

AUTOMATIZACIÓN DE UNA TERMOFORMADORA INDUSTRIAL

MANUEL ALEJANDRO VIZCAÍNO WAGNER

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2011**

AUTOMATIZACIÓN DE UNA TERMOFORMADORA INDUSTRIAL

MANUEL ALEJANDRO VIZCAÍNO WAGNER

**Asfur Barandica L.
Director**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI**

2011

FICHA DEL PROYECTO

- 1. TÍTULO:** Automatización de una termoformadora industrial.
- 2. FACULTAD:** Facultad de Ingeniería.
- 3. PROGRAMA ACADÉMICO:** Ingeniería Electrónica – 3744.
- 4. ESTUDIANTE:** Manuel Alejandro Vizcaíno Wagner.
- 5. DIRECTOR:** Asfur Barandica López Ing.
- 6. GRUPO DE INVESTIGACIÓN:** Percepción y Sistemas Inteligentes.
- 7. ÁREA DE INVESTIGACIÓN:** Informática Industrial.
- 8. PALABRAS CLAVES:** Automatización, Termoformado, Variables.
- 9. DURACIÓN:** 12 meses.
- 10. FUENTE DE FINANCIACIÓN:** Universidad del Valle y Recursos propios.

Agradecimientos

A lo largo de este trabajo de pregrado han sido varias las personas que han colaborado para el desarrollo satisfactorio del mismo, ofrecieron tiempo, herramientas, ideas y críticas siempre constructivas, que motivaban el logro alcanzado. Deseo agradecer en primera instancia a mi familia que me acompañó incondicionalmente durante el tiempo del proyecto tanto en los momentos difíciles como en las alegrías mismas. A los profesores Asfur Barandica López y Bayron Calvache, por su colaboración amable a lo largo de este proceso. A los ingenieros Julián Andrés Naranjo y Jorge Antonio Tenorio, por su colaboración, cuando se tuvo alguna duda ellos supieron aclarar conceptos importantes. A todos y cada uno de los miembros del personal en ARTEDESC Ltda. Quienes me permitieron desarrollar un trabajo continuo a pesar de los múltiples inconvenientes que siempre se presentan en este tipo de desarrollo, gracias por su amabilidad y disposición constante. Finalmente agradezco a PSI y en especial a todos los que conforman el área de Informática Industrial por el buen ambiente de trabajo y fraternidad que encontré con y en ellos.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	
3. JUSTIFICACIÓN.....	
4. OBJETIVOS.....	
4.1. Objetivo General.....	
4.2. Objetivos Específicos.....	
5. MARCO TEÓRICO.....	
5.1. Principios del termoformado.....	
5.2. Procedimiento: Conceptos Básicos.....	
5.3. Métodos de conformado.....	
5.3.1. Conformado de una sola etapa.....	
5.3.2. Conformado en etapas múltiples.....	
5.4. Maquinaria del termoformado.....	
5.5. Comportamiento del material.....	
5.6. Moldes para termoformado.....	
5.7. Polímeros adecuados para el termoformado.....	
5.8. Plásticos.....	
5.8.1. Calentamiento.....	
5.8.2. Propiedades térmicas.....	
5.9. Temperaturas y ciclos de formado.....	
5.10. Sistema de vacío.....	
5.10.1. Equipos de vacío.....	
5.10.2. Aplicación de las fuerzas de vacío.....	
5.11. Enfriamiento de piezas termoformadas.....	
5.11.1. Métodos convencionales de enfriamiento.....	
5.11.2. Métodos no convencionales de enfriamiento.....	
5.12. Corte de piezas terminadas.....	
5.13. PET (Polietilén Tereftalato).....	
6. PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN.....	
6.1. Planteamiento del problema.....	
6.1.1. Recursos mecánicos.....	
6.1.2. Recursos eléctricos.....	
6.2. PROPUESTA	
6.2.1. Estructura Física.....	
6.2.2. Elementos.....	
6.2.3. Protocolo de cuantificación de eficiencia.....	
6.2.3.1. Consumo de energía.....	
6.2.3.2. Cantidad de producción por hora.....	
6.2.3.3. Nivel de riesgo profesional.....	
6.2.3.4. Costos de mantenimiento y repuestos.....	

6.2.3.5.	Desperdicio de material.....
7.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....
7.1.	Implementación y resultados del protocolo de cuantificación.....
7.1.1.	Consumo de energía.....
7.1.1.1.	Código en Java para la extracción de los datos.....
7.1.1.2.	Resultados de cuantificación.....
7.1.1.2.1.	Primera Fase.....
7.1.1.2.2.	Segunda Fase.....
7.1.1.2.3.	Total.....
7.1.1.3.	Análisis de resultados.....
7.1.2.	Cantidad de producción hora.....
7.1.3.	Nivel de riesgo profesional.....
7.1.4.	Costo de mantenimiento y repuestos.....
7.1.5.	Desperdicio de material.....
7.2.	Programación del PLC Koyo DL 06.....
7.3.	Medición de temperatura.....
7.4.	Interfaz gráfica.....
7.4.1.	Descripción.....
7.4.2.	Manual de usuario.....
7.5.	Porcentaje de automatización.....
8.	VALIDACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN.....
8.1.	Aplicación del protocolo de cuantificación.....
8.1.1.	Consumo de potencia.....
8.1.1.1.	Primera fase.....
8.1.1.2.	Segunda fase.....
8.1.1.3.	Total.....
8.1.2.	Cantidad de producción hora.....
8.1.3.	Nivel de riesgo profesional.....
8.1.4.	Costo de mantenimiento y repuestos.....
8.1.5.	Desperdicio de material.....
8.2.	Comparación final.....
9.	CONCLUSIONES.....
10.	TRABAJOS FUTUROS.....
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....
12.	ANEXOS.....
12.1.	Imágenes completas de la máquina.....
12.2.	Contenido del CD.....
12.3.	Tablas de producción hora.....
12.4.	Código en Java.....
12.5.	Imágenes elementos de la máquina.....

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Implementación con celdas fotoeléctricas.....	
Figura 2. Sistema de vacío.....	
Figura 3. Termoformadora industrial inicial.....	
Figura 4. Panel del control de la termoformadora inicial.....	
Figura 5. Esquema en 3D de la estructura física.....	
Figura 6. Entorno ECLIPSE JAVA.....	
Figura 7. Esquemático circuito conversor.....	
Figura 8. Implementación circuito conversor.....	
Figura 9. Potencia consumida en la fase uno.....	
Figura 10. Nivel de corriente en la fase uno.....	
Figura 11. Voltaje sensado en la fase uno.....	
Figura 12. Potencia consumida en la fase dos.....	
Figura 13. Nivel de corriente en la fase dos.....	
Figura 14. Voltaje sensado en la fase dos.....	
Figura 15. Potencia consumida total.....	
Figura 16. Nivel de corriente total.....	
Figura 17. Voltaje sensado total.....	
Figura 18. Distribución de la MT24N en la lámina de PET.....	
Figura 19. Interfaz de monitoreo y operación.	
Figura 20. Descripción de los elementos de la interfaz.....	
Figura 21. Potencia consumida en la fase uno.....	
Figura 22. Nivel de corriente en la fase uno.....	
Figura 23. Voltaje sensado en la fase uno.....	
Figura 24. Potencia consumida en la fase dos	
Figura 25. Nivel de corriente en la fase dos.....	
Figura 26. Voltaje sensado en la fase dos.....	
Figura 27. Potencia consumida total.....	
Figura 28. Nivel de corriente total.....	
Figura 29. Voltaje sensado total.....	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Polímeros más comunes para el termoformado.....	
Tabla 2. Materiales utilizados en la industria.....	
Tabla 3. Rangos de temperatura para diferentes materiales.....	
Tabla 4. Descripción estructura física.....	
Tabla 5. Descripción de los elementos y la cantidad utilizada.....	
Tabla 6. Distribución de elementos por fase de alimentación.....	
Tabla 7. Valores promedio fase uno.	
Tabla 8. Valores promedio fase dos.	
Tabla 9. Promedio total obtenido en la toma de datos.	
Tabla 10. Datos de producción antes de la automatización.	
Tabla 11. Clasificación de riesgos.....	
Tabla 12. Relación entrada – salida del PLC Koyo.....	
Tabla 13. Porcentaje de automatización.....	
Tabla 14. Valores promedio fase uno.....	
Tabla 15. Valores promedio fase dos.....	
Tabla 16. Promedio total obtenido en la toma de datos.....	
Tabla 17. Datos de producción después de la automatización.....	
Tabla 18. Costo de mantenimiento y repuestos.....	
Tabla 19. Comparación final.....	

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Ciclo completo del proceso manual.....
Diagrama 2. Protocolo de cálculo de la eficiencia en el proceso de termoformado.....
Diagrama 3. Flujo del proceso general.....
Diagrama 4. Flujo en estados del proceso.....

1. INTRODUCCIÓN

Durante décadas, la automatización ha sido pilar del desarrollo industrial de la humanidad, generando empleo y llevando el sistema a niveles de producción nunca antes imaginados. A través de los años, la industria del termoformado se ha caracterizado por su importante influencia sobre el mercado debido a que produce una gran cantidad de productos que son fundamentales para todo ser humano actualmente. En la industria nacional, las termoformadoras son operadas de forma manual por un operario capacitado en el proceso debido al alto costo que acarrea la automatización, esto conlleva a un gran número de problemas como la pérdida de eficiencia por el agotamiento físico del operario, riesgo laboral, altos costos de mantenimiento, baja duración entre otros.

En este libro se presenta la descripción completa de un proceso de automatización para una termoformadora industrial básica. Para este objetivo es necesario realizar una investigación previa y posteriormente construir una propuesta de automatización que cumpla con las características necesarias.

A través del documento se presentara una serie de capítulos con temas detallados sobre el análisis teórico, práctico y funcional de la máquina termoformadora en cuestión. En estos capítulos se aborda la descripción de temas importantes que lograrán consolidar un concepto de automatización. Inicialmente se realiza un marco teórico describiendo el proceso del termoformado detalladamente para crear un contexto de trabajo a partir del cual se puede ilustrar la automatización deseada. Seguido a esto, se presenta una propuesta de automatización tomando en cuenta los principales sub-procesos y herramientas en un ciclo de estas características para finalmente lograr una aproximación a un proceso completo. Luego se realiza la implementación de la propuesta y se validan los resultados obtenidos correspondientes a los parámetros escogidos previamente en su evaluación.

Es necesario el análisis completo de todo el libro para poder comprender los pasos requeridos y demás métodos implementados en el proyecto de automatización. Como parte importante del proyecto se encuentra una interfaz gráfica de monitoreo construida especialmente para la máquina con la cual se realizó el proyecto.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente los procesos industriales no cuentan con una adecuada automatización que brinden una mejora de eficiencia en la producción de la industria. Las termoformadoras industriales son ampliamente utilizadas para producir innumerables artículos que se consumen a diario en la sociedad nacional pero su automatización no es buena debido a los altos costos y complejidad de operación. Por lo anterior, se pretende desarrollar una propuesta para la automatización de una termoformadora y su implementación en una máquina real, a bajo costo y generando condiciones fáciles para su operación.

3. JUSTIFICACIÓN

En el campo de la industria, la automatización contribuye a mejorar en un gran porcentaje la producción y eficiencia de los diferentes procesos que se manejan en el mercado. En general, el desarrollo económico sostenible va siempre ligado con el avance de la tecnología. Debido a lo anterior, se puede decir que el proceso de termoformado hace parte de una gran lista de procesos que en Colombia, se encuentran operados manualmente debido a limitaciones de conocimiento, implementación, operación y mantenimiento de instrumentos que brinden un grado de automatización que facilite y mejore la producción en varios aspectos.

Una termoformadora industrial es una máquina robusta que conlleva a que su operación sea engorrosa y necesite gran despliegue de capacidades físicas (fuerza, agilidad entre otras) por parte de él o los operarios. Además de esto, necesita una precisión adecuada en los tiempos de los subprocesos, tales como temperatura del horno, ascenso y descenso de los accionadores neumáticos, enfriamiento del producto, que entre otros más constituyen la eficiencia de la máquina. Se pierde eficiencia debido a que todas estas órdenes se realizan dependiendo del criterio de cada operario sin poseer parámetros establecidos para su manejo. Por otro lado, actualmente el índice de accidentes laborales es considerable lo cual va en contra de la calidad de vida de la sociedad, situaciones que pueden ser evitadas perfectamente con un control apropiado sobre el proceso.

El propósito de automatizar el proceso de una termoformadora industrial se basa en dar solución a las situaciones descritas anteriormente, la eficiencia es fundamental para un mercado en aumento que cada vez necesita mejorar la calidad y cantidad de la producción.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Proponer una estrategia de automatización para una termoformadora industrial y validarla en una implementación real.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Documentar el proceso de termoformado y los componentes de la máquina termoformadora industrial.
- Desarrollar una propuesta para la automatización y realizar la implementación real.
- Validar los resultados obtenidos mediante comparación de la eficiencia y una mejora en las condiciones laborales.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Principios del termoformado

El termoformado es una técnica que tiene sus inicios desde principios del siglo XX, desde cuando se empezó a generar el concepto de conformado a materiales como metal, vidrio y fibras naturales. Con el pasar del tiempo, los verdaderos inicios del termoformado se dieron con el desarrollo de nuevos materiales pero principalmente los materiales termoplásticos. Durante la segunda guerra mundial, como muchos de los adelantos científicos y sociales de la actualidad, la utilización de materiales plásticos para generar todo tipo de productos que satisficieran la necesidad del momento, se vio altamente evolucionada y con ello, surgiría toda la industria del termoformado.

Durante la época de los años 50, 60 y 70's, la industria del termoformado alcanzó cifras impresionantes, se comenzaron a generar productos para casi cualquier tipo de necesidad a base de termoformar láminas plásticas, lo cual impulsó enormemente ésta parte de la industria mundial. Todo esto llevó al desarrollo de las técnicas de producción, control y distribución, entre otras. Actualmente, debido a los grandes avances en la electrónica, existen sistemas de termoformado muy complejos, los cuales incluyen instrumentos de auto control y diagnóstico que pueden ser operados en su gran mayoría por una sola persona correctamente capacitada para la función.

A pesar de lo anterior, la pequeña y mediana industria no cuenta con este tipo de recursos debido a su alto costo, lo cual lleva a que los procesos se realicen de forma manual, disminuyendo así la capacidad de producción y aumentando el riesgo en las condiciones laborales de las personas. A continuación se listan algunos tipos de productos de la industria del termoformado de mayor a menor cantidad en su producción.

- **Industria del empaque**
- Transporte
- Señalización y anuncios
- Artículos para el hogar
- **Industria alimenticia**
- Industria médica
- Agricultura y horticultura
- Construcción y vivienda
- Equipaje
- Equipo fotográfico

Desde el inicio de la industria del termoformado, la aplicación de empaque ha sido la más beneficiada debido a sus bondades y alta productividad, aumentando ampliamente la relación costo-beneficio. Los procesos alimenticios entre los cuales encontramos empaques y comida para

llevar, utilizan en gran medida todo tipo de termoformados para refrescos, dulces, carnes frías, hamburguesas, entre muchos otros.

5.2 Procedimiento: Conceptos Básicos

El proceso de termoformado se hace a través de moldes previamente contruidos para lograr dar forma por medio de calor (como su nombre lo indica) a una lamina de plástico en sus muchas variedades. Existen varios tipos de termoformado dependiendo de la aplicación misma, una de la más utilizada en la industria es el termoformado por vacio o succión, en la cual se entrara en más detalle posteriormente.

5.3 Métodos de conformado

De los sistemas más simples para el conformado de la pieza final existe uno que estira de la lámina sobre un molde definido. A partir que la lámina se estira por la acción del calor lo hace de manera uniforme, pero al momento de primer contacto con el molde, se detiene el estiramiento en esa parte y esto lleva a que algunas partes del producto puedan quedar con diferente espesor. Lo anterior es una situación en la que se debe tener cuidado debido a que puede necesitarse un espesor uniforme a lo largo de toda la pieza. En la industria de los alimentos generalmente esto no es un problema debido a que las piezas son cortas (tales como recipientes, cúpulas, bases, entre otros) y hace que el estirado sea pequeño evitando errores en la integridad de la pieza.

5.3.1 Conformado de una sola etapa

A continuación se presenta una breve descripción de los métodos de conformado más utilizados en la industria actual del termoformado.

- **Conformado por Adaptación:** como su nombre lo indica, consiste en dejar que la lámina de plástico se adapte a un molde específico de manera natural o en muchas ocasiones ayudado por sistemas de vacío o presión según la máquina. En este proceso se presenta mayor espesor en el fondo del molde y va haciéndose menor a medida que se dirige a los bordes del mismo.
- **Moldeo por vacío:** la lámina es fijada de manera firme sobre el borde del molde y luego se genera un vacío que lleva la lámina a tomar la forma deseada. A diferencia del método anterior, este entrega como resultado un espesor mayor en los bordes que en fondo.
- **Formado a presión:** consiste en un proceso similar al del moldeo por vacío, pero en este, se aplica una presión de aire comprimido sobre la lámina, para lo cual es necesario una cámara cerrada en la parte superior, que confronta la lámina contra el molde de manera adecuada. Este procedimiento se utiliza cuando se desea realzar pequeños detalles del molde de manera fina.
- **Molde y contra molde:** este procedimiento es utilizado para realizar piezas con materiales (polímeros) relativamente rígidos. La lámina es llevada a un molde para que tome su forma, pero al mismo tiempo es presionada por un contra molde que procede a forzar la lámina contra su molde requerido.

5.3.2 Conformado en etapas múltiples

Para los procedimientos descritos anteriormente, es difícil controlar el espesor uniforme de la pieza al momento de ser moldeada. Existen muchas aplicaciones en las que es indispensable que la pieza conserve un espesor uniforme a lo largo de toda su extensión o también se puede requerir que el espesor varíe de manera controlada para una determinada necesidad. Debido a este tipo de características, existen procedimientos de pre-estirado que ayudan a que la lámina tome la forma del molde de manera controlada y tocando todas las partes al mismo tiempo.

- **Estirado con burbuja:** como base de todos estos procedimientos, se forma una burbuja utilizando aire a una presión pequeña. Luego que la lámina ha tomado una forma de burbuja, se procede a introducir el molde y a generar vacío para su correcta conformación.
- **Vacío con respaldo:** este método realiza una operación inversa al anterior, la burbuja es creada por vacío de aire y no por inyección del mismo como en el caso anterior. Posteriormente tiene un proceso igual al método de estirado de burbuja.

Generalmente, se pueden apreciar variaciones en los métodos que van relacionadas a los requerimientos específicos de cada aplicación. Se pueden incluir sistemas con presión de aire asistida con pistones, con o sin cámara superior, membranas de neopreno, entre otros.

5.4 Maquinaria del termoformado

El proceso de termoformado puede analizarse según tres puntos principales, la fuente de calentamiento, transporte de láminas y plataforma de conformado. A continuación se analiza cada una de manera individual.

- **Calentamiento:** el calentamiento es un paso muy importante en el proceso de termoformado debido a que sobre él recae la responsabilidad de dejar una lámina totalmente apta para la conformación con el molde. Existen varias técnicas para calentar la lámina:
 - Alambre de calefacción
 - Barras de resistencia
 - Radiadores cerámicos
 - Placas radiantes calentadas por gas
 - Calentadores de cuarzo en forma de placa o varilla
 - Lámparas calentadoras
 - Placas de cristal de cuarzo

Para escoger de manera adecuada una fuente de calor, se debe tener en cuenta los requerimientos del producto final, tipo de material, tipo de producción, tipo de instalaciones, entre otros. Entre los más comunes se encuentran las resistencias, las cuales proporcionan una gran practicidad en la operación a muy bajo costo, pero que se deterioran rápidamente por oxidación. Por otro lado se encuentra los calentadores de cuarzo, los cuales son muy eficientes y no se deterioran fácilmente, pero son costosos.

Estos últimos se utilizan cuando es necesario elevar el material a altas temperaturas y calentamiento selectivo por zonas. Para el control uniforme de la temperatura sobre el material se utilizan sistemas avanzados de manipulación térmica. Para concluir existen diferentes técnicas como infra-rojos, energía de radio-frecuencia, entre otros menos utilizados.

- **Transporte de láminas:** en la industria, la producción adecuada tiene asociado una organización en las materias primas del proceso. En este caso, la mayoría de industrias de plástico producen rollos de distintos tamaños de los cuales se extraen las láminas para iniciar el proceso de conformación. En este orden de ideas el transporte de láminas en las termoformadoras comunes consiste en un sistema de soporte para el rollo, desde donde se deslizan las láminas por medio de algún tipo de accionamiento hasta el punto de ser aseguradas para dar paso al resto del proceso. Los accionamientos son en su mayoría neumáticos, tanto el sistema de colocación de la lámina en su respectivo lugar, como el sistema de aseguramiento de la lámina en un marco definido se realizan con aire. Lo anterior es debido a que se utilizan los recursos propios de la máquina, la cual consta de bombas de aire y vacío desde donde se pueden ramificar los sistemas de control para la materia prima.

En el control sobre la materia prima existen tolerancias y velocidades que deben ser controladas para el correcto funcionamiento en el ciclo de trabajo. Las tolerancias deben ser graduables mediante mecanismos de ajuste que permitan abrir o cerrar el camino del material con relación al tamaño que la máquina este trabajando. Los ajustes pueden ser mecánicos, mediante sistemas de tornillo o expansiones o también pueden ser electrónicos controlados por un sistema madre. Por otro lado, la velocidad de desplazamiento del rollo debe ser controlada debido a que puede necesitarse variar los tiempos de acuerdo con el tipo de producto que se desee implementar. El control de velocidad se realiza mediante motores acoplados al rollo (materia prima) que ejercen la labor de movimiento con una velocidad deseada.

