.4m))^2} \quad 3.12$$

$$P_{cr} = 25,615N$$

- Esfuerzo máximo.

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2(200 \times 10^9 \text{ Pa})}{\left( \frac{(.8)(1.4m)}{0.011846m} \right)^2}$$

$$\sigma_{cr} = 220.8 \text{ Mpa} \quad 3.13$$

$$220.8 \text{ Mpa} < 250 \text{ Mpa}$$

- Carga del tablero de control.

$$W = 15 \text{ Kg}$$

$$F = (15 \text{ Kg})(9.81 \frac{m}{s^2}) = 147.15 \text{ N} \quad 3.14$$

$F < P_{cr}$  No fallará.

### 3.5 Horno

El horno es un factor importante en el momento de inyección esto es porque el material debe de tener la temperatura específica, para que las cavidades del molde sean llenadas correctamente y que no exista poros sin llenar esto da lugar a una pieza perfecta y un buen producto terminado.

Otro factor importante que debe cumplir el rediseño del horno es que debe estar totalmente protegido, para que la transferencia de calor sea mínima, es decir, que el material mantenga su temperatura y que no se requiera estar encendiendo el crisol constantemente, esto evitaría un factor importante que es el uso continuo de gas.

### 3.5.1 Evaluación de alternativas

Las alternativas para el horno se pretende utilizar tres tipos de material como son: Barro, ladrillo comercial o placas de asbesto. La opción mas viable para el diseño del horno es ladrillo comercial ya que es de bajo costo y realiza la misma función que los de mas materiales.

Para rediseñar el horno se necesita ladrillos comerciales, esto impedirá la transferencia de calor al medio ambiente, ya que el horno estará protegido por estas barras. Otro factor importante a tomar es que entre mas grueso sea mucho mejor se conservara el calor en su interior.

Debido a la transferencia de calor es por convección y conducción, tenemos que calcular el espesor necesario para evitar la perdida de calor el en horno. Se aplicara la siguiente formula

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_2}} \quad 3.15$$

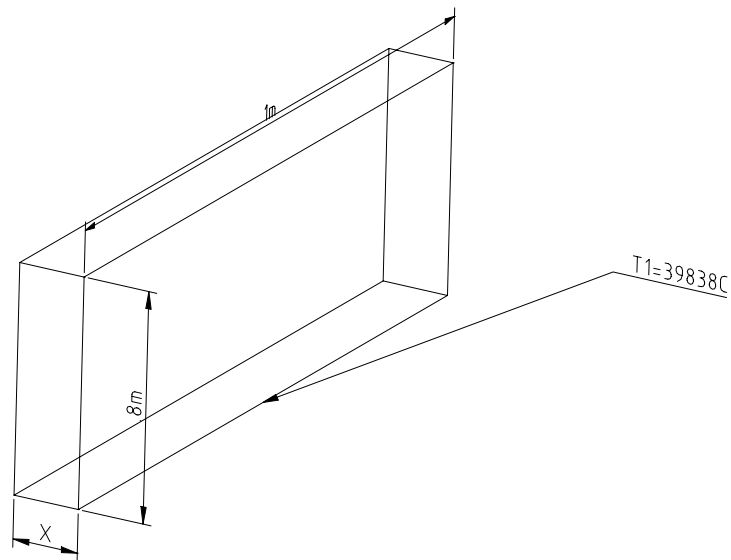
Donde:

- A = área de la cara
- K = Coeficiente de conductividad térmica del ladrillo
- L = Espesor



- $T_{\infty,1}$  = Temperatura interna del horno
- $T_{\infty,2}$  = Temperatura medio ambiente
- Q = calor

En el horno actual es de gas natural, tipo atmosférico 48,000  $\left(\frac{Btu}{hr}\right)$ , realizando las transformaciones a Watts tenemos (14067.411 W). El coeficiente de conductividad térmica de un ladrillo comercial es  $k=18.5\left(\frac{W}{mC}\right)$ , obtenida de la (tabla 3.2). Las dimensiones de la pared es de forma rectangular (Fig. 3.8).