- **Plataforma de conformado:** la plataforma de conformado como su nombre lo indica, hace referencia al lugar en donde se desarrolla la gran parte del proceso de termoformado. Consiste en una estructura adecuada para soportar moldes pesados y demás accesorios necesarios para el correcto funcionamiento del proceso. Esta plataforma incluye sistemas anexos como lo son el sistema de enfriamiento y el sistema de vacío. Estos sistemas son fundamentales en el proceso ya que realizan acciones sobre la pieza al momento de ser conformada, enfriada y retirada.

La plataforma de conformado constituye el principal componente de la máquina debido a que el proceso de termoformado tiene lugar en esta zona. En la plataforma se ejecutan los procesos de calentamiento, conformado, enfriamiento y extracción. Esta plataforma puede variar su forma dependiendo de los requerimientos del producto pero siempre manteniendo esquemas básicos.

5.5 Comportamiento del material

En la industria del termoformado existen muchas variedades de materiales que son ampliamente utilizados. Los materiales van desde polímeros frágiles hasta aleaciones de plástico reforzado con fibra de vidrio o carbono. Debido a lo anterior, los procesos varían notoriamente especialmente con relación a la temperatura utilizada y los tiempos de acción de cada componente.

Para cada uno de los materiales utilizados, se requieren temperaturas que se van incrementando con relación a las características del material (densidad, dureza, fragilidad, etc.), siendo menor en polímeros frágiles como el PET en sus presentaciones básicas, hasta compuestos con fibra de vidrio o carbono que requieren temperaturas superiores a los 150 C (grados Celsius).

5.6 Moldes para termoformado

En el proceso de termoformado, los moldes son un eslabón muy importante en la cadena de producción porque en ellos se realiza el conformado de la pieza. Con el molde se otorgan características importantes al producto tales como simetría y pulidez entre otras. Los moldes pueden ser muy económicos y la selección del material depende de la calidad de superficie que se desee obtener.

Los moldes en madera son ampliamente utilizados debido a su bajo costo y fácil manipulación; deben ser de maderas duras con un proceso de secado al horno para evitar que con el *contacto térmico*¹ de la pieza se deterioren. En la mayoría de las veces estos moldes no son construidos en una sola pieza sino que se componen de varias partes acopladas con pegantes resistentes al calor. Un elemento importante dentro del proceso de creación de un molde para termoformado es la ubicación adecuada de zonas de aspiración para realizar el vacío sobre la lámina. Estas zonas son realizadas con finos taladros, introduciendo pequeños orificios que permitan la entrada y salida de aire.

En general un molde para termoformado debe seguir unas características marcadas tales como:

- **Adelgazamiento en el espesor del material:** hace referencia a las dimensiones que debe tener el molde para garantizar que el material no se rompa debido a la disminución excesiva de su espesor.
- **Ángulo de salida de moldeo entre 3° y 5°:** el molde debe poseer un diseño cónico para que cuando se desmolde la pieza terminada exista un ángulo adecuado de salida y no se corran riesgos con el producto.
- **Contracción de la pieza entre el 0.6 y 1% cuando se enfría:** cuando el material se enfría, su tamaño disminuye debido a sus propiedades. Para lo anterior se debe tener en cuenta esta diferencia y debe ser el molde quien asuma esta diferencia.

¹ Dos sistemas que están en contacto mecánico directo o separados mediante una superficie que permite la transferencia de calor lo que se conoce como superficie diatérmica, se dice que están en *contacto térmico*. http://es.wikipedia.org/wiki/Equilibrio_t%C3%A9rmico

- **Textura de la superficie:** en la mayoría de los casos, el producto se necesita con texturas específicas. Cuando se realiza el molde, es necesario garantizar la textura porque finalmente es lo que se va a transmitir al producto final.

Existen otros tipos de materiales para realizar los moldes como lo son escayola, cerámica, acero, poliéster y aluminio. Estos últimos bastante utilizados debido a su excelente conductividad térmica que permite una buena transmisión de calor hacia la lámina y fuera de ella.

5.7 Polímeros adecuados para el termoformado

Básicamente, cualquier tipo de polímero es adecuado para el proceso de termoformado. Estos materiales cuando se someten a incrementos en la temperatura, comienzan a variar sus propiedades físicas, tales como elasticidad, dureza y capacidad de resistencia bajo carga.

El polímero bajo calentamiento muestra rápidamente un pandeo en la lámina, lo cual indica que se ha superado el H.D.T (Heat Deflection Temperature)¹. Lo anterior es una característica muy importante para el proceso debido a que condiciona las propiedades del producto final y que comúnmente no es tomada en cuenta. En la *tabla 1* se listan los polímeros más comunes para el termoformado relacionando su temperatura óptima para el conformado.

¹[http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_deflection_temperature]

POLÍMEROS	TEMPERATURA DE DEFLECCIÓN AL CALOR			TEMPERATURA DE TERMOFORMADO		
	A 264 PSI (°C)	A 66 PSI (°C)	SIN CARGA (°C)	TEMP. DE LA HOJA (°C)	TEMP DEL MOLDE (°C)	TEMP DE AYUDA (°C)
Acrílico extruido	94	98		135-175	65-75	
Acrílico cell-cast	96	110		160-180	65-75	
Acetobutirato de celulosa	65-75	75-80	120-150	140-160		
Polietileno de alta densidad		60-80	100	145-190	95	170
Polipropileno	55-65	110-115	140	145-200		
Poliestireno	70-95	70-100	100	140-170	45-65	90
Poliestireno alto impacto	85-95	90-95	120	170-180	45-65	90
SAN	100	105		220-230		
ABS	75-115	80-120	95	120-180	70-85	90
Polivinilo de cloruro (RV.C.)	70	75	110	135-175	45	80
Policarbonato	130	140	160	180-230	95- 120	140

Tabla 1. Polímeros más comunes para el termoformado

[Manual Técnico TERMOFORMADO – Plastiglas de México, S.A de C.V]

5.8 Plásticos

5.8.1 Calentamiento

Uno de los principales procesos dentro del termoformado es sin lugar a dudas el calentamiento de la lámina. En este proceso se emplea la mayor parte del ciclo y se pueden presentar mayores dificultades, lo cual conlleva al mal aprovechamiento de los recursos tanto materiales como humanos. Debido a esto es muy importante que se comprenda claramente la función que el calentamiento tiene sobre el ciclo total, para así poder controlar de manera adecuada las condiciones del producto final.

Para el proceso de termoformado existen varios tipos de transmisión de calor dependiendo del material y el producto final que se desee. Estos tipos se pueden organizar en cuatro grupos:

- Calentamiento por contacto
- Calentamiento por inmersión
- Calentamiento por convección
- Calentamiento por radiación infrarroja

Calentamiento por contacto consiste en producir contacto directo entre una placa de metal caliente y la lámina en cuestión. Por inmersión, se basa en sumergir la lámina en un líquido conductor a una temperatura adecuada, sin embargo es difícil de usar debido a los procesos de limpieza de la lámina luego del contacto con el líquido. Por convección, tal vez la más usada en la industria de pequeños productos, básicamente consiste en utilizar un horno con la temperatura pre establecida en el cual se introduce la lámina durante un tiempo determinado. Estos hornos tienen ventajas de seguridad en los tiempos del formado y agregan la posibilidad de secar la lámina si esta se encuentra con porcentajes de humedad. Por último, el calentamiento por radiación infrarroja utiliza lámparas de cuarzo o resistencias cerámicas o metálicas que emiten mayor energía, alcanzando grandes temperaturas que oscilan entre los 315° C a 705° C. Este método es utilizado para grandes termoformados con materiales de gran espesor que necesitan mucha energía para ser calentados, pero es poco visto en la industria debido a su alta inversión y mantenimiento.

5.8.2 Propiedades térmicas

En general todos los plásticos son malos conductores de calor, esto hace que en el proceso de termoformado sea necesario aplicar altas temperaturas con largos tiempos de calentamiento. Existen distintos métodos de calentamiento que deben ser elegidos dependiendo de las características y propiedades del material a utilizar.

En términos generales, la ecuación que describe el calor necesario para calentar una lámina de un polímero dado es:

$$\text{Calor Requerido} = A \times e \times \rho \times ((\gamma \times \Delta t) + C)$$

Donde **A** es el área, **e** es el espesor, **p** la densidad, **y** es calor específico, **Δt** es el diferencial de temperatura y **C** es el calor de fusión. Todos los parámetros son correspondientes al material en uso.

En la tabla 2 se relacionan algunos datos importantes de diferentes materiales utilizados ampliamente en la industria actual.

MATERIALES	GRAVEDAD ESPECÍFICA g/cm ³	CALOR ESPECÍFICO Btu/ lb °F	CALOR DE FUSIÓN Btu/lb	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Btu ft/sq ft hr °F	COEFICIENTE TÉRMICO DE EXP. LINEAL in/in °F10 ⁻⁵
Aire	0.0012	0.24		0.014	
Agua	1	1	144	0.343	
Hielo	0.92	0.5	144	1.26	2.8
Madera suave	0.5	0.4		0.052	1.5
Madera dura	0.7	0.4		0.094	1.5
R. fenólicas	1.5	0.3		0.2	3-5
R. epóxicas	1.6-2.1	0.3		0.1-0.8	1.5-2.8
Polietileno	0.96	0.37	55	0.28	7
Acrílico	1.19	0.35		0.108	3.5
Policarbonato	1.2	0.30		0.112	3.7
Grafito	1.5	0.20		87	0.44
Vidrio	2.5	0.20		0.59	0.5
Cuarzo	2.8	0.20		4 y 8	0.4 y 0.7
Aluminio	2.7	0.23	171	90	1.35
Acero	7.8	0.10	171	27	0.84
Cobre	8.8	0.092	88	227	0.92

Tabla 2. Materiales utilizados en la industria.

[Manual Técnico TERMOFORMADO – Plastiglas de México, S.A de C.V]

5.9 Temperaturas y ciclos de formado

Para poder entender adecuadamente los rangos de temperaturas que se deben utilizar es necesario primero definir las distintas temperaturas que se tienen en un proceso de termoformado.

- **Temperatura de desmolde:** es la temperatura a la cual el producto terminado puede ser retirado del molde sin sufrir alteraciones. Las temperaturas de desmolde varían dependiendo del sistema de enfriamiento que se posea, entre mejor sea el sistema, mayor puede ser la temperatura de desmolde logrando así disminuir los tiempos del ciclo.

- **Temperatura mínima de operación:** como su nombre lo indica, es la temperatura mínima a la que la lámina puede ser moldeada sin sufrir daños internos, tales como pérdida de brillo, craqueo u otros daños físicos del material.
- **Temperatura ideal:** es la temperatura normal para el proceso de termoformado, la cual debe aplicarse de manera uniforme en toda la lámina para obtener los resultados esperados.
- **Temperatura máxima de operación:** la temperatura a la cual el material pierde sus propiedades físicas es su temperatura máxima de operación. Cuando el material alcanza su temperatura máxima comienza a presentar problemas estructurales y/o estéticos tales como pérdida de brillo, blanqueamiento, fisuras, entre otros.

Polímero	Resistencia del fundido	Estabilidad térmica	Temperatura de operación °C
☐ ABS	E	E	160-200
ABS/PVC	B	B	160-200
Acrílicas	B	B	150-195
ASA	B	R/B	165-195
PC	R	B	195-235
PC/ABS	B	B	180-220
☐ PET	E	B	145-175
LDPE	M/R	E	160-180
HMW-HDPE	R/B	E	160-205
☐ HIPS	E	E	165-200
PPO/PS	E	B	170-205
☐ UPVC	R	R	145-180
PVC/Acrílicas	R/B	R/B	165-195
PP homopol.	M	B	170-185
PP copolím.	R	B	165-190
☐ PS	B	B	145-180
PSU	R	E	205-250
PES	R	E	275-370
PEI	R	E	450-500
TPU	B	B	160-185

Tabla 3. Rangos de temperatura para diferentes materiales.

Aunque se tienen bien definidos los rangos de temperatura para los cuales el ciclo de operación de determinado material es adecuado, es difícil saber exactamente el valor de la temperatura al que encuentra la lámina justo en el momento de ser moldeada (con sistemas económicos). Aunque actualmente existen sistemas para medir la temperatura de forma bastante exacta, el método que más se utiliza es medir la curvatura que se produce en el material a medida que es sometido a un calentamiento; así se puede determinar el momento en el cual se debe moldear la pieza para su optimización. Para la implementación se utilizan celdas fotoeléctricas ubicadas adecuadamente que calculan el grado de pandeo de la lámina.

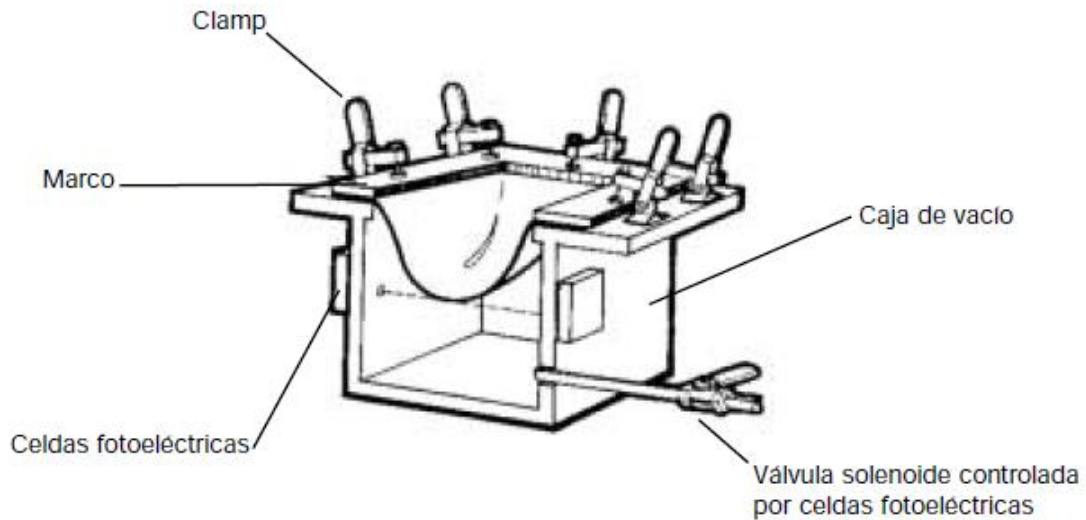


Figura 1. Implementación con celdas fotoeléctricas.

Este sistema es bueno pero no es aplicable a todos los tipos de materiales de la industria, debido a que muchas veces se presentan compuestos que no reaccionan linealmente al calor, tienen variaciones en su espesor o son afectados por cambios de temperatura de forma diferente.

5.10 Sistema de Vacío

El sistema de vacío es el más antiguo desde los inicios del termoformado y fue originalmente llamado “formado al vacío”. El principio básico de funcionamiento es generar succión o vacío a una lámina previamente reblandecida con calor, logrando que la presión atmosférica natural actúe forzando la lámina a ocupar los espacios hacia el molde. Para esto se debe tener un sistema totalmente sellado que permita extraer el aire desde el interior hacia el exterior (vacío) sin tener inconvenientes de escapes de aire o material.

El vacío es ampliamente utilizado debido a su bajo costo, fácil implementación, rápida instalación y adecuado mantenimiento. Además, presenta bondades cuando se trabaja con materiales de poco espesor, para producir piezas de pequeño tamaño, tal y como se necesita en la mayor parte de la industria.

5.10.1 Equipos de vacío

Los equipos de vacío constan esencialmente de dos partes: la primera parte es una bomba de vacío que puede ser de diferentes tipos dependiendo de la necesidad, por ejemplo existen bombas de pistón recíprocante, de diafragma, de paletas, de rotor excéntrico, entre otros. Todos estos tipos de bombas de vacío generan niveles de vacío bastante buenos, pero son incapaces de extraer grandes cantidades de aire a alta velocidad. Debido a esto es necesario el segundo componente del equipo, un tanque de vacío, el cual es el encargado de acumular vacío para ser utilizado en el proceso del termoformado.

Un adecuado sistema de vacío requiere de una bomba capaz de desplazar de 710 a 735 mm. de Hg. (28 a 29 Pulg. Hg o de 0.5 a 1 Psi absoluto) en el tanque de almacenamiento previo al ciclo de formado. Además de lo anterior, se debe contar con una correcta instalación de tuberías, las cuales deben ser lo más cortas posibles así como estar perfectamente selladas para evitar fugas de aire que deterioren la presión sobre la lámina a la hora de efectuar el proceso.

Con relación al tanque de vacío, se deben tener especificaciones adecuadas para proporcionar un buen almacenamiento en el proceso, el tanque debe tener como mínimo un volumen tres veces mayor al volumen compuesto por el molde, las tuberías y la caja de vacío. En el proceso de succión, es fundamental ubicar el tanque de vacío cerca del molde de conformado, esto ayuda a realizar una evacuación rápida generando una buena presión que dará forma de manera exitosa a la pieza requerida. También es necesario que las tuberías sean amplias y no posean curvas de 90°, tampoco se deben tener cambios en el diámetro de la tubería la cual debe ser mayor a 1 pulgada para mejorar su rendimiento.

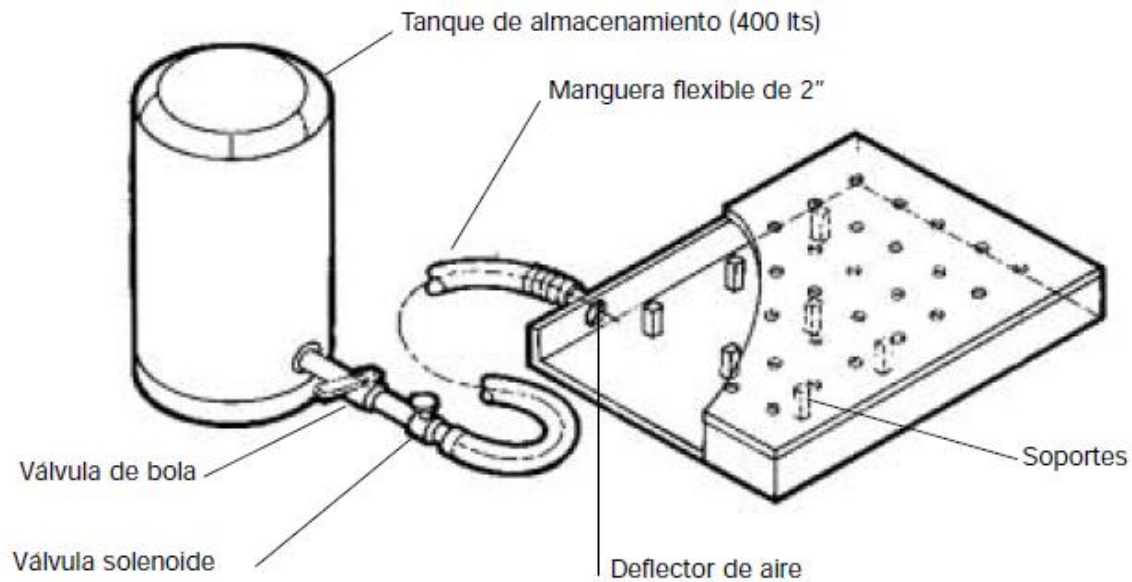


Figura 2. Sistema de vacío.

5.10.2 Aplicación de las fuerzas de vacío

Las bombas de vacío operan regularmente para mantener una presión constante en el tanque de almacenamiento, lo cual permite disponer del proceso en cualquier instante. La aplicación de la fuerza se debe hacer por un periodo prolongado debido a que la pieza además de tomar forma sobre el molde, debe permanecer bajo presión durante un tiempo específico para que el material se enfríe y quede con su nueva forma.

5.11 Enfriamiento de piezas termoformadas

En el proceso de termoformado, el enfriamiento de la pieza es igual de importante que el calentamiento; Cuando la pieza terminada se enfría, se da fin al proceso de termoformado y es ahí en donde se pueden presentar fracturas o rasgos en el material debido a la mala interpretación de este ciclo. El enfriado en muchos casos debe hacerse de manera natural, permitiendo que el material conserve su forma. Por cuestiones de tiempo, es usual utilizar sistemas de enfriamiento que aceleran el proceso, pero se debe tener cuidado en retirar la pieza del molde cuando ésta no sigue lo suficientemente caliente como para deformarse o lo suficientemente fría para pegarse al molde y forzar su salida.

5.11.1 Métodos convencionales de enfriamiento

La conductividad térmica de los plásticos es baja, lo cual lleva a que láminas de 2 mm de espesor en adelante demanden largos periodos de enfriamiento. La técnica más utilizada son los ventiladores eléctricos tradicionales que se convierten en una muy buena opción a la hora de implementar este ciclo dentro del proceso. Con estos ventiladores se logra un enfriamiento necesario para que la pieza sea retirada del molde, pero tiene fallas cuando el proceso es rápido y la corriente de aire que se produce no es suficiente para enfriar el molde, lo cual puede traer problemas porque modifica la temperatura deseada de conformado.

Otra técnica usada que corrige los problemas anteriormente mencionados son los moldes de metal con sistema de circulación de agua. Se pueden implementar moldes con conductos internos para la circulación de agua, que al momento de ser activados, enfrían el molde, lo que a su vez enfría la pieza logrando una temperatura deseada.

5.11.2 Métodos no convencionales de enfriamiento

Existen métodos poco utilizados tales como rociar la pieza y el molde con spray o cortina muy fina de agua de-ionizada o dióxido de carbono líquido, lo cual baja la temperatura rápidamente. Estos métodos son bastante costosos y son utilizados en casos especiales donde la pieza tiene áreas críticas que necesitan un enfriamiento rápido y adecuado.

5.12 Corte de piezas terminadas

Como último paso en el proceso de termoformado, se debe separar la pieza terminada de los sobrantes de la lámina para poder obtener un producto libre. Esto se realiza mediante un corte eliminando los excesos de material. En la mayoría de los procesos es necesario realizar este paso a excepción de productos publicitarios o similares.

En la actualidad existen diferentes sistemas de corte que van desde la utilización de sierras eléctricas hasta sistemas con laser automáticos pasando por inyección de agua o aire a grandes presiones. Lo más importante es saber que debido a la característica del proceso de termoformado, es necesario tener un sistema para realizar cortes finos sobre la pieza terminada con el fin de obtener un producto listo.

5.13 PET (Polietilén Tereftalato o Politereftalato de etileno)

A continuación se presentara información relacionada con uno de los polímeros más utilizados en la industria por sus muchas propiedades que se adaptan a los requisitos del mercado. Además, el PET es el polímero utilizado en sus varios calibres y colores por la máquina termoformadora que se desea automatizar en este proyecto.

El PET o como científicamente se le conoce, Polietilén Tereftalato, tuvo sus inicios de la mano de J. R. Whinfield, J. T. Dickson, W. K. Birtwhistle, C. G. Ritchiey, DuPont y la Industria Química Imperial (ICI), quienes durante muchos años experimentaron con varias presentaciones de este polímero, llevándolo a la industria donde se convertiría en un material absolutamente necesario en la elaboración de productos muy consumidos. A través de todos estos años, el PET se ha consolidado como uno de los materiales más apetecidos por sus grandes propiedades, bajo costo y fácil manipulación de mercadeo.

6. PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN

Durante la primera parte de este libro se analizaron los diferentes componentes de una termoformadora industrial general y su funcionamiento básico en la industria del termoformado. Con la información adquirida se puede comprender de manera general el proceso y sus componentes, brindando una información clara para el posterior manejo de una implementación real.

De acuerdo con los objetivos de este proyecto se presenta una propuesta de automatización basada en los diferentes procesos a controlar y eligiendo el mejor método e instrumentación para su implementación final.

La propuesta final de automatización se realiza luego de un análisis tanto individual como colectivo de los sistemas e instrumentos adecuados para el proceso según sus características. La implementación final se realizó teniendo en cuenta estos componentes para garantizar un buen desempeño a nivel industrial.

6.1 Planteamiento del problema

El problema planteado para la necesidad de una automatización en la máquina termoformadora industrial se basa en varios puntos:

- No permite monitorear ni controlar variables del proceso tales como ciclos de trabajo y temperatura del horno.
- No brinda facilidad de maniobra para los operarios de la máquina.
- No genera alarmas adecuadas que permitan acciones oportunas de corrección.
- No permite llevar un registro de históricos.
- Provoca un desgaste físico para el operario de la máquina.
- No ofrece una interfaz de monitoreo con conexión en la red para el seguimiento de la producción.

Partiendo de lo anterior, se realizó un análisis sobre los recursos mecánicos y eléctricos que disponía la máquina termoformadora para así determinar cuáles de ellos se conservarían o en su defecto poder ser reemplazados; así mismo, partes que se adicionarán en el diseño de automatización final.

Es muy importante detallar los recursos que deben ser modificados o requieren un reemplazo para adaptarlos al proceso de automatización:

6.1.1 Recursos Mecánicos

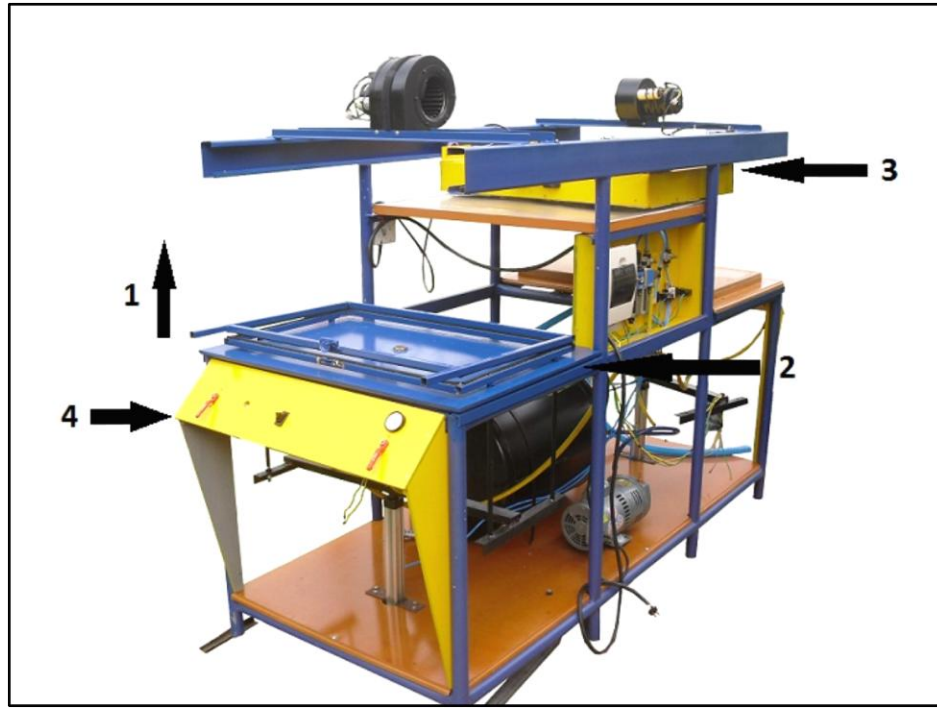


Figura 3. Termoformadora industrial inicial.

Antes de comenzar con la propuesta de automatización es necesario describir todos y cada uno de los componentes de la máquina termoformadora industrial para poder analizar el proceso y aplicar ingeniería de manera adecuada.

Luego de una investigación tanto en los procesos de la industria así como en los conceptos teóricos del termoformado, se deben puntualizar los problemas de funcionamiento que presenta la máquina y que pueden ser mejorados mediante una implementación de ingeniería para incrementar todos los parámetros de producción y relación costo-beneficio.

De acuerdo con la *figura 3* podemos observar que el control de la máquina está basado en un sistema de accionamientos manuales (pulsadores) por medio de los cuales se realizan todos los movimientos horizontales y verticales del proceso, así como también el encendido y apagado de los sistemas de vacío y refrigeración. Todos y cada uno de los componentes de la termoformadora industrial cumplen un rol importante y deben ser explicados de una forma clara y sencilla.

- 1) El movimiento vertical del PET (materia prima) está controlado por un accionamiento neumático a través de un botón manual. El sistema eleva el PET hasta alcanzar el nivel del horno para su respectivo calentamiento y luego desciende sobre el molde para dar su forma final. Una de las deficiencias de este sistema es que es el PET el que debe entrar en el molde y eso no permite el desmolde correcto y automático en el proceso.

- 2) La base del molde se encuentra fija en la estructura general de la máquina, lo cual impide un desmolde adecuado del producto.
- 3) El PET debe ser colocado en láminas del tamaño deseado y agarrado con un sistema de presión mediante un marco que se desplaza en forma de arco para presionar el PET contra un borde de caucho que sella la lámina y permite la adecuada succión por parte del sistema de vacío. Lo anterior trae una serie de demoras y problemas en el proceso porque debido a que el material es recibido en rollos de 50 kilogramos de peso y no en láminas como lo requiere la máquina, debe hacerse un proceso previo de corte que incrementa altamente (aproximadamente 30 segundos por ciclo) los tiempos de producción. Sin embargo el tiempo de producción no es el mayor inconveniente, el problema radica en el esfuerzo físico que el operario realiza para cortar el material y posteriormente ubicarlo para su ciclo de termoformado.
- 4) El horno de la máquina se encuentra situado sobre dos rieles que soportan el movimiento del bloque. Este movimiento se hace manualmente dificultando la operación y generando un cansancio para el operario.
- 5) Todo el control está basado en mandos manuales (botones), los cuales son directamente controlados por el operario aunque su accionar sea repetitivo y secuencial.

Es importante destacar que el principal objetivo de la automatización es liberar al operario de una función agotadora y repetitiva que puede ser reemplazada por un control secuencial que realice las operaciones por él. La máquina inicial necesita de un esfuerzo físico que puede ser utilizado para realizar otras labores que aumenten la productividad de la empresa y mejoren las condiciones laborales de los trabajadores.

6.1.2 Recursos eléctricos

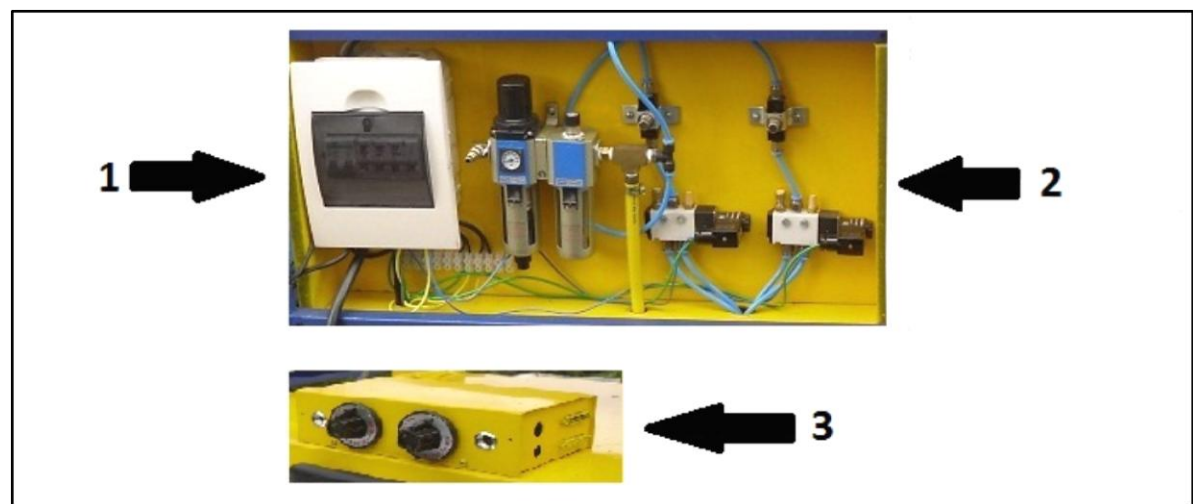


Figura 4. Panel del control de la termoformadora inicial.

- 1) La máquina cuenta con un panel central con interruptores para controlar la alimentación de los diferentes elementos de consumo. El compresor de aire, la bomba de vacío y el sistema de resistencias se encuentran asociados a este panel. El consumo total de la máquina se realiza con una fuente de alimentación bifásica con 110 V en cada fase que se toman directamente de la fuente de alimentación de la empresa. La distribución en el consumo es independiente en cada fase debido a que la bomba de vacío y el compresor de aire utilizan solamente 110V y el total de la energía (220 V) es utilizado para alimentar el horno con las resistencias para calor.
- 2) Se poseen dos electro-válvulas que permiten el control de cada uno de los accionamientos neumáticos. Además de lo anterior, se cuenta con una unidad de mantenimiento necesaria para el buen desempeño del sistema neumático, controlando la calidad de aire que pasa constantemente a los accionamientos. Esta unidad de mantenimiento es indispensable debido a que certifica el buen funcionamiento de los accionamientos neumáticos y alarga su vida de operación (aproximadamente un millón de ciclos), se debe realizar un chequeo periódico del nivel de aceite en la unidad de mantenimiento.
- 3) El horno posee un sistema propio de regulación de temperatura basado en un dispositivo acoplado con termostatos que regulan eficazmente el nivel de calor deseado. El sistema de control de temperatura es sencillo pero trabaja adecuadamente debido a su precisión y a que el rango de operación lo permite.

Luego de la descripción de los componentes actuales de la termoformadora, se describe el ciclo completo que realiza el operario para obtener el producto moldeado. Se aclara que este diagrama de flujo parte del hecho que la lámina ya esta previamente cortada al tamaño deseado y que los moldes están ubicados correctamente en el lugar que corresponde.

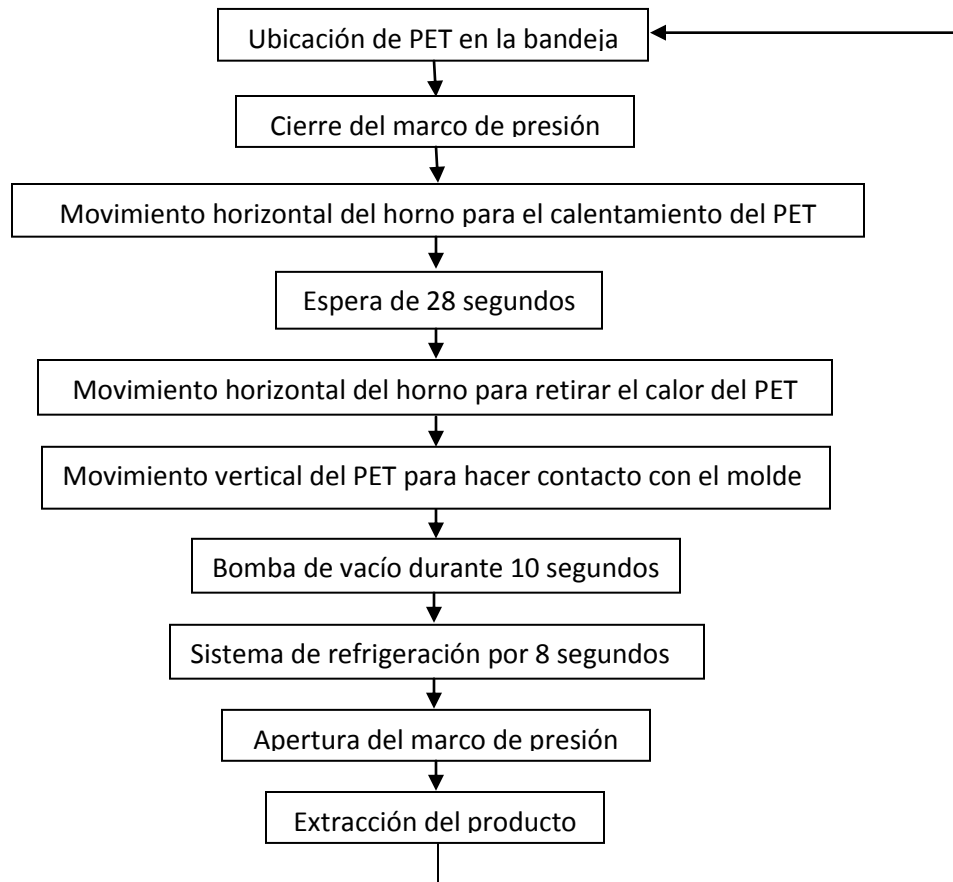


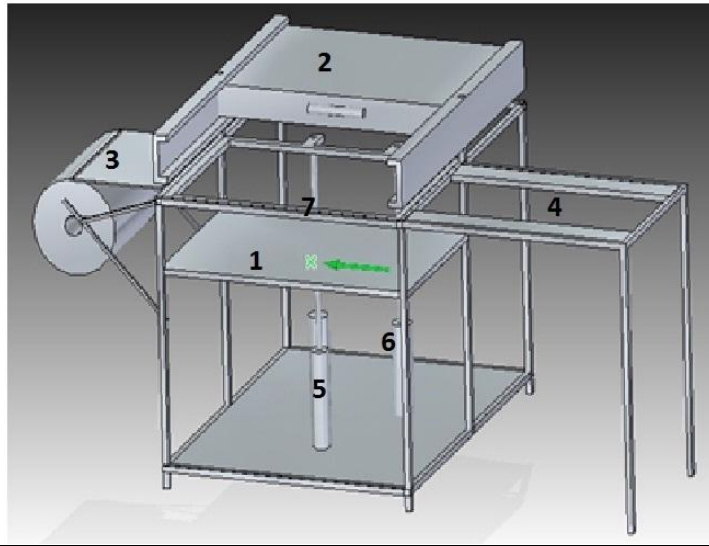
Diagrama 1. Ciclo completo del proceso manual.

6.2 Propuesta

Esta sección describe la implementación de la automatización que se realizó en la máquina termoformadora industrial para mejorar todos aquellos procesos mencionados anteriormente y que son el objetivo de este desarrollo de ingeniería.

Durante la investigación sobre las posibles soluciones a la automatización del proceso de una termoformadora industrial, se analizaron distintos diseños que han sido implementados en sistemas similares y luego de la recopilación de información se decidió realizar una serie de modificaciones mecánicas para adecuar el proceso. A continuación se hace una descripción de las modificaciones propuestas y luego se muestra una imagen del diseño final para facilitar su comprensión.

6.2.1 Estructura física



1	Bandeja porta moldes
2	Horno
3	Materia prima (PET)
4	Zona de evacuación
5	Accionamiento neumático para el molde
6	Accionamiento neumático para el marco de presión
7	Marco de presión al nivel de referencia

Tabla 4. Descripción estructura física

Figura 5. Esquema en 3D de la estructura física.

- Se debe diseñar un marco de presión para sujetar el material y así garantizar su estabilidad en el proceso de succión.
- El rollo de PET debe ser ubicado a un lado de la máquina alineado al marco de presión. Para lograr esto, se debe construir una estructura que soporte su peso (60 kg aproximadamente) y que además permita una suave rotación sobre su propio eje.
- Al horno ubicado en la parte superior de la máquina, con el cual se lleva el material a la temperatura de moldeo, se le debe acoplar un motor reversible para poder controlar su desplazamiento horizontal.
- Cambiar el sistema de movilidad del molde logrando que tenga un desplazamiento vertical por debajo de la altura de referencia de la máquina para hacer móvil el molde mediante un accionamiento neumático para que el PET (material), se mantenga sobre una misma línea sin cambiar su posición debido a que esto facilita su alimentación.
- La máquina debe poseer un modo de operación manual para suplir su funcionamiento en caso de ser necesario y debe estar ubicado en una zona de fácil acceso para un operario. Este modo también será utilizado para establecer los parámetros de operación del sistema al inicio de cada proceso productivo.
- En la máquina debe ser adecuado un espacio protegido y de fácil acceso para ubicar todos y cada uno de los elementos que componen la automatización; entre ellos se encuentra principalmente el controlador programable (PLC) y sus componentes externos.
- Se debe implementar una plataforma la cual será la encargada de capturar los datos requeridos para el monitoreo del proceso de producción. Dicha plataforma debe estar soportada sobre una unidad de procesamiento y almacenamiento (CPU).
- El consumo eléctrico de la máquina será alimentado por un sistema bifásico a 220V a través de una estructura de protección y distribución hacia los diferentes componentes.

- Debe ser ubicada una estructura física que soporte el producto termoformado final para su almacenamiento y posterior uso.

6.2.2 Elementos

- Debido a que la automatización de la máquina está directamente relacionada con los movimientos horizontales y verticales de los componentes, se requiere de sensores que indiquen el inicio y final de dichos movimientos. Luego de la investigación y lógica general, se propone utilizar sensores de contacto (switch) colocados en lugares adecuados para poder utilizar de manera práctica la información del movimiento. Esta elección se hace basada en su bajo costo, adecuado desempeño y fácil implementación.
- El horno maneja una temperatura que oscila entre 150 y 250 grados Celsius; para la correcta lectura de esta variable, se elige utilizar una termocupla tipo J debido a sus características de operación y bajo costo.
- El control del movimiento vertical de la plataforma que soporta el molde y el movimiento de apertura y cierre del marco de presión se utilizan accionamientos neumáticos que garanticen un movimiento estable, continuo y lo suficientemente fuerte para el correcto funcionamiento. El primer accionamiento (40 cm de longitud) es Mindman MCQI-11-50-300M de 50mm con un parámetro de 9.9kgf/cm^2 dando como resultado una fuerza equivalente aproximadamente a 200 Kg; el segundo accionamiento (30 cm de longitud) es AIRTAC MAL40X150-S de 40mm con un parámetro de 9.9kgf/cm^2 dando como resultado una fuerza equivalente aproximadamente a 140 Kg.
- Para el control de los accionamientos neumáticos se utilizará un conjunto de válvulas solenoides Mindman MVSC -220-4E1 que controlarán el movimiento vertical del sistema. Estas válvulas cumplen con los requerimientos de operación necesarios y son de uso común en el mercado local.
- Es necesario incluir una unidad de mantenimiento que maneje el aire que ingresa al accionamiento neumático para conservarlo y mejorar su rendimiento. Se escogió una unidad de mantenimiento Mindman MACP300-8 que cumple con las funciones de regulamiento de presión, deshumidificación y lubricación del aire. Esta unidad hace parte de la gama de componentes comúnmente utilizados en este tipo de procesos.
- Luego de investigar y analizar las diferentes características de los controladores programables disponibles para una implementación de este tipo, y de valorar su relación costo-beneficio se tiene como decisión final utilizar el PLC Koyo DL 06.
- Además de lo anterior se utilizaran una serie de relees comunes para facilitar el manejo de las salidas del controlador programable los cuales son alimentados con una fuente de poder de 12 V a 25A.
- Para poder realizar un proceso de termoformado es necesario contar con sistemas de vacío y aire comprimido; por esta razón se elige trabajar con un compresor Discover de 120 PSI trabajando a 110 V, con una capacidad de almacenamiento de 6.3 CFM (pies cúbicos) y una bomba de vacío DOERR de $\frac{1}{2}$ HP que produce a nivel del mar un vacío de 0.9 BAR. Estos dos elementos cumplen con las características necesarias de

funcionamiento y son utilizados debido a que ya se encontraban a disposición en la máquina termoformadora industrial inicial. Se debe aclarar que estos valores son requisitos mínimos para garantizar el proceso pero es posible utilizar otro tipo de elementos con iguales parámetros o superiores.