**Figura 3.8 Dimensiones de la pared**

Tabla 3.2 Valor K

DESCRIPTION / COMPOSITION	TEMPERATURE (K)	DENSITY, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	THERMAL CONDUCTIVITY, $k$ (W/m · K)	SPECIFIC HEAT, $c_p$ (J/kg · K)
Asphalt	300	2,115	0.062	920
Bakelite	300	1,300	1.4	1,465
Brick, refractory				
Carborundum	872	—	18.5	—
	1,672	—	11.0	—
Chrome brick	473	3,010	2.3	835
	823		2.5	
	1,173		2.0	
Diatomaceous silica, fired	478	—	0.25	—
	1,145	—	0.30	—
Fire clay, burnt 1600 K	773	2,050	1.0	960
	1,073	—	1.1	—
	1,373	—	1.1	—
Fire clay, burnt 1725 K	773	2,325	1.3	960
	1,073		1.4	
	1,373		1.4	
Fire clay brick	478	2,645	1.0	960
	922		1.5	
	1,478		1.8	
Magnesite	478	—	3.8	1,130
	922	—	2.8	—
	1,478		1.9	—
Clay	300	1,460	1.3	880
Coal, anthracite	300	1,350	0.26	1,260
Concrete (stone mix)	300	2,300	1.4	880
Cotton	300	80	0.06	1,300
Foodstuffs				
Banana (75.7% water content)	300	980	0.481	3,350
Apple, red (75% water content)	300	840	0.513	3,600
Cake, batter	300	720	0.223	—
Cake, fully baked	300	280	0.121	—
Chicken meat, white (74.4% water content)	198	—	1.60	—
	233	—	1.49	—
	253		1.35	—
	263		1.20	—
	273		0.476	—
	283		0.480	—
	293		0.489	—
Glass				
Plate (soda lime)	300	2,500	1.4	750
Pyrex	300	2,225	1.4	835

Fuente: Appendix A Thermophysical properties of matter, compilado por Bulent Kozaoglu.

- Área de la sección.

$$A = 1(m) \times 8(m) \times 5 = 4m^2 \quad 3.16$$

- Diferencias de temperatura

$$\Delta T = (398.88C - 30C) = 368.8\text{ }^\circ C \quad 3.17$$

\* Donde  $Q = 14067.411$  Watts

Analizando el problema tenemos 4 caras iguales una superficie y el suelo que es depreciado ya que es perfectamente aislado. El valor de  $h_1$  del horno es muy grande,

asumimos que  $\left(\frac{1}{h_1}\right) = 0$ , Finalmente la formula esta dada de la siguiente manera.

$$\frac{Q}{A} = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{\frac{1}{h_1} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_2}} \quad (4) \quad 3.18$$

$$\left(\frac{14067.411W}{4m^2}\right) = \left(\frac{398.88 - 30}{\frac{L}{18.5\left(\frac{W}{mC}\right)} + \frac{1}{10\left(\frac{W}{m^2C}\right)}}\right)$$

*Despejando(L)*

$$L = 9.045 \times 10^{-2} m$$

$$L = 90.45 mm$$

### 3.6 Logo (PLC) para automatizar la máquina

Anteriormente la máquina era operada por botones es decir que la máquina era manual. En el rediseño se realizará la automatización con en logo (Fig. 3.9). Para la automatización recordemos que significa. Es la tecnología que se encarga de la aplicación de complejos sistemas mecánicos, electrónicos y computacionales a la operación y control de sistemas productivos.



**Figura 3.9 Equipo para automatizar, PLC (LOGO).**

Se tiene que tomar en cuenta las ventajas y las consideraciones al automatizar la máquina:

### 3.6.1 Ventajas de automatizar.

- Incremento de productividad-----30%

Anteriormente el proceso de la máquina era de 3 a 5 inyecciones por minuto. Con la automatización se pretende que tenga de 4 a 7 inyecciones por minuto.

- Evita falta de mano de obra-----50%

No es necesario contratar personal para su operación de la máquina, solo se necesita una persona que supervise el proceso.

- Disminuye los accidentes-----

Evita que el operario meta las manos a la máquina

- Reduce el desperdicio-----20%

Con la automatización de la máquina, reduce el número de ajustes en cada pieza. Es decir que solo se calibra una sola vez, para continuar con el plan de proceso.

- La calidad es más consistente-----

Al sellar correctamente los moldes y el aumento de la fuerza de inyección, el llenado en las cavidades del molde es de mucha mejor calidad.

- Reduce inventario-----

La máquina cuenta con un contador de piezas.

- Reduce el tiempo de producción.-----2 horas

### 3.6.2 Consideraciones de automatizar

- Gran inversión de capital

Precio PLC(Logo)-----	38,000\$
Tarjeta (PLC)-----	18,000\$
Válvula electro Hidráulica 4/3-----	1,600\$
Válvula electro Neumática-----	1,200\$
Pirómetros-----	1,600\$
Relevadores-----	1,460\$
<b>Total-----</b>	<b>61,860\$</b>

- Puede generar desempleo-----50%

Con la automatización solo se requiere de una persona que este supervisando el proceso sin necesidad de introducir las manos a la máquina.

Existen tres tipos de automatización como es el Programable, tipo Detroit y computarizada. En nuestro caso será en forma programable y mencionaremos puntos importantes de este tipo de automatización.

- Flexible-----

La máquina se adapta a los cambios de producción.

- Variedad de operaciones en una sola estación-----  
Solo cambiar el molde se hacen diferentes piezas.
- Bajo tiempo de ajuste-----  
la máquina será operada por un solo usuario para su ajuste de platinas.
- Alto precio-----  
Para su mantenimiento.