- Para poder operar electrónicamente el sistema de vacío se debe implementar una válvula eléctrica que cambie de estado con una orden desde el controlador programable (PLC). Luego de buscar en el mercado local y de analizar las características de funcionamiento se sugiere utilizar una válvula RFS SB-116-2015-14 a 110V. Esta válvula maneja una presión de 0 a 10 BAR con un orificio de 14mm.
- Debido a las condiciones del sistema de succión, se debe proporcionar un cilindro de respaldo de vacío, el cual será el encargado de mantener un volumen de vacío al menos igual al calculado para el moldeo del producto. Este cilindro debe ser preferiblemente liviano y con un volumen total de 31906.875 cm^3 .
- En el proceso de termoformado la parte más importante es la elevación de la temperatura del PET, para lo cual se utilizará un horno de área 0.43m^2 conformado por un conjunto de cuatro (4) resistencias comunes de 1500 W cada una distribuidas para lograr fácilmente una temperatura de aproximadamente 250°C . Esta configuración del horno cumple con los requerimientos de tamaño, temperatura del proceso y resulta económico a comparación de otras formas como sistema de gas o cristales de cuarzo.
- Para el sistema de refrigeración debe ser implementado un ventilador que cree una corriente de aire hacia el producto que ayude a su enfriamiento antes del desmolde. Para este fin se utilizó un ventilador marca ETRI modelo 148VK a 220V con el cual se suple la necesidad de refrigeración de manera adecuada. Se debe resaltar que este ventilador se escoge por su bajo costo y fácil adquisición, pero en general para este fin se puede utilizar una amplia gama de ventiladores.
- El movimiento horizontal del horno debe ser controlado por un sistema que proporcione velocidad y confiabilidad. Para este fin se utiliza un moto-reductor reducible de 12V acoplado a una rueda para su desplazamiento sobre el riel de la estructura. El moto-reductor reversible fue escogido debido a su bajo costo y su versatilidad de implementación.
- Para un mejor desempeño en el desmolde del producto luego de terminar el proceso de termoformado es necesario inyectar una pequeña cantidad de aire instantes antes de que el molde sea separado del producto, esto garantiza suavidad en el proceso y ayuda a reducir al mínimo los errores en el desmolde. Utilizando el compresor instalado para el movimiento de los accionamientos neumáticos se puede también ubicar una válvula de aire que abra o cierre el paso hacia el producto dependiendo de la necesidad. Esta válvula es una RFS SB116-2010B a 110V, soportando presiones de 0.3 a 10 BAR a través de un orificio de 10mm; se elige esta válvula debido a su uso común en el mercado local y sus adecuadas características.
- El control de la temperatura del horno debe ser realizada de manera sencilla dado que no es necesario un control avanzado del sistema. Esta regulación de la temperatura se

propone utilizando un termostato de bajo costo y facilidad en el mercado; el elemento utilizado es un termostato COTHERM a 220V.

Es importante resaltar que los elementos descritos anteriormente fueron seleccionados por su bajo costo dentro de su gama de opciones y por ser ampliamente utilizados en la industria local, facilitando así su comprensión, instalación y mantenimiento.

Por otro lado, aunque la temperatura del proceso debe ser controlada en un rango pequeño de operación, no se considera necesario la implementación de un control PID que regule dicha temperatura debido a que el proceso de termoformado que se lleva a cabo en esta máquina presenta un amplio rango que puede ser controlado fácilmente con el termostato. Además de lo anterior, un control PID para la temperatura a través de resistencias eléctricas es un proceso demasiado lento para ser implementado dado la velocidad de ejecución de los ciclos de la máquina; más importante que un control PID es el cálculo correcto del tiempo durante el cual el PET está expuesto al calor del horno para así lograr un punto adecuado de moldeo.

Después de conocer la propuesta de automatización de la máquina termoformadora industrial donde se realiza una descripción de los diferentes cambios y elementos a utilizar, se genera un resumen de los dispositivos y su respectivo uso.

<u>ELEMENTO</u>	<u>MARCA</u>	<u>MODELO</u>	<u>CANTIDAD</u>
Moto-reductor reversible	--O--	--O--	1
Sensores de contacto	Sassin	V-156-1C25	6
Termocupla	E.B.C	J	1
Accionamiento Molde	Mindman	MCQI-11-50-300M	1
Accionamiento Marco	AIRTAC	MAL40X150-S	1
Válvula Solenoide	Mindman	MVSC-220-4E1	2
Válvula de Vacío	RFS	SB116-2015-14	1
Válvula de Aire	RFS	SB116-2010B	1
Unidad de Mantenimiento	Mindman	MACP300-8A	1
Controlador Programable	Koyo	DL 06	1
Fuente de Poder	ATX	550W	1
Compresor	Discover	--O--	1
Bomba de Vacío	DOERR	D18DX	1
Ventilador	ETRI	148 VK	1
Termostato	Cothem	GTLH0204	1
Resistencias	--O--	--O--	4
Cilindro de Respaldo	--O--	--O--	1
Reles	HELLA	--O--	7

Tabla 5. Descripción de los elementos y la cantidad utilizada.

6.2.3 Protocolo de cuantificación de la eficiencia

Uno de los pasos importantes en el proyecto denominado “Automatización de una termoformadora industrial” es la cuantificación de la eficiencia antes de iniciar el proceso de automatización en donde se espera mejorar estos resultados.

Dentro de la eficiencia del proceso industrial se incluyen variables propias de la máquina termoformadora, así como algunas externas que complementan el resultado general. A continuación se le dará forma al protocolo para cálculo de eficiencia describiendo la forma en que se medirán las variables. Estas variables son:

- Consumo de energía
- Cantidad de producción por hora
- Nivel de riesgo profesional
- Costos de mantenimiento y repuestos
- Desperdicio de material

6.2.3.1 Consumo de energía

Se busca calcular la energía total consumida por la máquina termoformadora utilizando instrumentos adecuados para la medición de consumo de potencia. La termoformadora consta básicamente del horno con cuatro (4) resistencias comunes, un compresor de 120 PSI marca Discover y una bomba de vacío de 0.9 BAR marca DOERR.

Además de los elementos mencionados, la máquina no posee ningún componente que consuma potencia, los accionamientos neumáticos son controlados directamente por el sistema de aire. Para realizar una medida correcta, se tomarán datos durante diferentes ciclos de operación con la máquina en funcionamiento tiempo completo.

Para lograr esto, se dispone de dos instrumentos de medición monofásicos Holley DDSD 285 suministrados por la Universidad del Valle. Mediante la herramienta Eclipse de Java, se implementará un código para la extracción de los datos del instrumento Holley, el cual será utilizado para medir de manera continua el consumo, voltaje y corriente de la termoformadora industrial antes y después de su modificación. Los datos serán tomados con un intervalo de 20 segundos durante varios ciclos de producción. Al finalizar la toma de datos del sistema se realizará una tabulación para obtener las respectivas gráficas que determinen el consumo de las variables ya mencionadas.

Es importante tener en cuenta que luego de la automatización se incluirán algunos elementos de consumo para alimentar los nuevos dispositivos como PLC y unidad de procesamiento.

6.2.3.2 Cantidad de producción por hora

En un sistema industrial de producción, lo más importante es la relación producto-tiempo. El precio del producto se rige por tres ítems básicos: valor materia prima, valor de ganancia y valor

de producción, siendo este último el costo que se puede reducir ampliamente con los métodos de automatización. En un proceso industrial, entre mas unidades se producen en el mismo tiempo se logra que los costos de fabricación bajen aumentando las ganancias.

Para este caso se efectuará la medida de la producción por hora trabajada de la termoformadora, esto se realizara en toma distribuida a lo largo una (1) semana para posteriormente sacar un valor promedio el cual proporcionara la relación de eficiencia. Como la máquina se encuentra en una empresa que trabaja sobre pedido, las condiciones se fijaran dependiendo del pedido del momento. Para lo anterior se generarán unas tablas en donde se apuntaran los datos obtenidos.

6.2.3.3 Nivel de riesgo profesional

El ministerio de protección social de la República de Colombia tiene perfectamente definidos tanto la definición de “riesgo profesional” así como sus niveles dependiendo de los procesos en los cuales el trabajador se ve involucrado. Para cuantificar de alguna manera el nivel de riesgo profesional se debe realizar un estudio que permita saber los distintos riesgos que presenta un operario a la hora de manipular la máquina termoformadora industrial. Luego de esto, se puede clasificar esta labor dentro de los niveles suscritos por el ministerio de protección social como la ley lo exige. Al final del proyecto y debido a que la automatización industrial aleja al operario de funciones de riesgo, se deben mejorar los niveles, brindando mayor seguridad para el personal.

6.2.3.4 Costo de mantenimiento y repuestos

Dentro de cualquier proceso industrial se debe tener muy bien calculado el costo de mantenimiento y repuestos de la maquinaria empleada. Para este caso, la máquina termoformadora debe ser revisada cada cierto tiempo para garantizar que el proceso se efectúa de manera correcta sin ningún tipo de complicaciones. La máquina consta de 4 resistencias de 1500 W cada una las cuales están fabricadas para 1000 horas de trabajo a máximo calor, un par de accionamientos neumáticos que están diseñados para 1000000 ciclos de trabajo y por parte del compresor y la bomba de vacío se deben calcular zonas de desgaste y mantenimiento particular.

Con la información anterior se debe calcular un valor que indique cuantas unidades de producción se pueden obtener antes de tener que realizar mantenimiento o cambio de partes, lo cual determinara el costo y tiempo de vida de la máquina termoformadora industrial. Con la automatización se pretende bajar considerablemente estos niveles debido a la utilización más adecuada de los recursos disponibles.

6.2.3.5 Desperdicio de material

Actualmente, debido a las características de la máquina y a los productos requeridos, se tiene un porcentaje de desperdicio de material que debe ser calculado dependiendo de los moldes utilizados en el proceso. Este desperdicio será calculado de manera sencilla midiendo el porcentaje de material desperdiciado con relación a la lámina completa que entra al ciclo de termoformado. Además de lo anterior, se debe calcular el porcentaje de unidades con defectos que se producen durante una producción determinada; estos defectos pueden estar dados por

problemas en el ciclo de la máquina, deficiencia en la calidad del material o errores humanos del operario ya sea por desconocimiento o cansancio.

Resumiendo lo descrito anteriormente, todas las pautas son importantes dentro de la eficiencia del proceso de termoformado industrial, lo cual demuestra que entre más se logre mejorar estas condiciones, la automatización habrá podido beneficiar el sistema de manera adecuada. El protocolo de cuantificación de la eficiencia que pretende otorgar valores numéricos de cada parte de la producción para su posterior comparación es presentado en el diagrama de flujo 2:

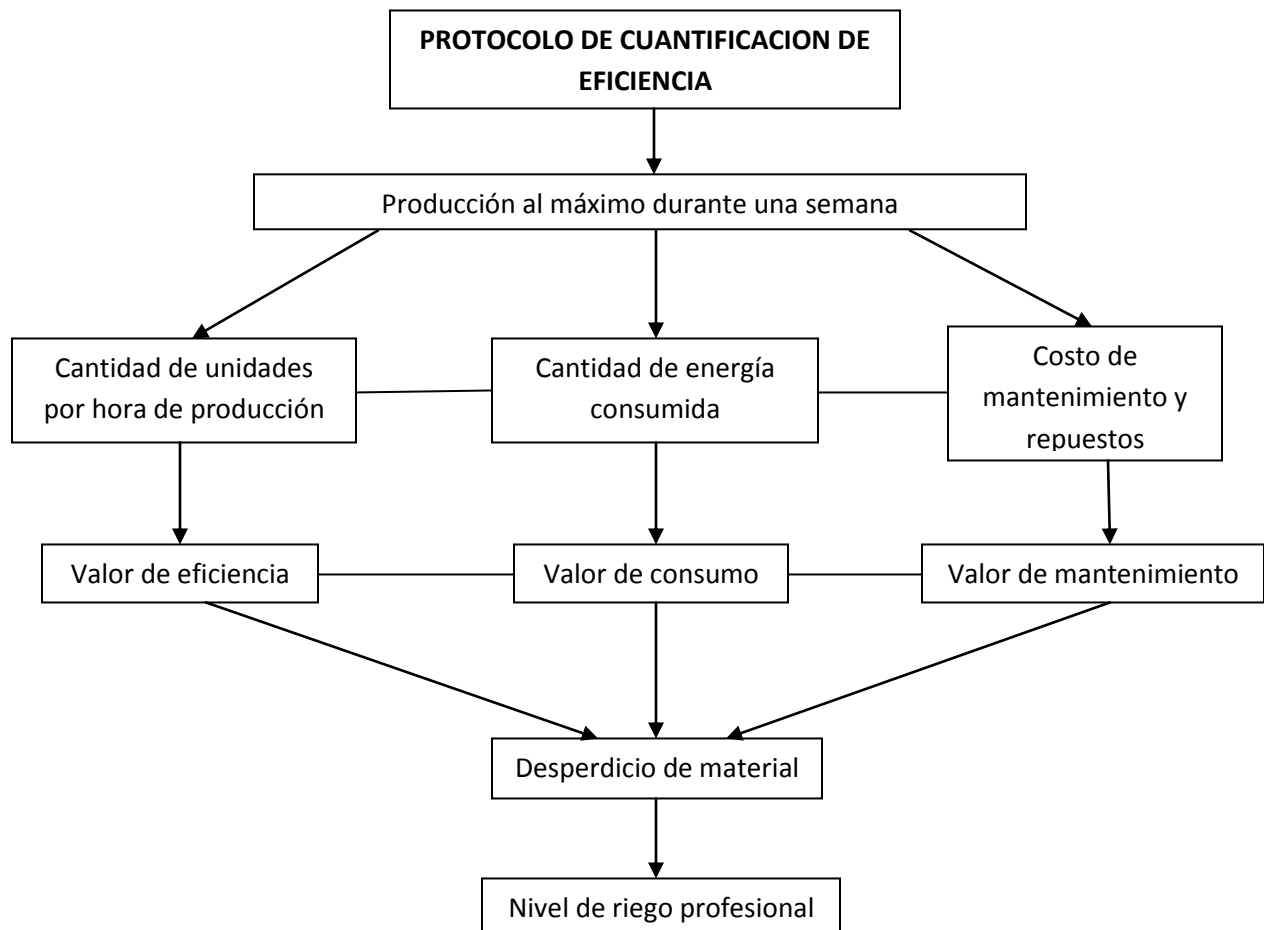


Diagrama 2. Protocolo de cálculo de la eficiencia en el proceso de termoformado.

7. IMPLEMENTACION DE LA PROPUESTA

Después de realizar la propuesta de automatización y de elegir los elementos que se van a utilizar se procede a detallar el proceso de implementación realizado en la máquina termoformadora y que es el objetivo de este proyecto.

Como primer paso de la implementación se debe aplicar el protocolo de cuantificación de la eficiencia para obtener los datos iniciales del proceso, los cuales se espera sean mejorados posteriormente cuando se termine la automatización propuesta. Estos datos serán clasificados y analizados para luego comparar el rendimiento en los aspectos mencionados en el protocolo.

7.1 Implementación y resultados del protocolo de cuantificación de la eficiencia

7.1.1 Consumo de energía

Para este punto se utilizó el dispositivo de medición Holley DDS285; este dispositivo cuenta con una comunicación serial para poder acceder a la información almacenada en su memoria con relación a los valores en la toma de datos. Dado que la extracción de los valores no está definida de manera inmediata por el instrumento, se realizó un circuito y una programación específica para este tipo de operación.

7.1.1.1 Código en Java para la extracción de los datos del instrumento de medición Holley DDS285

Actualmente, la industria tiende a utilizar lenguajes de programación muy utilizados en el medio tal y como lo es el lenguaje JAVA. Los instrumentos Holley DDS285 son para medición monofásica de consumo en máquinas industriales, los cuales brindan valores completos de voltaje, corriente, consumo en tiempo real y consumo acumulado. Estos instrumentos no cuentan con una interfaz de acceso a la memoria interna por lo cual fue necesario implementar una manera de obtener los valores.

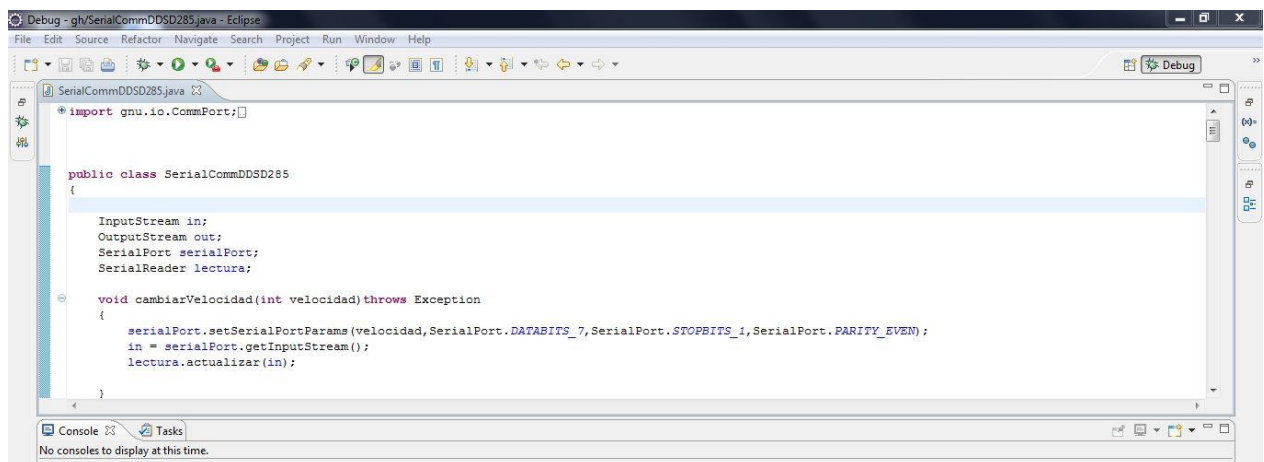


Figura 6. Entorno ECLIPSE JAVA

Se implementó un código para la comunicación RX TX utilizando la herramienta computacional ECLIPSE, la cual permite comunicación por el puerto serie del ordenador para obtener los datos del instrumento en cuestión. Por otro lado, para complementar el código de extracción fue necesario implementar un conversor que hiciera compatible la comunicación entre el dispositivo y el ordenador. En los anexos de este documento se presenta el código completo implementado en lenguaje JAVA.

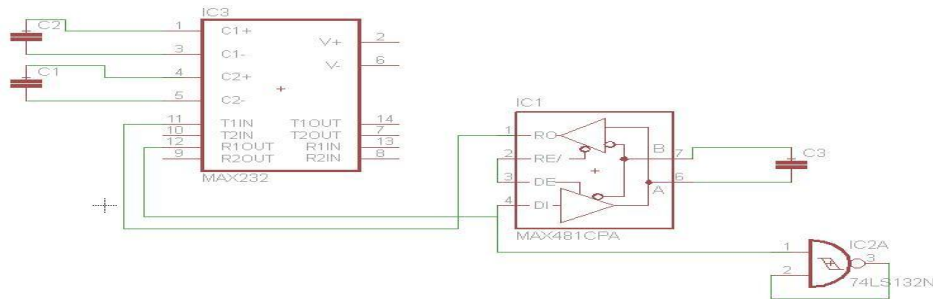


Figura 7. Esquemático circuito conversor

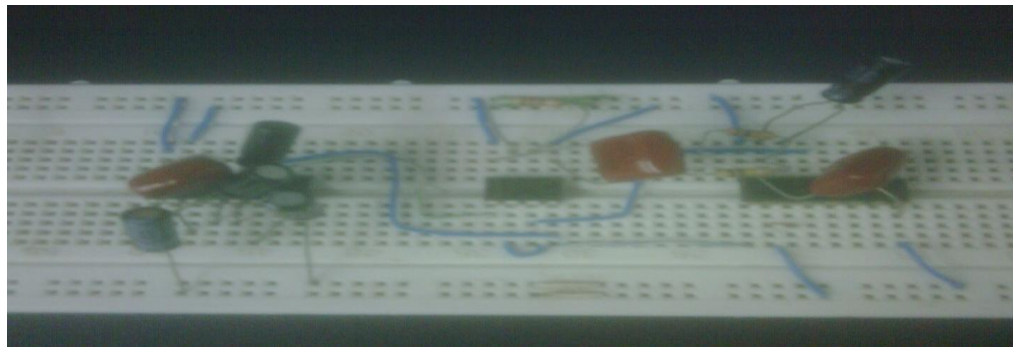


Figura 8. Implementación circuito conversor

7.1.1.2 Resultados de cuantificación del consumo

Luego de implementar y probar la programación anterior, se procede a medir el consumo, voltaje y corriente de la termoformadora industrial antes de su modificación. Los datos fueron tomados con un intervalo de 20 segundos durante varios ciclos (100) de producción.

La termoformadora industrial opera a 220 V a través de dos fases de 110 V y un neutro. La toma de datos se realizó de manera simultánea con dos instrumentos monofásicos Holley DDS 285, uno en cada fase. Las figuras 9-17 muestran el resultado de la tabulación en cada una de las fases y posteriormente un valor total de consumo (fase uno + fase dos).

En todas y cada una de las figuras realizadas se aclara que en el eje Y se tiene la magnitud y en el eje X el número de muestras.

7.1.1.2.1 Primera Fase

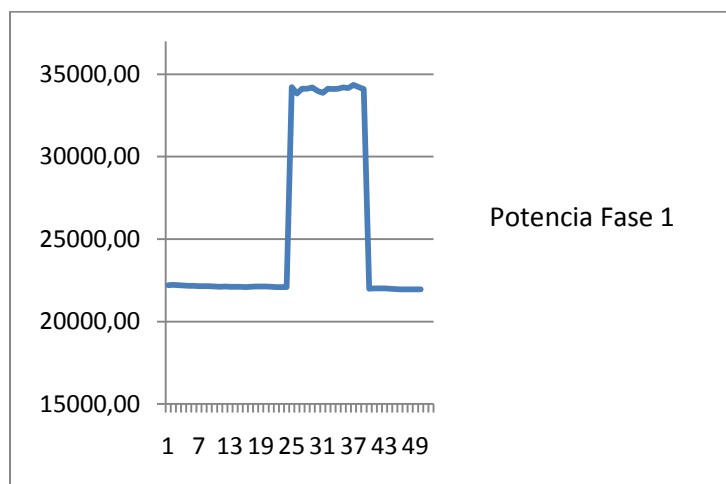


Figura 9. Potencia consumida en la fase uno

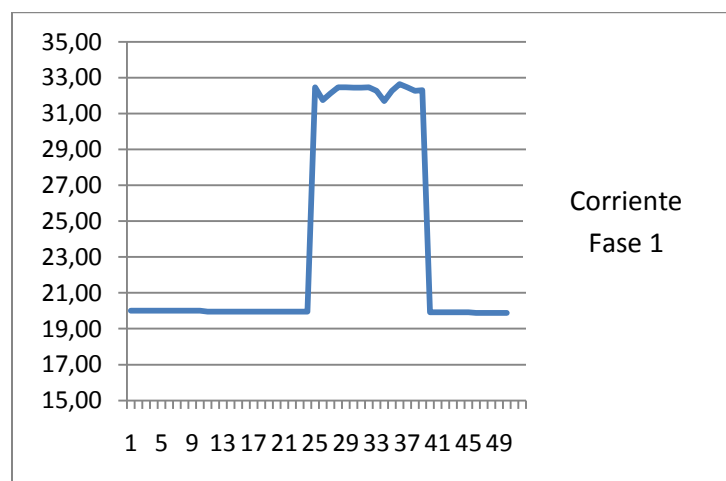


Figura 10. Nivel de corriente en la fase uno

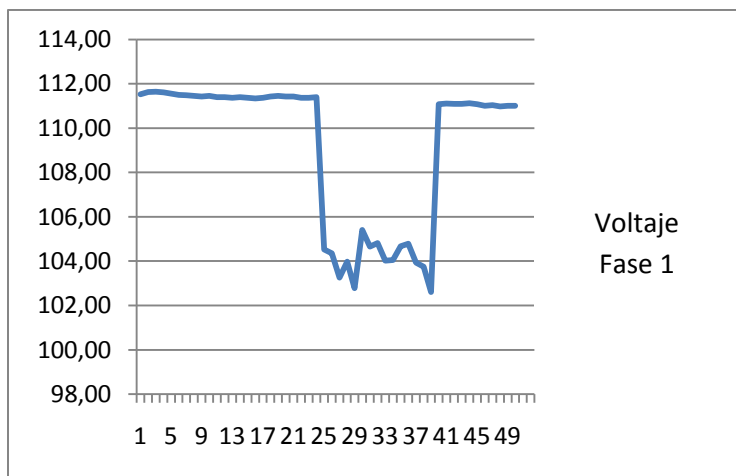


Figura 11. Voltaje sentido en la fase uno

7.1.1.2.2 Segunda Fase

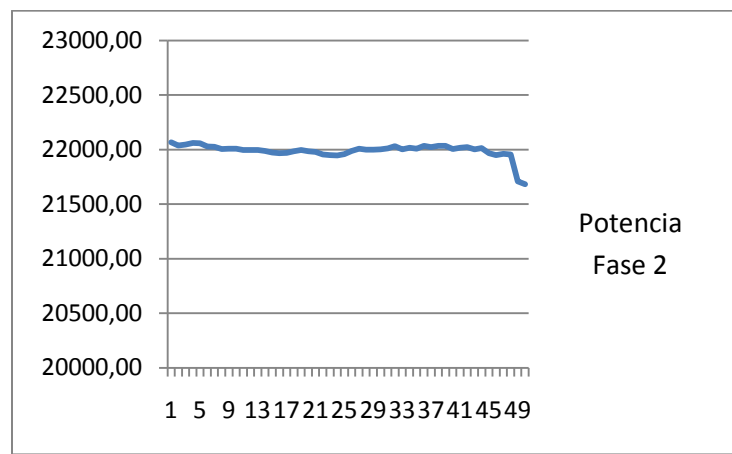


Figura 12. Potencia consumida en la fase dos

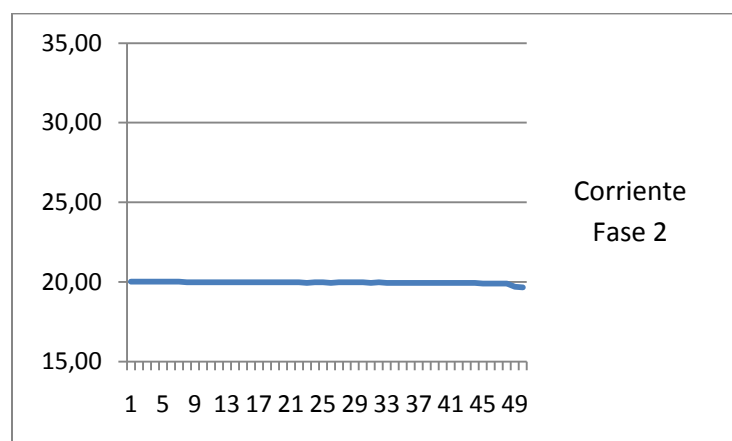


Figura 13. Nivel de corriente en la fase dos

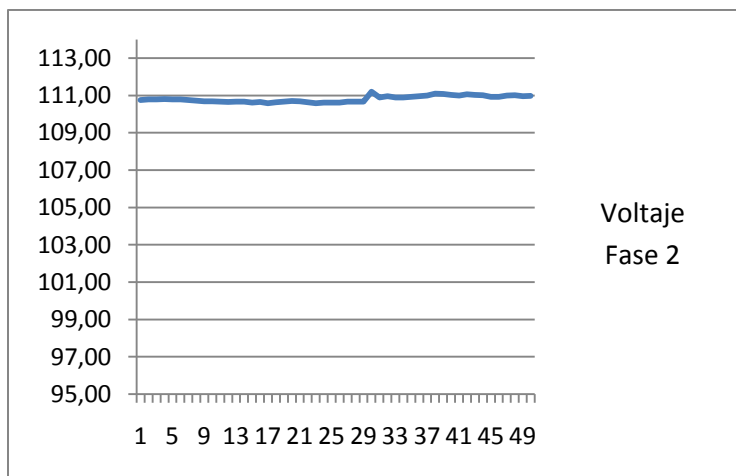


Figura 14. Voltaje sentido en la fase dos

7.1.1.2.3 Total (fase uno + fase dos)

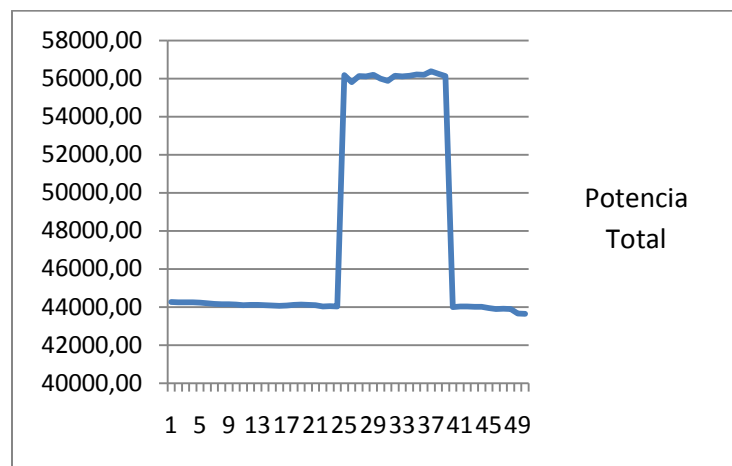


Figura 15. Potencia consumida total.

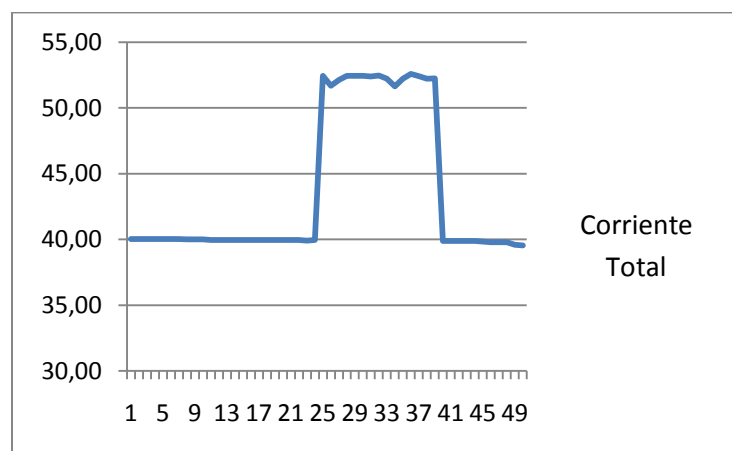


Figura 16. Nivel de corriente total.

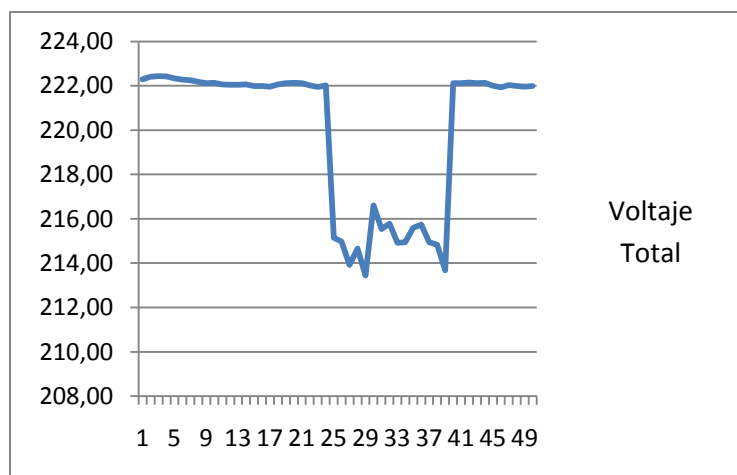


Figura 17. Voltaje sentido total.

7.1.1.3 Análisis de resultados

Antes de realizar un análisis específico de los resultados es importante aclarar que aunque la alimentación total de la máquina es de 220V, se distribuye en dos fases de 110V. Debido a esto, el compresor de aire está conectado a solo una de las fases mientras que el horno y la bomba de vacío se encuentran alimentados con los 220V. Por tal razón se aprecia un marcado cambio en las graficas de consumo, corriente y voltaje de la primera fase. En la tabla 6 se muestra la distribución de elementos por fase de alimentación.

<u>ELEMENTO</u>	<u>FASE UNO (110V)</u>	<u>FASE DOS (110V)</u>
Bomba de vacío	▪	▪
Compresor de aire	▪	
Resistencias (horno)	▪	▪
Fuente de poder		▪
Unidad de procesamiento		▪

Tabla 6. Distribución de elementos por fase de alimentación.

El consumo en la primera fase presenta un pico debido a que en este momento es cuando inicia operación el compresor de aire hasta alcanzar su valor máximo y detener su consumo. Luego que el compresor de aire alcanza su capacidad máxima de presión detiene su consumo y alimenta los accionamientos neumáticos con la reserva de su tanque propio hasta que el nivel llega a su mínimo y comienza el ciclo nuevamente. En la tabla 7 se muestra los valores promedio de potencia, corriente y voltaje en la fase uno de alimentación.

<u>POTENCIA</u>	<u>CORRIENTE</u>	<u>VOLTAJE</u>
25.692 KW/h	23.65 A	109.15 V

Tabla 7. Valores promedio fase uno.

Realizando el mismo análisis en la segunda fase, se afirma que presenta un consumo constante debido a que no contiene elementos que varíen su consumo a lo largo del proceso. En la tabla 8 se muestra el consumo promedio de potencia, corriente y voltaje en la fase dos de alimentación.

<u>POTENCIA</u>	<u>CORRIENTE</u>	<u>VOLTAJE</u>
21.989 KW/h	19.96 A	110.81 V

Tabla 8. Valores promedio fase dos.

Finalmente, como la potencia, corriente y voltaje cumplen con las propiedades de linealidad conocidas en circuitos eléctricos se realiza una suma algebraica para encontrar los valores totales de consumo de la máquina termoformadora industrial. En la tabla 9 se presenta un resumen del promedio total obtenido en la toma de datos.

Parámetro	Valor	Unidad de Medida	Cantidad de ciclos
Consumo de Potencia	47.681	KW/h	100
Nivel de Corriente	43.62	A	100
Nivel de Voltaje	219.97	V	100

Tabla 9. Promedio total obtenido en la toma de datos.

Los promedios anteriores son producto de una larga tabulación de los datos obtenidos por medio del sistema implementado y se presentan de forma resumida para evitar complejidades en el análisis.

7.1.2 Cantidad de producción por hora

De acuerdo con el protocolo descrito en un apartado anterior, la cantidad de producción por hora se llevó a cabo durante una semana de pruebas en la cual se tomaron los datos que posteriormente fueron sintetizados para proporcionar una medida promedio de la producción en la máquina termoformadora industrial. El formato utilizado para la toma de datos de producción consistió en una tabla con ocho (8) columnas: día, hora de inicio, hora final, referencia en producción, calibre de material, ciclo exitoso, ciclo defectuoso y total. En la tabla 10 se presentan los datos obtenidos durante los 5 días de la implementación.

<u>DIA</u>	<u>Hora Inicio</u>	<u>Hora Final</u>	<u>Referencia</u>	<u>Calibre PET</u>	<u>Ciclo Exitoso</u>	<u>Ciclo Defectuoso</u>	<u>TOTAL</u>
1	8.30	9.30	MT24N	15	39	0	39
1	9.45	10.45	MT24N	15	40	2	42
1	11.00	12.00	MT24N	15	38	1	39
1	14.25	15.25	MT24N	15	37	0	37
1	15.45	16.45	MT24N	15	41	2	43
2	9.12	10.12	MT24N	10	42	0	42
2	10.30	11.30	MT24N	10	40	5	45
2	14.10	15.10	MT24N	10	40	2	42
2	15.20	16.20	MT24N	10	42	1	43
2	16.35	17.35	MT24N	10	38	3	41
3	8.20	9.20	MT24N	10	39	0	39
3	9.45	10.45	MT24N	10	37	2	39
3	11.00	12.00	MT24N	10	39	0	39
3	15.00	16.00	MT24N	10	40	2	42
3	16.15	17.15	MT24N	10	43	3	46
4	8.30	9.30	MT24N	15	40	0	40
4	9.45	10.45	MT24N	15	44	0	44
4	11.10	12.10	MT24N	15	41	1	42
4	12.15	13.15	MT24N	15	40	0	40
4	13.30	14.30	MT24N	15	40	2	42
5	8.05	9.05	MT24N	15	41	0	41
5	9.20	10.20	MT24N	15	39	1	40
5	10.45	11.45	MT24N	15	36	0	36
5	14.30	15.30	MT24N	15	40	0	40
5	16.00	17.00	MT24N	15	38	1	39
<u>TOTAL</u>	<u>25 horas</u>				<u>994</u>	<u>28</u>	<u>1022</u>

Tabla 10. Datos de producción antes de la automatización.

Luego de analizar la tabla de producción se define como parámetro de producción por hora el valor **40.88 C/h (ciclos por hora)**. Es importante resaltar que se elige la unidad ciclos por hora debido a que la máquina termoformadora varia la producción por unidad dependiendo del tamaño de la pieza, es decir, dependiendo del tamaño pueden salir una, dos o tres piezas en un mismo ciclo; con este valor de ciclos por hora se logra generalizar el rendimiento de la termoformadora sin importar el producto que se desee realizar.

7.1.3 Nivel de riesgo profesional

Para realizar una clasificación del nivel de riesgo presente en la operación de la máquina termoformadora industrial primero se debe definir qué significa la palabra “riesgo”:

“RIESGO es la posibilidad de que ocurra un accidente o perturbación funcional a la persona expuesta.” [Decreto 1607 de Julio 31 de 2002 del Ministerio del Trabajo]

En Colombia para valorar el riesgo que tiene una actividad económica (empresa), se aplica el Art. 26 del decreto 1295 de 1994 sobre **Administración y Organización del Sistema General de Riesgos Profesionales**, según el cual se dan las siguientes clases de riesgo:

<u>CLASE</u>	<u>NIVEL DE RIESGO</u>
V	Máximo
IV	Alto
III	Medio
II	Bajo
I	Mínimo

Tabla 11. Clasificación de riesgos

Luego de leer y analizar el decreto que clasifica los niveles de riesgo profesional y debido a su extensión, se procede a nombrar los grupos en los que se encuentra ubicado el manejo de una máquina industrial con las características de la termoformadora utilizada en este proyecto.

- **Grupo 1: Factores de riesgo del ambiente de trabajo o microclima laboral:** dentro de este grupo se ubican los cambios de temperatura a los que está sometido constantemente el operario de la termoformadora dado las condiciones de funcionamiento.
- **Grupo 2: Factores de riesgo contaminantes del ambiente:** dentro de este grupo se ubica el ruido (fenómeno de naturaleza física) producido por la máquina termoformadora que afectan al operario.
- **Grupo 3: Factores de riesgo productores de insalubridad locativa y ambiental deficientes:** este grupo no aplica para el proceso.
- **Grupo 4: Factores de riesgo productores de sobrecarga física:** dentro de este grupo se ubican la mayoría de riesgos profesionales del operario:
 - ❖ **De tipo disergonómico:** genera posturas inadecuadas del cuerpo: sentado, de pie, encorvado.
 - ❖ **De tipo psicosociales:** duración de la jornada, ritmo rápido, distribución del descanso.
- **Grupo 5: Factores de riesgo psicosociales productores de sobrecarga psíquica:** alta concentración, tareas monótonas y repetitivas, tareas sin valorar.
- **Grupo 6: Factores de riesgo productores de inseguridad:** sistemas de protección deficientes o faltantes, cortocircuitos causantes de incendio, trabajos entre máquinas, no uso de elementos de protección personal.

Los factores de riesgo como fuentes de desequilibrio, siempre tendrán un efecto particular dependiendo de sus características. En toda empresa existen factores de riesgo y lógicamente la posibilidad de que surjan las enfermedades generales ocupacionales y los accidentes.

Después de clasificar los diferentes riesgos que conlleva la operación de la máquina termoformadora industrial por parte de un operario, se tiene como nivel de riesgo profesional: **Clase III ----- Riesgo Medio.**

Al finalizar la automatización del proceso, se debe llevar al mínimo el nivel de riesgo profesional debido a que este es la principal ventaja de un proceso automatizado el cual depende poco y nada de un operario expuesto a riesgo.

7.1.4 Costos de mantenimiento y repuestos

La máquina termoformadora inicial no cuenta con un plan de mantenimiento y repuestos al momento de comenzar este proyecto; la forma de mantenimiento se realiza por medio de un criterio empírico del operario de la máquina quien toma decisiones de acuerdo a su conocimiento y observación de los ciclos del proceso. Por este motivo no se puede cuantificar el costo de mantenimiento y repuestos que demanda la máquina termoformadora inicial, sin embargo, al finalizar el proyecto se diseñará un adecuado plan de mantenimiento que soporte la producción de la termoformadora automatizada.

7.1.5 Desperdicio de material

En el protocolo de cuantificación se describió que se calcularía el porcentaje de desperdicio por cada lámina empleada en un ciclo de termoformado. Aunque se realizó este cálculo matemático, se debe dejar claro que esta medida **no** puede ser utilizada como parámetro general en la producción debido a que el valor cambia significativamente dependiendo del tamaño y la distribución del producto que se desea termoformar. En la figura 18 se describe el análisis para la referencia MT24N que se maneja en la empresa que utiliza la máquina.

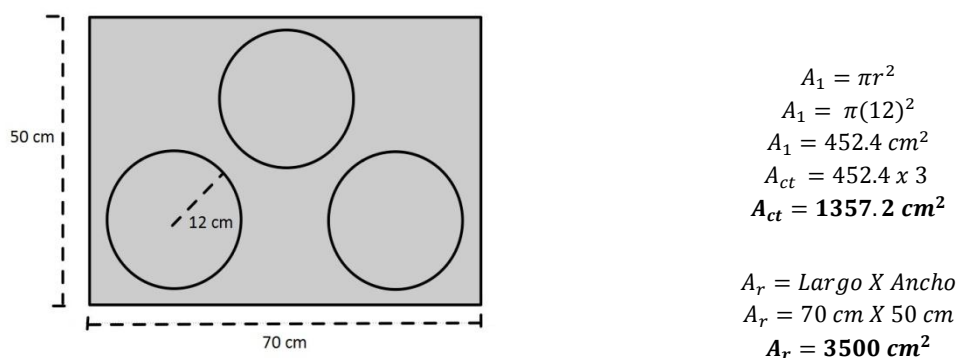


Figura 18. Distribución de la MT24N en la lámina de PET

Realizando una simple regla de tres se calcula el valor del área no utilizada (D) en el proceso de termoformado; **D = 61.22%**. Este valor de **61.22%** de material no utilizado (desperdicio) **no** cambiará luego de la automatización debido a que hace parte de las características de moldeo de la máquina. Sin embargo, existe un parámetro de desperdicio el cual será ampliamente reducido debido a los errores humanos (desconocimiento o cansancio) que se pueden presentar en la

producción de la termoformadora industrial. Para el análisis de este tipo de desperdicio, se realizó un análisis de la tabla de producción elaborada en el apartado “cantidad de producción por hora”, tomando la cantidad de ciclos defectuosos y encontrando el porcentaje (%) de desperdicio por motivos de cansancio, error en el ciclo de termoformado, imperfectos en el material, entre otros.

Total ciclos realizados = 1022

Total ciclos defectuosos = 28

Desperdicio = 2.74 %

7.2 Programación del PLC Koyo DL 06

En esta sección se explicará el proceso de programación mediante lenguaje Ladder directamente en el PLC que se utiliza sin hacer énfasis en la herramienta DirectSoft que se utiliza para su programación interna.

El lenguaje Ladder se basa básicamente en relaciones de contactos que se programan secuencialmente pero es importante saber que el PLC los ejecuta de manera concurrente, es decir, se ejecutan todas las líneas de código de manera simultánea. Los diagramas de flujo 3 y 4 hacen parte de todo proceso de programación en el sector de la industria y describen el proceso de manera conceptual.

Para la correcta implementación se ha designado un orden en la nomenclatura de entradas y salidas del PLC. En la tabla 12 se muestran ordenadamente estos valores, la columna referente al color es simplemente para la acomodación de las conexiones físicas con los mandos eléctricos de la máquina.

ENTRADAS			SALIDAS		
X0	START	Blanco-Azul	Y0	Accionamiento marco	Blanco-Azul
X1	Marco cerrado	Azul	Y1	Motor horno adelante	Azul
X2	Molde abajo	Blanco-Verde	Y2	Motor horno atrás	Blanco-Verde
X3	Horno atrás	Verde	Y3	Accionamiento molde	Verde
X4	Horno adelante	Blanco-Naranja	Y4	Bomba vacío	Blanco-Naranja
X5	Marco abierto	Naranja	Y5	Aire	Naranja
X6	Molde arriba	Blanco-Café	Y6	Alarma Visual 1	Blanco-Café
X7	RESET	Café	Y7	Alarma Visual 2	Café

Tabla 12. Relación entrada – salida del PLC Koyo

Todas las señales en la tabla 12 son señales digitales propias del PLC, las cuales son manipuladas a través de un conjunto de relees asociados a una fuente de alimentación de 12 V. Es importante aclarar que según las características del PLC Koyo DL-06, existen estados internos nombrados con la letra C seguido del número correspondiente (ejemplo C0, C1, C5, C10, etc.). Estos estados son utilizados como espacios lógicos que ayudan a conservar el orden de la programación y brindan oportunidades de control separando los procesos individualmente. En este proyecto se utilizan básicamente para enclavar acciones, es decir, mantener activa una instrucción aunque la entrada X haya sido pulsada solamente en una ocasión.

Diagrama de flujo del proceso general

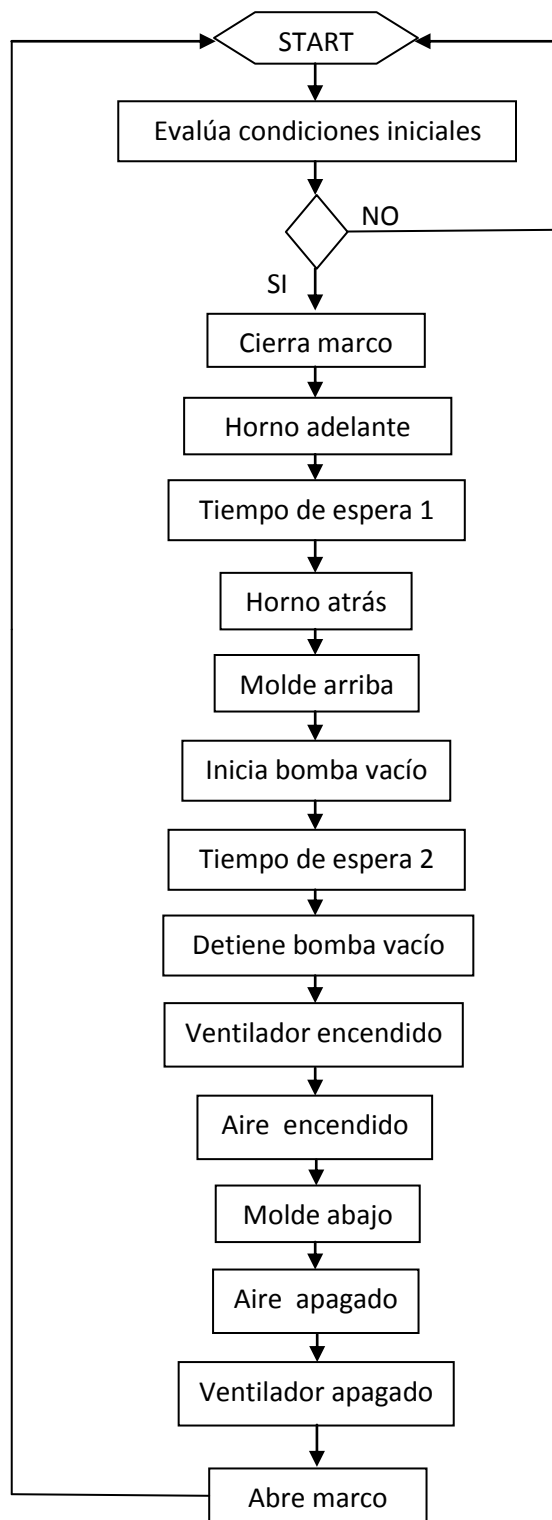


Diagrama 3. Flujo del proceso general

Diagrama de flujo en estados del proceso

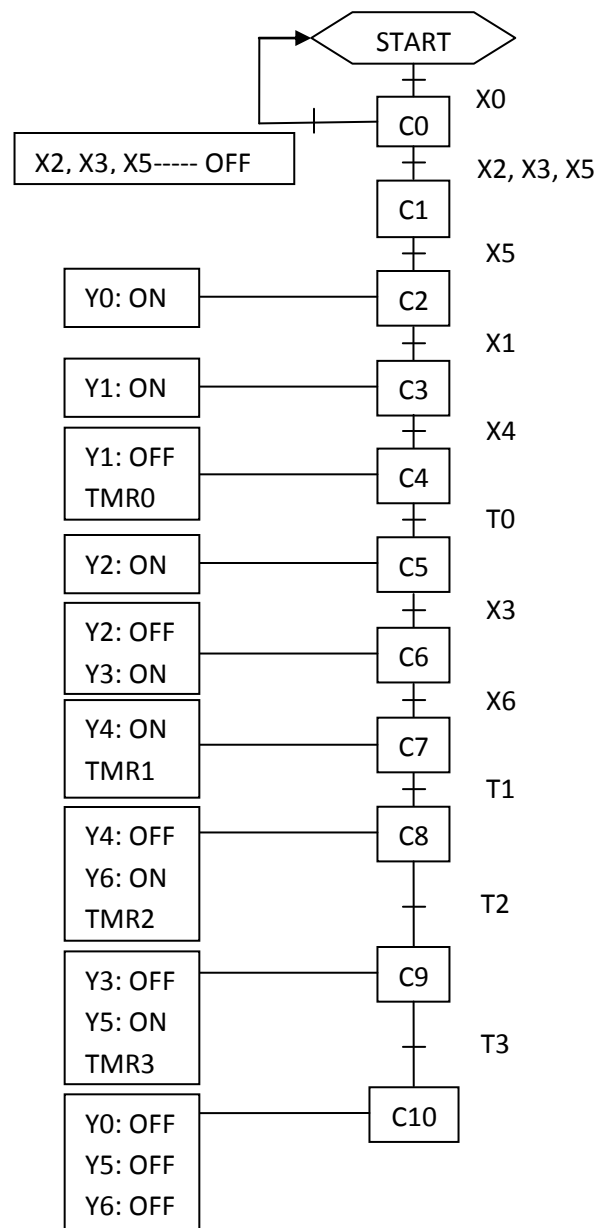


Diagrama 4. Flujo en estados del proceso

7.3 Medición de temperatura

Como ya se ha mencionado anteriormente, el elemento encargado de medir la temperatura del horno es una termocupla tipo J debido a que cumple con las características deseadas y tiene un muy bajo costo en el mercado. Para poder obtener el valor de temperatura sensado por la termocupla a través del controlador programable Koyo DL 06 se debe realizar un circuito de acondicionamiento de señal; la señal que brinda la termocupla está a una relación de 10mV por °C, sin embargo, el modulo análogo FO-4AD2DA-1 del PLC está diseñado para una señal que oscile entre 0 y 20 mA. Por este motivo se implementó un circuito de conversión de señal utilizando un conversor AD594AQ para obtener una señal compensada como primer paso para luego utilizar un amplificador operacional LM741 en configuración conversor voltaje-corriente y así ingresar al PLC una señal totalmente compensada y oscilando en un rango de 0 a 20 mA dependiendo del valor de temperatura.

Para la caracterización del diseño se realizó una tabulación de temperaturas asociadas a la corriente y con el correcto conjunto de resistencias en el amplificador operacional se logró obtener el rango de corriente deseado.

7.4 Interfaz gráfica

7.4.1 Descripción

Luego de todo el desarrollo previo, es necesario realizar una interfaz de operación para culminar el proceso de automatización de manera adecuada. Una interfaz de monitoreo consiste básicamente en un entorno para visualizar el proceso completo en tiempo real capturando valores importantes para el buen funcionamiento. Dentro de las variables del proceso de termoformado se encuentran algunas de vital importancia a la hora de tomar decisiones de movimiento; estas variables son los estados de los sensores ubicados en la máquina que se encargan de mostrar la secuencia del proceso de termoformado implementado.

La interfaz de monitoreo se implementó utilizando la herramienta computacional *LabView* de la compañía *National Instruments*. Con esta herramienta se puede establecer una comunicación adecuada con el controlador programable así como también brinda oportunidades importantes en la visualización en tercera dimensión 3D para tener un entorno amigable y de acuerdo con los requerimientos del proceso. En la figura 19 se muestra la interfaz final de monitoreo, su explicación detallada de funcionamiento se hará más adelante en el manual de usuario.

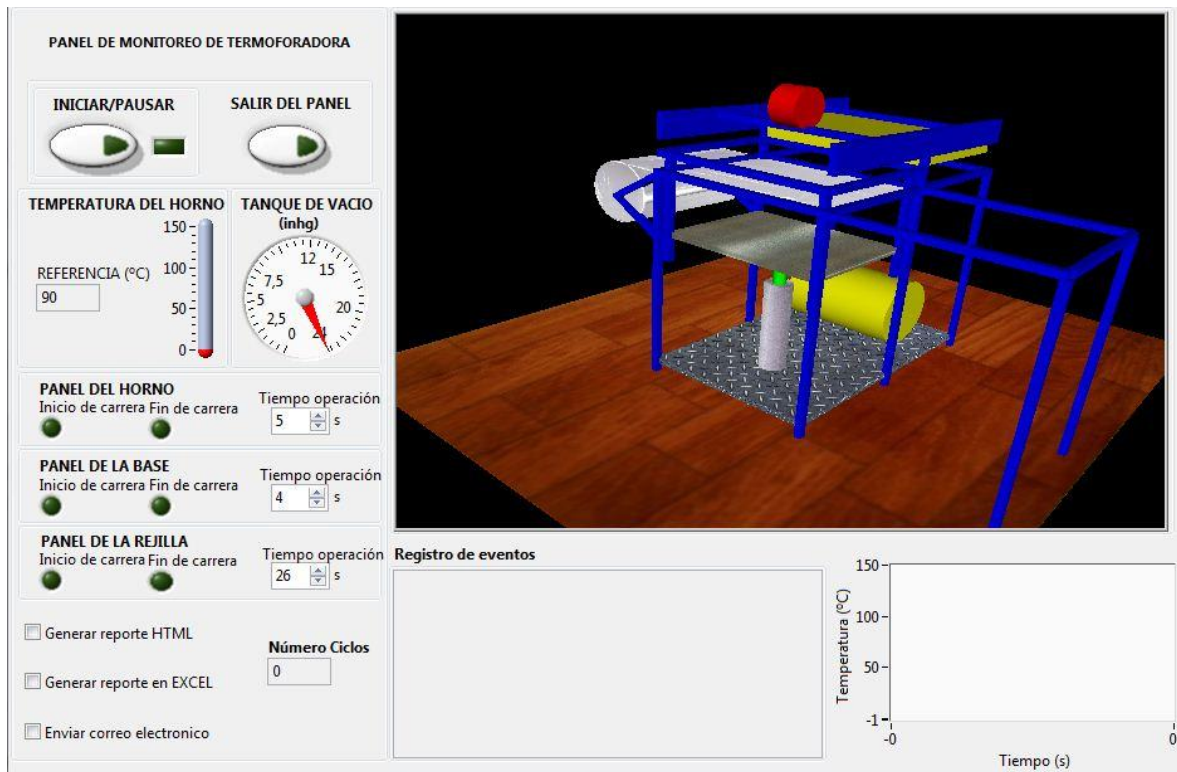


Figura 19. Interfaz de monitoreo y operación.

La interfaz de usuario se compone de 3 módulos para representar virtualmente el estado operativo de la termoformadora. El primer módulo realiza una representación 3D del proceso mediante el uso de VÍ's de control de objetos 3D (*3D picture control*). Una escena 3D es un objeto 3D o una colección de objetos 3D que se pueden ver en el control de imagen en 3D. Mientras se realiza el diseño de una escena 3D, se puede generar varios objetos en 3D y especificar su orientación, apariencia y su relación con otros objetos dentro de la escena 3D.

El siguiente modulo se encarga de realizar la lógica para crear el movimiento de la escena 3D. Esta lógica se implementó mediante ciclos "for", estructuras secuenciales "flat sequence" y comparadores booleanos que definen los límites de los movimientos de los objetos. Estos límites representan el fin o inicio de carrera de un elemento de la termoformadora y son visualizados mediante el uso de leds.

El tercer módulo permite gestionar reportes de eventos del proceso de termoformado mediante la librería de funciones "Report Generation". De esta manera el usuario puede crear reportes en HTML, Excel o enviar un correo electrónico. Estos eventos pueden verse en tiempo real en el panel frontal de la interfaz.

7.4.2 Manual de usuario

El proceso de automatización de un sistema de termoformado no es complejo pero requiere de atención para operarse correctamente; la interfaz desarrollada facilita el monitoreo del proceso con un entorno en 3D asociado a la señal proveniente de los sensores ubicados en la máquina termoformadora industrial. Por medio del controlador programable Koyo DL 06 se transmiten las señales al computador para ser procesadas y utilizadas en la interfaz.

Iniciar la interfaz para el monitoreo del proceso

Para el correcto funcionamiento de la interfaz se debe realizar una serie de comprobaciones que permitirán operar de forma adecuada el proceso:

- **Comprobación del software:** La interfaz está desarrollada en LabView de National Instruments. Al momento de dar inicio al proceso, se debe ejecutar en el computador asociado el archivo ejecutable denominado “*admin_termo*” que lanza la interfaz de monitoreo. Este archivo se encontrará en una ubicación sencilla conocida por el operario.
- **Sistema de comunicación:** Para obtener una excelente comunicación entre las señales de la máquina termoformadora y la interfaz de monitoreo, se debe comprobar la configuración de cables que transmiten la señal en ambos sentidos. Existen dos conjuntos de cables salientes en el PLC, uno para las entradas y otro para las salidas, los cuales deben estar correctamente conectados y en su orden específico.
- **Comunicación serial PLC-Ordenador:** Para la comunicación de datos entre el computador y el controlador programable, se utilizó el protocolo serial RS-232 mediante un cable con las características correspondientes; se debe comprobar el buen estado de la comunicación asegurándose que el cable este bien conectado en ambos extremos.
- **Sensores:** Es importante realizar una revisión periódica a todos y cada uno de los sensores ubicados en los puntos inicial-final de la máquina para corregir posibles daños por el funcionamiento constante.
- **Alimentación:** Como paso fundamental está la comprobación de alimentación de todos los componentes del proceso tales como horno, motor, compresor, bomba de vacío y el panel de control de la lógica incluyendo por supuesto el controlador programable PLC.

Luego de la comprobación adecuada de cada una de las partes que intervienen en el proceso de termoformado descrito, se debe conocer detalladamente la interfaz de monitoreo para lograr así una total comprensión y análisis.

Descripción detallada de la interfaz de monitoreo

La interfaz desarrollada está compuesta de varios elementos que serán explicados uno a uno de manera sencilla y clara, se han marcado en la figura 20 para su mejor entendimiento.

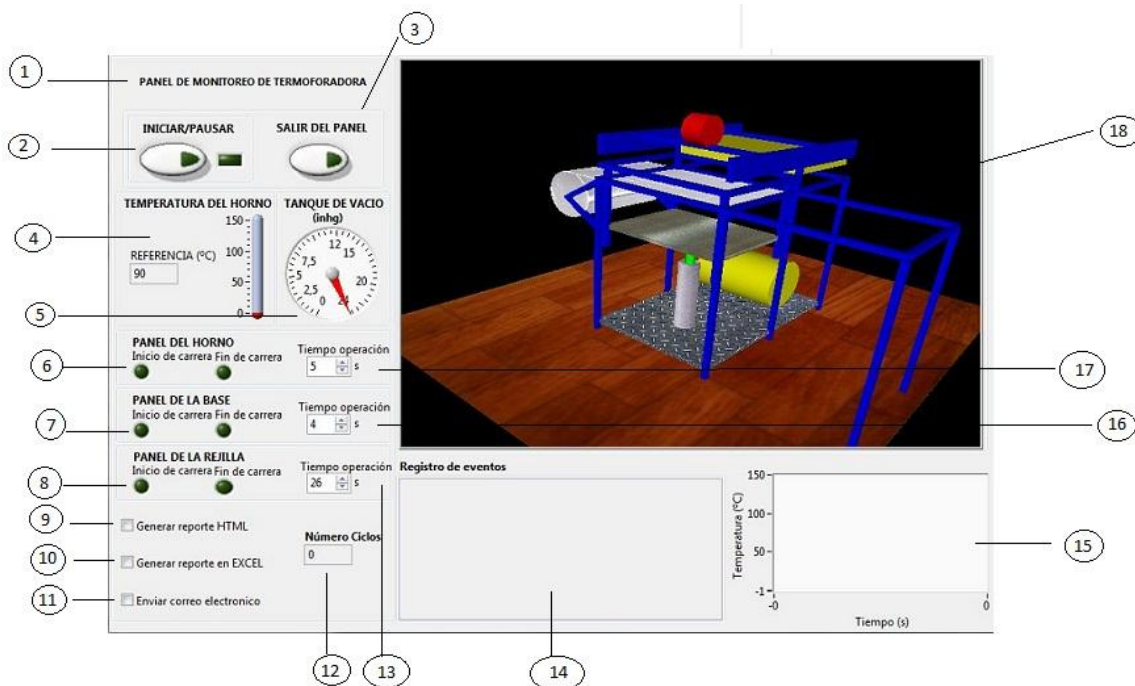


Figura 20. Descripción de los elementos de la interfaz.

- 1) **Nombre de la interfaz:** Nombre asignado a la interfaz de monitoreo.
- 2) **Botón de Inicio/Pausa:** Controla inicio o pausa del ciclo de trabajo en la interfaz.
- 3) **Botón Salir:** Realiza una salida total del panel de monitoreo, se utiliza generalmente al final de proceso diario o como método para reiniciar ante algún problema.
- 4) **Temperatura del Horno:** Referencia de temperatura sensada en el interior del horno.
- 5) **Indicador de vacío:** Elemento grafico para indicar el momento de succión en el proceso.
- 6) **Panel del horno:** Indicadores de inicio y final de carrera del horno, el horno se desplaza en forma horizontal entrando y saliendo de la zona del material por medio de un motor DC.
- 7) **Panel de la base:** Indicadores de inicio y final de carrera de la base, la base se desplaza en forma vertical por medio de un accionamiento neumático controlado.
- 8) **Panel de la rejilla:** Indicadores de inicio y final de carrera de la rejilla (marco), encargado de apretar el material (PET) para continuar con el ciclo.
- 9) **HTML:** Genera un reporte en HTML con algunos datos fundamentales del proceso tales como temperatura, numero de ciclos y registro de eventos.
- 10) **EXCEL:** Genera un archivo en EXCEL con datos de temperatura y numero de ciclos para realizar un control constante de la producción.

- 11) Correo electrónico:** Permite enviar un correo electrónico con todas las características deseadas, archivos adjuntos y demás. Es muy importante para enviar los reportes periódicos a las personas de interés.
- 12) Ciclos:** Contador encargado de mostrar el numero de ciclos realizados hasta el momento.
- 13) Tiempo de operación:** Permite controlar el tiempo de operación de la rejilla en la simulación para poder sincronizar la interfaz con la máquina real.
- 14) Registro de eventos:** Ventana encargada de visualizar en tiempo real los diferentes cambios que se van presentando durante el proceso. Permite llevar un control de tiempo y fecha de cada uno de los eventos realizados.
- 15) Gráfica de temperatura:** Muestra la gráfica en tiempo real de la variación de la temperatura en el horno para su control y análisis necesario.
- 16) Tiempo de operación:** Permite controlar el tiempo de operación de la base en la simulación para poder sincronizar la interfaz con la máquina real.
- 17) Tiempo de operación:** Permite controlar el tiempo de operación del horno en la simulación para poder sincronizar la interfaz con la máquina real.
- 18) Entorno:** Entorno en 3D que brinda un análisis total del ciclo de trabajo, logrando captar la atención del operario de manera agradable y sencilla. Esta animación reúne toda la información sobre el proceso y lo muestra de manera sincronizada.

7.5 Porcentaje de automatización

Para tener un valor aproximado del porcentaje de automatización alcanzado en el proyecto de implementación sobre la termoformadora industrial, se debe hacer una lista de los sub-procesos que hacen parte del ciclo para posteriormente saber cuáles de ellos fueron automatizados total o parcialmente y cuáles no. En la tabla 13 se relacionan los sub-procesos y su grado de automatización.

<u>SUB-PROCESO</u>	<u>GRADO DE AUTOMATIZACIÓN</u>
Alimentación de materia prima (PET)	30%
Sujeción del PET	100%
Movimiento horizontal del horno	100%
Movimiento vertical del molde	100%
Sistema de succión	100%
Sistema de refrigeración	100%
Sistema de emisión de aire	100%
Control de temperatura	80%
Corte del producto terminado	100%
Retirado del producto terminado	0%
<u>TOTAL</u>	<u>81%</u>

Tabla 13. Porcentaje de automatización.

La propuesta de automatización implementada logró automatizar el proceso de termoformado en un **81 %** lo cual es bastante significativo dado las condiciones del proyecto.

8. VALIDACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN

Como tercer y último objetivo del proyecto se tiene la validación de la automatización de la máquina termoformadora industrial. Este objetivo se basa en una comparación de resultados antes y después de la implementación para así poder determinar los porcentajes de rendimiento mejorado en los diferentes parámetros establecidos.

8.1 Aplicación del protocolo de cuantificación de eficiencia luego de la automatización

El procedimiento de cuantificación es exactamente igual al implementado para la máquina original por obvias razones, por este motivo, se procede a sintetizar los datos obtenidos para posteriormente realizar el análisis correspondiente.

En todas y cada una de las figuras realizadas se aclara que en el eje Y se tiene la magnitud y en el eje X el número de muestras.

8.1.1 Consumo de potencia

8.1.1.1 Primera Fase

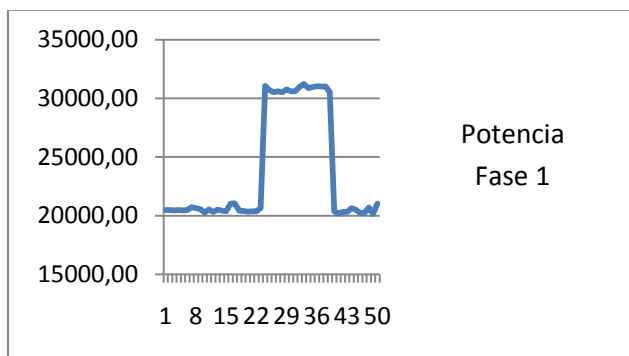


Figura 21. Potencia consumida fase uno.

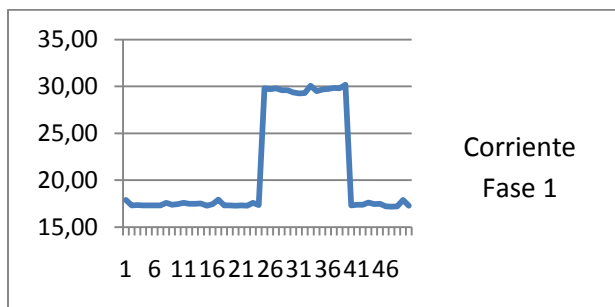


Figura 22. Nivel de corriente en la fase uno.

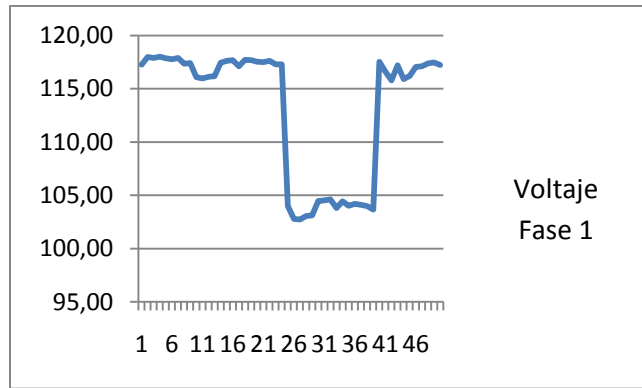


Figura 23. Voltaje sentido en la fase uno.

8.1.1.2 Segunda Fase

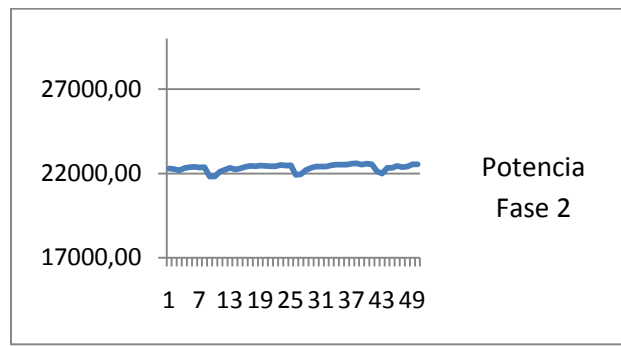


Figura 24. Potencia consumida en la fase dos.

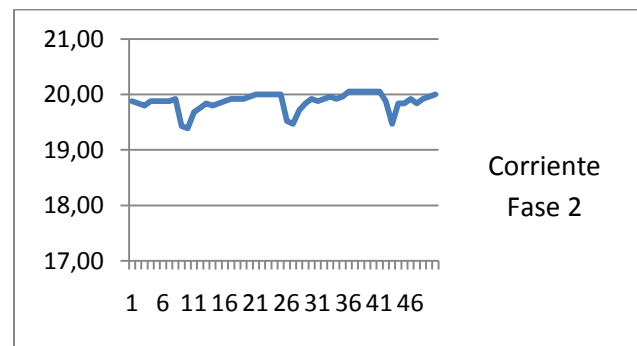


Figura 25. Nivel de corriente en la fase dos.

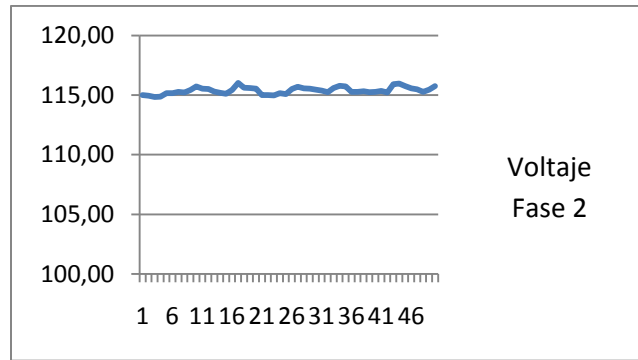


Figura 26. Voltaje sentido en la fase dos.

8.1.1.3 Total (fase uno + fase dos)

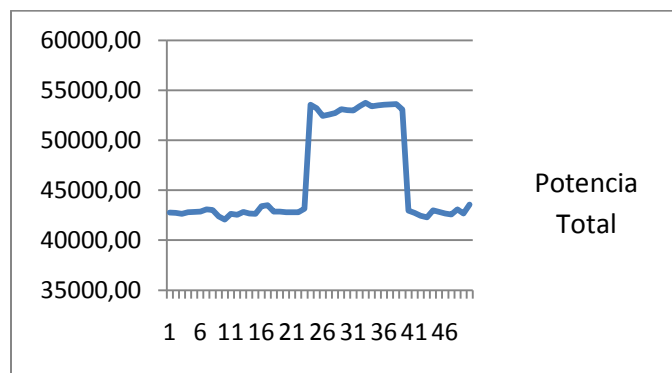


Figura 27. Potencia consumida total.

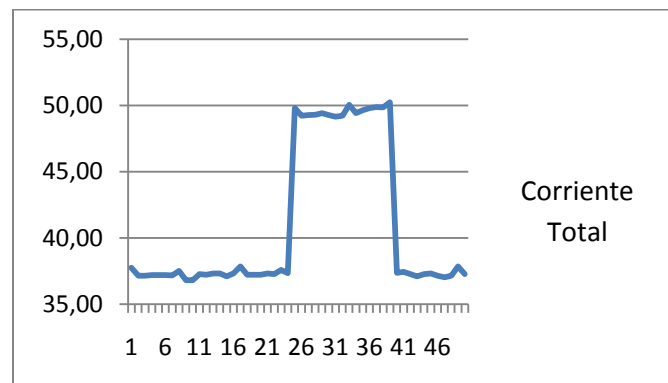


Figura 28. Nivel de corriente total.

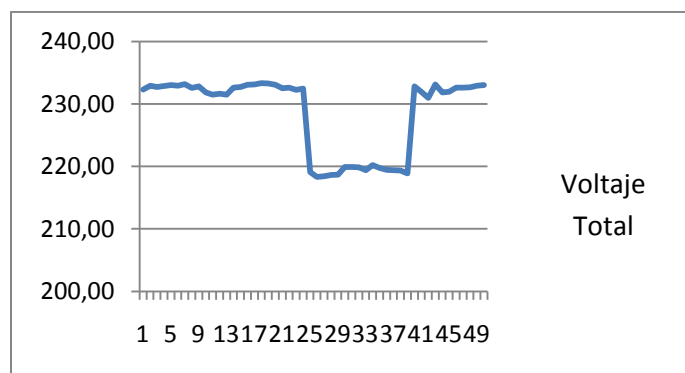


Figura 29. Voltaje sentido total.

En la tabla 14 se muestra el consumo promedio de potencia, corriente y voltaje en la fase uno de alimentación.

<u>POTENCIA</u>	<u>CORRIENTE</u>	<u>VOLTAJE</u>
23.79 KW/h	21.10 A	113.18 V

Tabla 14. Valores promedio fase uno.

Realizando el mismo análisis en la segunda fase, se afirma que presenta un consumo constante debido a que no contiene elementos que varíen su consumo a lo largo del proceso. En la tabla 15 se muestra el consumo promedio de potencia, corriente y voltaje en la fase dos de alimentación.

<u>POTENCIA</u>	<u>CORRIENTE</u>	<u>VOLTAJE</u>
22.35 KW/h	19.87 A	115.38 V

Tabla 15. Valores promedio fase dos.

Finalmente, como la potencia, corriente y voltaje cumplen con las propiedades de linealidad conocidas en circuitos eléctricos se realiza una suma algebraica para encontrar los valores totales de consumo de la máquina termoformadora industrial. En la tabla 16 se presenta un resumen del promedio total obtenido en la toma de datos.

Parámetro	Valor	Unidad de Medida	Cantidad de ciclos
Consumo de Potencia	46.14	KW/h	100
Nivel de Corriente	40.97	A	100
Nivel de Voltaje	228.56	V	100

Tabla 16. Promedio total obtenido en la toma de datos.

Los promedios anteriores son producto de una larga tabulación de los datos obtenidos por medio del sistema implementado y se presentan de forma resumida para evitar complejidades en el análisis.

8.1.2 Cantidad de producción por hora

<u>DIA</u>	<u>Hora Inicio</u>	<u>Hora Final</u>	<u>Referencia</u>	<u>Calibre PET</u>	<u>Ciclo Exitoso</u>	<u>Ciclo Defectuoso</u>	<u>TOTAL</u>
1	8.05	9.05	MT24N	15	54	0	54
1	9.10	10.10	MT24N	15	53	0	53
1	10.20	11.20	MT24N	15	54	1	55
1	11.30	12.30	MT24N	15	52	0	52
1	14.05	15.05	MT24N	15	55	0	55
2	9.00	10.00	MT24N	10	52	0	52
2	10.15	11.15	MT24N	10	53	0	53
2	11.20	12.20	MT24N	10	52	1	53
2	15.00	16.00	MT24N	10	54	0	54
2	16.10	17.10	MT24N	10	52	0	52
3	8.20	9.20	MT24N	15	52	0	52
3	9.35	10.35	MT24N	15	53	0	53
3	10.40	11.40	MT24N	15	51	1	52
3	13.40	14.40	MT24N	15	52	0	52
3	15.10	16.10	MT24N	15	53	0	53
4	13.00	14.00	MT24N	15	52	0	52
4	14.05	15.05	MT24N	15	55	0	55
4	15.15	16.15	MT24N	15	54	2	56
4	16.20	17.20	MT24N	15	52	0	52
4	17.30	18.30	MT24N	15	53	0	53
5	8.30	9.30	MT24N	10	51	0	51
5	9.45	10.45	MT24N	10	54	0	54
5	11.00	12.00	MT24N	10	52	1	53
5	14.25	15.25	MT24N	10	54	0	54
5	15.40	16.40	MT24N	10	53	0	53
<u>TOTAL</u>	<u>25 Horas</u>				<u>1322</u>	<u>6</u>	<u>1328</u>

Tabla 17. Datos de producción después de la automatización.

Luego de analizar la tabla de producción se define como parámetro de producción por hora el valor **53.12 C/h (ciclos por hora)**.

8.1.3 Nivel de riesgo profesional

La automatización de la máquina tiene entre los objetivos más importantes desligar al operario de los procedimientos que implican directa o indirectamente algún tipo de riesgo profesional. Al automatizar el proceso se logra reducir al mínimo la interacción entre la persona y la máquina, logrando así clasificar el riesgo en una categoría inferior a la inicial. A pesar de reducir el riesgo,

siguen existiendo factores que no se separan de la operación; se presentan los factores que siguen vigentes en el proceso de termoformado automatizado.

- **Grupo 1: Factores de riesgo del ambiente de trabajo o microclima laboral:** este grupo no aplica para el proceso.
- **Grupo 2: Factores de riesgo contaminantes del ambiente:** dentro de este grupo se ubica el ruido (fenómeno de naturaleza física) producido por la máquina termoformadora que afectan al operario.
- **Grupo 3: Factores de riesgo productores de insalubridad locativa y ambiental deficientes:** este grupo no aplica para el proceso.
- **Grupo 4: Factores de riesgo productores de sobrecarga física:** dentro de este grupo se ubica el principal factor de riesgo para el operario el cual consiste en la posturas inadecuada del cuerpo al mantenerse de pie por largos periodos.
- **Grupo 5: Factores de riesgo psicosociales productores de sobrecarga psíquica:** este grupo no aplica para el proceso.
- **Grupo 6: Factores de riesgo productores de inseguridad:** este grupo no aplica para el proceso.

Después de clasificar los diferentes riesgos que conlleva la operación de la máquina termoformadora automatizada por parte de un operario, se tiene como nivel de riesgo profesional: **Clase I ----- Riesgo Mínimo.**

8.1.4 Costo de mantenimiento y repuestos

En todo proceso industrial y en general en los procesos que se llevan a cabo a diario en la vida, se presenta un desgaste de operación que debe ser monitoreado constantemente para prevenir posibles errores en la producción o fallos en la máquina que se conviertan en pérdidas. Para llevar un plan de mantenimiento en la termoformadora industrial es necesario realizar un presupuesto en donde se incluye el costo de reparación y/o cambio de los diferentes componentes que actúan en el proceso.

Dado que el valor de la producción es de **53.12 C/h**, se realiza un estimado a producción plena de **90000 ciclos** realizados por **año** de producción; con base en esto se presenta la tabla 18 en donde se muestra el plan de mantenimiento asociado a su costo en pesos.

ACTIVIDADES DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA MAQUINA							
ACTIVIDADES	CICLOS DE LA MAQUINA						
	15000	30000	45000	60000	75000	90000	COSTOS
COMPRESOR DE AIRE							
Cambiar filtro de aire		\$ 5.500,00		\$ 5.500,00		\$ 5.500,00	\$ 16.500,00
Cambiar aceite del compresor			\$ 14.000,00			\$ 14.000,00	\$ 28.000,00
Purgar tanque de respaldo de aire	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00	\$ 25.000,00
BOMBA DE VACÍO							
Lubricación Rodamientos						\$ 85.000,00	\$ 85.000,00
Limpieza filtro de aire	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 10.000,00
HORNO							
Cambio resistencias tubulares			\$ 120.000,00			\$ 120.000,00	\$ 240.000,00
Lubricación rodamientos del motor del horno		\$ 15.000,00		\$ 15.000,00		\$ 15.000,00	\$ 45.000,00
ACCIONAMIENTOS NEUMÁTICOS							
Sumistro de aceite al deposito de lubricación		\$ 18.000,00		\$ 18.000,00		\$ 18.000,00	\$ 54.000,00
					<u>TOTAL</u>		\$ 503.500,00

Tabla 18. Costo de mantenimiento y repuestos.

Como resultado general tenemos que el costo de mantenimiento es de **503.500 pesos por año** de producción. Este valor debe ser distribuido entre las unidades producidas durante un año para calcular el costo de incremento en cada unidad terminada.

Además de los elementos descritos en la tabla 18, se debe realizar un mantenimiento preventivo cada 8000 ciclos de los siguientes elementos o estructuras:

- Estructura de la máquina
 - Aspecto general de la estructura observando posible deterioro en el chasis del equipo.
 - Bisagras marco de presión.
 - Guías de desplazamiento de la bandeja porta moldes.
 - Rieles de movimiento del horno.
 - Rodamientos de la estructura porta rollos de material.
- Compresor de aire
 - Manguera de suministro de aire a la máquina.
 - Nivel de aceite del compresor.
 - Filtro de aire.
- Bomba de vacío
 - Mangueras de conducción de vacío a las electro-válvulas y bandeja porta moldes.
 - Filtro de aire.
- Accionamientos neumáticos
 - Mangueras de conducción de aire a las electro-válvulas y cilindros.
 - Aceite del depósito en la unidad de mantenimiento.
- Horno
 - Aspecto general de las resistencias, de los electro-contróles y termostato.

- Motor de desplazamiento.
- Aislamientos térmicos.

8.1.5 Desperdicio de material

Para el análisis de este tipo de desperdicio, se realizó un análisis de la tabla de producción elaborada en el apartado “*cantidad de producción por hora*”, tomando la cantidad de ciclos defectuosos y encontrando el porcentaje (%) de desperdicio por motivos de error en el ciclo de termoformado, imperfectos en el material, entre otros.

Total ciclos realizados = 1328

Total ciclos defectuosos = 6

Desperdicio = 0.452 %

8.2 Comparación final

La comparación de los datos obtenidos antes y después de la automatización se convierte en la forma idónea para la validación del proyecto y por tal motivo se resume en la tabla 19.

<u>Parámetros</u>	<u>Termoformadora Manual</u>	<u>Termoformadora Automática</u>	<u>Mejora</u>
Consumo de potencia	47.68 KW/h	46.14 KW/h	1.54 KW/h (3.23%)
Nivel de corriente	43.62 A	40.97 A	2.65 A (6.07%)
Nivel de voltaje	219.97 V	228.56 V	No aplica
Producción por hora	1022	1328	306 C/h (29.9%)
Nivel de riesgo profesional	CLASE III Riesgo Medio	CLASE I Riesgo Mínimo	
Costo de mantenimiento y repuestos	--0--		
Desperdicio de material	2.74%	0.452%	Aprox. 30 ciclos
Porcentaje de automatización	0%	81%	81%

Tabla 19. Comparación final.

9. CONCLUSIONES

- Mejora de los parámetros de producción
- Seguridad del operario
- Almacenamiento de datos
- Alarga la vida útil de la maquina
- Manejo de indicadores de producción (gestión)
- Optimiza los recursos
- Aunque la reducción en el consumo no es muy grande hay que tener cuenta que el aumento de la producción (30%) con el mismo consumo baja el costo de producción por unidad en un gran valor.
- Es un proyecto tecnológico que deja conocimientos aplicados
- Capacitación del operario
- Costo de mantenimiento y repuestos.
- Dificultad económica en la automatización del PET
- Se logró hacer un gran trabajo con un presupuesto reducido
- Los diferentes problemas encontrados durante el desarrollo del proyecto pusieron a prueba la capacidad de ingenio, lógica y solución de dificultades.
- El control de temperatura PID no fue necesario aunque existieran los elementos para hacerlo.
- La interfaz en LabView fue correctamente implementada pero se debe aclarar que es un programa demasiado robusto para la implementación requerida.
- En el mercado existen varios tipos de PLC que pueden ser útiles en este tipo de automatizaciones.
- Conclusión de factor económico en el desarrollo de la máquina (presupuesto).

10. TRABAJOS FUTUROS

- Automatización del PET
- Control de temperatura PID
- Generación de alarmas
- Rotación dinámica de los moldes dependiendo de los tamaños
- Panel táctil para el manejo de la configuración

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[APELLIDO_AÑO] Apellido nombre, si son hasta dos, si son más de tres un solo nombre y después el nombre del artículo

- <http://www.thermoforming.net/>
- <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/maquina-termoformado-75457.html> ** maquinas de termoformado
- <http://www.interempresas.net/Alimentaria/FeriaVirtual/DistribuidoresDeProducto.asp?IDLineaProducto=28468>
- <http://www.macvac.com.ar/esp/productos.php>
- <http://www.meaf.nl/meaf/BMS500S.html>
- <http://www.saithermoformers.com/thermoforming-glass-machine.php>

12. ANEXOS

Anexo 1





Anexo 2

Contenido del CD

Anexo 3

MEDICIÓN DE CONSUMO DE POTENCIA EN LA MÁQUINA TERMOFORMADORA INICIAL								
VOLTAJE FASE 1	VOLTAJE FASE 2	CORRIENTE FASE 1	CORRIENTE FASE 2	POTENCIA FASE 1	POTENCIA FASE 2	TOTAL VOLTAJE	TOTAL CORRIENTE	TOTAL POTENCIA
111,53	110,76	20,00	20,03	22197,00	22066,00	222,29	40,03	44263,00
111,62	110,78	20,00	20,03	22214,00	22037,00	222,40	40,03	44251,00
111,64	110,79	20,00	20,03	22194,00	22047,00	222,43	40,03	44241,00
111,61	110,81	20,00	20,03	22192,00	22061,00	222,42	40,03	44253,00
111,56	110,78	20,00	20,03	22165,00	22059,00	222,34	40,03	44224,00
111,50	110,78	20,00	20,03	22163,00	22027,00	222,28	40,03	44190,00
111,48	110,76	20,00	20,03	22145,00	22026,00	222,24	40,03	44171,00
111,45	110,72	20,00	19,99	22140,00	22005,00	222,17	39,99	44145,00
111,43	110,68	20,00	19,99	22145,00	22009,00	222,11	39,99	44154,00
111,45	110,68	20,00	19,99	22119,00	22008,00	222,13	39,99	44127,00
111,39	110,67	19,96	19,99	22105,00	21997,00	222,06	39,95	44102,00
111,39	110,65	19,96	19,99	22117,00	21995,00	222,04	39,95	44112,00
111,37	110,67	19,96	19,99	22115,00	21996,00	222,04	39,95	44111,00
111,39	110,67	19,96	19,99	22102,00	21986,00	222,06	39,95	44088,00
111,36	110,62	19,96	19,99	22109,00	21972,00	221,98	39,95	44081,00
111,34	110,65	19,96	19,99	22089,00	21968,00	221,99	39,95	44057,00
111,37	110,59	19,96	19,99	22106,00	21971,00	221,96	39,95	44077,00
111,42	110,64	19,96	19,99	22120,00	21985,00	222,06	39,95	44105,00
111,45	110,67	19,96	19,99	22130,00	21997,00	222,12	39,95	44127,00
111,43	110,70	19,96	19,99	22126,00	21984,00	222,13	39,95	44110,00
111,43	110,68	19,96	19,99	22116,00	21978,00	222,11	39,95	44094,00
111,37	110,64	19,96	19,99	22079,00	21956,00	222,01	39,95	44035,00
111,36	110,59	19,96	19,95	22091,00	21949,00	221,95	39,91	44040,00
111,40	110,62	19,96	19,99	22084,00	21946,00	222,02	39,95	44030,00
104,52	110,62	32,45	19,99	34214,00	21959,00	215,14	52,44	56173,00
104,36	110,61	31,74	19,95	33821,00	21986,00	214,97	51,69	55807,00
103,25	110,67	32,12	19,99	34125,00	22008,00	213,92	52,11	56133,00
103,98	110,67	32,45	19,99	34120,00	21998,00	214,65	52,44	56118,00
102,78	110,67	32,45	19,99	34201,00	21998,00	213,45	52,44	56199,00
105,40	111,20	32,44	19,99	33987,00	22001,00	216,60	52,43	55988,00
104,65	110,89	32,44	19,95	33871,00	22011,00	215,54	52,39	55882,00
104,82	110,96	32,46	19,99	34120,00	22030,00	215,78	52,45	56150,00
104,02	110,89	32,27	19,95	34105,00	22002,00	214,91	52,22	56107,00
104,05	110,89	31,69	19,95	34121,00	22016,00	214,94	51,64	56137,00
104,67	110,93	32,27	19,95	34200,00	22009,00	215,60	52,22	56209,00
104,78	110,96	32,64	19,95	34154,00	22034,00	215,74	52,59	56188,00
103,94	111,00	32,45	19,95	34354,00	22023,00	214,94	52,40	56377,00
103,74	111,09	32,26	19,95	34210,00	22034,00	214,83	52,21	56244,00
102,60	111,07	32,29	19,95	34100,00	22035,00	213,67	52,24	56135,00
111,08	111,03	19,92	19,95	21999,00	22004,00	222,11	39,87	44003,00
111,11	111,00	19,92	19,95	22014,00	22016,00	222,11	39,87	44030,00
111,09	111,06	19,92	19,95	22006,00	22022,00	222,15	39,87	44028,00
111,09	111,03	19,92	19,95	22007,00	22002,00	222,12	39,87	44009,00
111,12	111,01	19,92	19,95	21993,00	22014,00	222,13	39,87	44007,00
111,08	110,92	19,92	19,91	21977,00	21968,00	222,00	39,83	43945,00
111,01	110,92	19,88	19,91	21952,00	21950,00	221,93	39,79	43902,00
111,03	111,00	19,88	19,91	21954,00	21960,00	222,03	39,79	43914,00
110,98	111,01	19,88	19,91	21943,00	21954,00	221,99	39,79	43897,00
111,01	110,95	19,88	19,70	21946,00	21709,00	221,96	39,58	43655,00
111,01	110,98	19,88	19,66	21957,00	21682,00	221,99	39,54	43639,00
109,1582	110,8126	23,6556	19,9648	25692,28	21989	219,9708	43,6204	47681,28

MEDICIÓN DE CONSUMO DE POTENCIA EN LA MÁQUINA TERMOFORMADORA FINAL

VOLTAJE	VOLTAJE 2	CORRIENTE	CORRIENTE 2	POTENCIA	POTENCIA 2	VOLTAJE TOTAL	CORRIENTE TOTAL	POTENCIA TOTAL
117,26	115,01	17,89	19,88	20469,00	22302,00	232,27	37,77	42771,00
117,96	114,93	17,32	19,84	20471,00	22266,00	232,89	37,16	42737,00
117,88	114,84	17,36	19,80	20462,00	22186,00	232,72	37,16	42648,00
117,99	114,85	17,32	19,88	20483,00	22320,00	232,84	37,20	42803,00
117,85	115,17	17,32	19,88	20467,00	22377,00	233,02	37,20	42844,00
117,77	115,15	17,32	19,88	20473,00	22390,00	232,92	37,20	42863,00
117,88	115,27	17,31	19,88	20737,00	22361,00	233,15	37,19	43098,00
117,35	115,20	17,60	19,92	20647,00	22371,00	232,55	37,52	43018,00
117,41	115,42	17,40	19,43	20569,00	21824,00	232,83	36,83	42393,00
116,09	115,73	17,44	19,39	20256,00	21813,00	231,82	36,83	42069,00
115,96	115,52	17,60	19,68	20541,00	22107,00	231,48	37,28	42648,00
116,10	115,51	17,48	19,76	20320,00	22220,00	231,61	37,24	42540,00
116,16	115,29	17,48	19,84	20513,00	22333,00	231,45	37,32	42846,00
117,44	115,18	17,52	19,80	20422,00	22244,00	232,62	37,32	42666,00
117,60	115,10	17,27	19,84	20359,00	22293,00	232,70	37,11	42652,00
117,66	115,42	17,44	19,88	21016,00	22391,00	233,08	37,32	43407,00
117,10	116,02	17,93	19,92	21065,00	22443,00	233,12	37,85	43508,00
117,69	115,62	17,32	19,92	20426,00	22434,00	233,31	37,24	42860,00
117,68	115,60	17,32	19,92	20404,00	22460,00	233,28	37,24	42864,00
117,51	115,54	17,27	19,96	20349,00	22442,00	233,05	37,23	42791,00
117,49	115,01	17,32	20,00	20372,00	22430,00	232,50	37,32	42802,00
117,60	114,99	17,27	20,00	20360,00	22437,00	232,59	37,27	42797,00
117,27	114,98	17,60	20,00	20654,00	22500,00	232,25	37,60	43154,00
117,29	115,15	17,36	20,00	31067,00	22474,00	232,44	37,36	53541,00
104,00	115,09	29,79	20,00	30705,00	22487,00	219,09	49,79	53192,00
102,80	115,51	29,70	19,52	30516,00	21920,00	218,31	49,22	52436,00
102,72	115,70	29,79	19,47	30607,00	21960,00	218,42	49,26	52567,00
103,05	115,56	29,58	19,72	30521,00	22193,00	218,61	49,30	52714,00
103,11	115,54	29,58	19,84	30768,00	22331,00	218,65	49,42	53099,00
104,46	115,46	29,34	19,92	30606,00	22415,00	219,92	49,26	53021,00
104,54	115,37	29,26	19,88	30585,00	22403,00	219,91	49,14	52988,00
104,61	115,24	29,30	19,92	30978,00	22402,00	219,85	49,22	53380,00
103,80	115,59	30,07	19,96	31237,00	22493,00	219,39	50,03	53730,00
104,44	115,77	29,50	19,92	30883,00	22522,00	220,21	49,42	53405,00
104,03	115,73	29,66	19,96	30963,00	22531,00	219,76	49,62	53494,00
104,19	115,27	29,74	20,05	31026,00	22525,00	219,46	49,79	53551,00
104,11	115,26	29,83	20,05	31012,00	22578,00	219,37	49,88	53590,00
104,00	115,32	29,79	20,05	31011,00	22591,00	219,32	49,84	53602,00
103,66	115,24	30,19	20,05	30546,00	22529,00	218,90	50,24	53075,00
117,52	115,27	17,32	20,05	20371,00	22580,00	232,79	37,37	42951,00
116,60	115,34	17,40	20,05	20182,00	22545,00	231,94	37,45	42727,00
115,77	115,21	17,40	19,88	20324,00	22127,00	230,98	37,28	42451,00
117,20	115,91	17,64	19,47	20305,00	21998,00	233,11	37,11	42303,00
115,90	115,95	17,44	19,84	20654,00	22333,00	231,85	37,28	42987,00
116,20	115,76	17,48	19,84	20502,00	22337,00	231,96	37,32	42839,00
117,05	115,57	17,23	19,92	20245,00	22440,00	232,62	37,15	42685,00
117,10	115,48	17,19	19,84	20210,00	22368,00	232,58	37,03	42578,00
117,37	115,27	17,23	19,92	20689,00	22410,00	232,64	37,15	43099,00
117,45	115,45	17,89	19,96	20149,00	22535,00	232,90	37,85	42684,00
117,23	115,76	17,27	20,00	21022,00	22533,00	232,99	37,27	43555,00
113,18	115,38	21,10	19,87	23790,38	22350,08	228,56	40,97	46140,46

Anexo 4

Código Java

```
import gnu.io.CommPort;
import gnu.io.CommPortIdentifier;
import gnu.io.SerialPort;
import java.io.IOException;
import java.io.InputStream;
import java.io.OutputStream;
public class SerialCommDDSD285
{
    InputStream in;
    OutputStream out;
    SerialPort serialPort;
    SerialReader lectura;
    void cambiarVelocidad(int velocidad)throws Exception
    {
        serialPort.setSerialPortParams(velocidad,SerialPort.
        DATABITS_7,SerialPort.STOPBITS_1,SerialPort.PARITY_E
        VEN);
        in = serialPort.getInputStream();
        lectura.actualizar(in);
    }
    void connect ( String portName ) throws Exception
    {
        CommPortIdentifier portIdentifier =
        CommPortIdentifier.getPortIdentifier(portName);
        if ( portIdentifier.isCurrentlyOwned() )
        {
            System.out.println("Error: Port is currently in use");
        }
        else
        {
            CommPort commPort =
            portIdentifier.open(this.getClass().getName(),2000);

            if ( commPort instanceof SerialPort )
            {
                serialPort = (SerialPort) commPort;

                serialPort.setSerialPortParams(300,SerialPort.DATABITS_7,S
                erialPort.STOPBITS_1,SerialPort.PARITY_EVEN);

                in = serialPort.getInputStream();
                out = serialPort.getOutputStream();
                lectura=new SerialReader(in);

                (new Thread(lectura)).start();

            }
            else
            {
                System.out.println("Error: Only serial ports are
                handled by this example.");
            }
        }
    }
}

/** */
/** */
public static class SerialReader implements Runnable
{
    InputStream in;

    public SerialReader ( InputStream in )
    {
        this.in = in;
    }

    void actualizar (InputStream in)
    {
        this.in=in;
    }

    public void run ()
    {
        byte[] buffer = new byte[1024];
        int len = -1;
        try
        {
            while ( ( len = this.in.read(buffer)) > -1 )
            {
                //System.out.print (len);
                System.out.print(new String(buffer,0,len));
            }
        }
        catch ( IOException e )
        {
            e.printStackTrace();
        }
    }
}

/** */
void SerialWriter (byte[] mensaje)
{
    try
    {
        this.out.write(mensaje);
    }
    catch ( IOException e )
    {
        e.printStackTrace();
    }
}

public static void main ( String[] args )
{
    byte CR=0x0D;
    byte LF=0x0A;
    byte ACK=0x06;
    byte STX=0x02;
    byte ETX=0x03;
    byte NAK=0x15;
    byte SOH=0x01;

    byte[] msj_solicitud =
    {'/','?','0','0','0','0','0','0','0','0','0','6','1','5','1','8','7','6','!',CR,LF};
    byte[] msj_solicitud2 = {'/','?','1','8','7','6','!',CR,LF};
    byte[] msj_solicitud3 = {'/','?','!',CR,LF};
    byte[] msj_reconocimiento = {ACK,'0','2','1',CR,LF};
    byte[] msj_comando_prog =
    {SOH,'P','1',STX,('(', '0','0','0','0','0','0','0','0','0','0'),ETX,0x61};
}
```

```

byte[] msj_comando_prog1 = ATABITS_7,SerialPort.STOPBITS_1,SerialPort.PARITY_EV
{SOH,'P','1',STX,('','0','1','1','1','1','1','1'),ETX,0x61}; EN);
byte[] msj_comando_prog2 = //commSerial.cambiarVelocidad(1200);
{SOH,'P','1',STX,('',''),ETX,0x61}; System.out.println
byte[] msj_comando_prog3 = (commSerial.serialPort.getBaudRate());
{SOH,'P','1',STX,('','0','2','2','2','2','2','2'),ETX,0x61}; }catch (Exception e){e.printStackTrace();}

byte[] msj_comando_lec =
{SOH,'R','1',STX,'1','5','','8','','0','('),ETX,0x6F};
byte[] msj_comando_lec2 = try{new Thread().sleep(1000);}catch (Exception e){}
{SOH,'R','1',STX,'0','','9','','6','('),ETX,0x53};
byte[] msj_comando_lec3 =
{SOH,'R','1',STX,'3','1','','7','('),ETX,0x00};
byte[] msj_comando_lec4 = commSerial.SerialWriter(msj_comando_prog1);
{SOH,'R','1',STX,'3','2','','7','('),ETX,0x00}; try{new Thread().sleep(1500);}catch (Exception e){}
byte[] msj_comando_lec5 = commSerial.SerialWriter(msj_comando_lec3);
{SOH,'R','1',STX,'3','3','','7','('),ETX,0x00}; try{new Thread().sleep(1000);}catch (Exception e){}
byte[] msj_comando_lec6 =
{SOH,'R','1',STX,'1','','8','','F','('),ETX,0x00};
byte[] msj_comando_lec7 = for (int i=0;i<10;i++)
{SOH,'R','1',STX,'3','2','','7','('),ETX,0x00}; {
byte[] msj_comando_lec8 = commSerial.SerialWriter(msj_comando_lec6);
{SOH,'R','1',STX,'3','1','','7','('),ETX,0x00}; try{new Thread().sleep(1000);}catch (Exception e){}
byte[] msj_comando_lec9 = System.out.println();
{SOH,'R','1',STX,'3','5','','7','('),ETX,0x00}; }

byte[] msj_interrupcion = {SOH,'B','0',ETX,'q'};
SerialCommDDSD285 commSerial= new commSerial.SerialWriter(msj_comando_lec7);
try{new Thread().sleep(1000);}catch (Exception e){}
System.out.println();

try
commSerial.SerialWriter(msj_comando_lec8);
{
commSerial.connect("COM6"); try{new Thread().sleep(1000);}catch (Exception e){}
}
} System.out.println();

catch (Exception e)
{
commSerial.SerialWriter(msj_comando_lec9);
// TODO Auto-generated catch block try{new Thread().sleep(1000);}catch (Exception e){}
e.printStackTrace(); System.out.println();
}

commSerial.SerialWriter(msj_solicitud2);
try{new Thread().sleep(1200);}catch (Exception e){}

commSerial.SerialWriter(msj_reconocimiento);

try{new Thread().sleep(600);}catch (Exception e){}

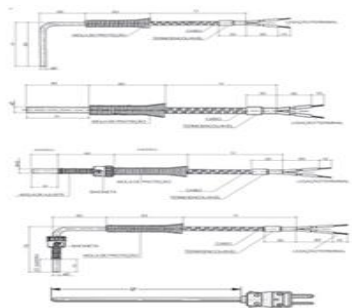
try{
e){}

commSerial.serialPort.setSerialPortParams(1200,SerialPort.D
}

```

ANEXO 5

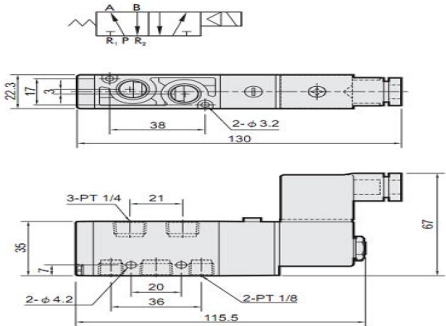
Termocupla tipo J



Válvula Solenoide Mindman MVSC – 220 – 4E1

Especificaciones

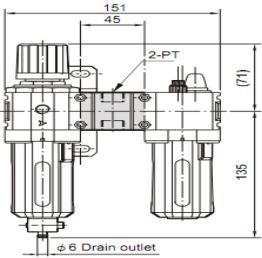
Model	MVSC-220-3E1,E2	MVSC-220-4E1,E2	MVSC-220-4E2C,P,R
Bore No.	8A		
Port size	PT 1/4		
No. of port	3	5	
No. of position	2	2	3
Medium	Air		
Operating pressure range	2~7 kgf/cm ²		3~7 kgf/cm ²
Proof pressure	10 kgf/cm ²		
Effective orifice	18 mm ²		16 mm ²
Response time	30 ms		40 ms
Ambient temperature	5~ 50°C (No freezing)		
Voltage	AC110V, 220V (50/60)Hz, DC24V		
Power consumption	AC=6/4.9VA, DC=2.5W		
Available voltage range	± 10%		
Insulation class	F class		
Weight	203 g	296g	222 g 313 g 421 g



Unidad de mantenimiento Mindman MACP300 – 8A

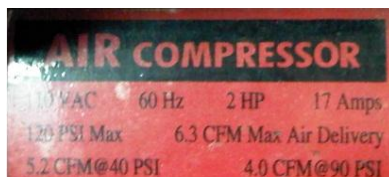
Especificaciones

Model	MACP300	
Components	MAFR300, MAL300	
Bore No.	8A	10A
Port size	PT 1/4	PT 3/8
Medium	Air	
Operating pressure range	0~9.9kgf/cm ² (0~0.99MPa)	
Proof pressure	15kgf/cm ² (1.5MPa)	
Regulation pressure range	0.5~8.5kgf/cm ² (0.05~0.85MPa)	
Ambient temperature	5~ 60°C (No freezing)	
Filtration	Standard: 5 μm Option: 40 μm	
Lubricating oil capacity	55c.c	
Min. Flow for oil drip	50 ℓ/min	60 ℓ/min
Recommended lubricating oil	Turbine oil ISO-VG32	
Attachment	Pressure gauge, T-type bracket	
Weight	720g	

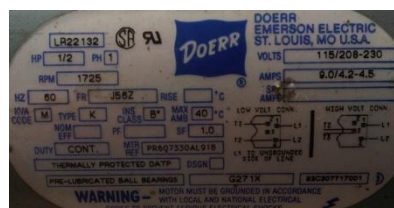


	PT
T8	PT 1/4
T10	PT 3/8

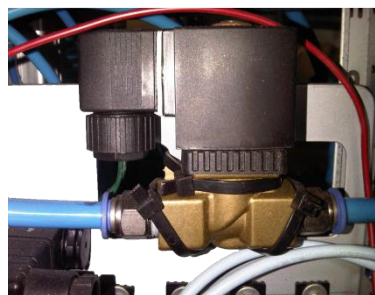
Compresor Discover



Bomba de Vacío DOERR



Válvulas de vacío y aire



Cilindro de Respaldo



Ventilador



Reles



Accionamientos neumáticos



Fuente de Poder

ATX Switching power supply									
VOLTAGE					CURRENT		FREQUENCY		
115V					8A		50Hz		
230V					4A		60Hz		
+3.3V	+5V	+12V	-5V	-12V	+5VSB	PS-ON	POL	COM	
26A	32A	25A	0.6A	0.6A	2A	REMOTE	P.G.	RETURN	
230W	300W	3.0W	7.2W	10W					
530W	550W			20W					

ES CONTIENE PARTES
NO SEER REPARABLES
VENTER FOR REPAIR

WARNING
NIESEL NTER DEFÄHRLICHER SPANNUNG
NICHT VOM BENUTZER ZU REPARIEREN
REPARATUR AN KUNDENDIENST ZURÜCKSENDEN