



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE TUXTLA GUTIÉRREZ



**“Diseño e instalación de red de vacío inteligente para la empresa Innovación
en Empaque Transparente S.A de C.V. ”**

P R E S E N T A

Daniel Alejandro Alemán Cordero

Carrera

Ingeniería Mecánica

Departamento

METAL-MECANICA

Asesores: Ing. José Manuel Rasgado Bezares

Ing. Jean Paul Sylvain Bourlonton

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos aquellos que creyeron en mí, a aquellos que esperaban mi éxito en cada paso que daba hacia la culminación de mis estudios, a aquellos que esperaban que lograra terminar la carrera, a todos aquellos que sin importar cualquier cosa, estuvieron a mi lado apoyándome y alentándome a superar mis fracasos día a día, y aprender de ellos para nunca volver a caer en ellos.

Se lo dedico principalmente a mis padres, que siempre han luchado por cumplir mis sueños y verme triunfar, teniendo paso firme en cada decisión de mi vida.

A mis hermanos, que a pesar de todo, siempre me alentaron a superarme, a querer aprender más día a día.

A mi novia y a sus padres, que me han aconsejado y alentado a seguir mis sueños, y enseñarme que para lograrlo hay que estar dispuesto a sacrificar muchas cosas, si es que realmente lo deseamos, teniendo voluntad, dedicación y esfuerzo en ello.

A mis maestros, que fueron mis guías y amigos en todo momento, apoyándome, aconsejándome y alentándome a superarme, teniendo confianza en todos los proyectos realizados.

Contenido

| | |
|---|-----|
| DEDICATORIA | i |
| GLOSARIO | vii |
| INTRODUCCIÓN | x |
| Capítulo 1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA | 1 |
| 1.1. DATOS GENERALES | 1 |
| 1.2. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA | 2 |
| 1.3. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA | 3 |
| 1.4. MISIÓN | 3 |
| 1.5. PRINCIPALES PRODUCTOS Y CLIENTES | 4 |
| 1.6. PREMIOS Y CERTIFICACIONES. | 4 |
| 1.7. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ | 5 |
| 1.7.1 AREA DE TERMOFORMADOS | 5 |
| 1.7.2 MOLDES | 7 |
| 1.7.3 PROCESO DE SUAJE | 8 |
| 1.7.4 PRODUCTO TERMINADO | 8 |
| 1.7.5 FUNCIONES Y UBICACIÓN DEL RESIDENTE | 10 |
| Capítulo 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 11 |
| 2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 11 |
| 2.2. OBJETIVOS | 11 |
| 2.2.1. GENERALES | 11 |
| 2.2.2. ESPECÍFICOS | 12 |
| 2.3. JUSTIFICACIÓN | 12 |
| Capítulo 3. MARCO TEORICO | 13 |
| 3.1 FLUJO EN TUBERIAS | 13 |
| 3.1.1 FLUJOS LAMINAR Y TURBULENTO | 15 |
| 3.1.2 NUMERO DE REYNOLDS | 16 |
| 3.1.2.1 FLUJO LAMINAR EN TUBERIAS | 17 |
| 3.1.2.2 CAIDA DE PRESION Y PERDIDA DE CARGA | 20 |
| 3.1.2.3 FLUJO TURBULENTO EN TUBERIAS | 22 |
| 3.1.2.3.1 DIAGRAMA DE MOODY | 23 |

| | |
|---|----|
| 3.1.2.3.2 PERDIDAS MENORES | 24 |
| 3.2 MODELO DE DISEÑO UAM AZT | 26 |
| 3.3 HERRAMIENTAS TECNOLOGICAS VIRTUALES | 27 |
| 3.3.1 ARDUINO® | 27 |
| 3.3.2 PROTEUS DESIGN SUITE | 28 |
| Capítulo 4. DESARROLLO DEL PROYECTO | 30 |
| 4.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS | 30 |
| 4.1.1 PROTOTIPOS | 30 |
| 4.1.2 CALCULOS MATEMATICOS | 31 |
| Capítulo 5. RESULTADOS | 36 |
| 5.1 BENEFICIOS | 36 |
| Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 38 |
| REFERENCIAS | 39 |
| ANEXO A DIAGRAMA ELECTRICO | 40 |
| ANEXO B PROGRAMA DE CONTROL | 41 |
| ANEXO C INSTALACION | 43 |
| APENDICE A | 48 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| <i>Tabla 1 Lista de los principales clientes de INNOVET S.A de C.V.</i> | <i>4</i> |
| <i>Tabla 2 Clasificación de los regímenes de flujo</i> | <i>17</i> |
| <i>Tabla 3 Tamaño estándar para tubos de acero con cédula 40</i> | <i>24</i> |
| <i>Tabla 4 Datos obtenidos de pruebas en el tanque de almacenamiento</i> | <i>31</i> |
| <i>Tabla 5 Valores obtenidos de la tabla 7 del apéndice A</i> | <i>32</i> |
| <i>Tabla 6 Propiedades del aire a 1 atm de presión.....</i> | <i>48</i> |
| <i>Tabla 7 Coeficiente de pérdida K_L de varios accesorios de tubería para flujo turbulento</i> | <i>49</i> |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.- Fotografía tomada satelitalmente que muestra calles y avenidas cercanas a la empresa donde se realizó el proyecto | 1 |
| Figura 2 Organigrama de la empresa INNOVET S.A de C.V. | 3 |
| Figura 3 Máquina termoformadora, denominada TA-3..... | 5 |
| Figura 4 Máquina termoformadora, denominada TA-1..... | 6 |
| Figura 5 Panel de control TA-1 | 6 |
| Figura 6 Termoformadora chica 2, nombrada como TCH-II..... | 7 |
| Figura 7 Fabricación de moldes en aluminio | 7 |
| Figura 8 Prensa hidráulica y suaje. Máquina denominada TCH-2..... | 8 |
| Figura 9 Empaquetado de producto | 9 |
| Figura 10 Estibado de producto terminado..... | 9 |
| Figura 11 Defectos de formado, son ocasionados por: a) exceso de calor; b) exceso de calor y acumulación de material en la zona. | 10 |
| Figura 12 La velocidad promedio V_{prom} se define como la rapidez de avance de fluido promedio a través de una sección transversal. Para flujo laminar totalmente desarrollado en tubería, V_{prom} es la mitad de la velocidad máxima. | 13 |
| Figura 13 Regímenes de flujo laminar y turbulento del humo de una vela. | 15 |
| Figura 14 El número de Reynolds se puede considerar como la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas que actúan sobre un elemento de fluido. | 16 |
| Figura 15 Diagrama de cuerpo libre de un elemento diferencial. | 18 |
| Figura 16 La intensa mezcla en el flujo turbulento lleva a las partículas de fluido a diferentes cantidades de movimiento al contacto cercano y, por lo tanto, mejora la transferencia de la cantidad de movimiento. | 22 |
| Figura 17 Fluctuaciones del componente de velocidad u con el tiempo en una posición especificada de flujo turbulento..... | 22 |
| Figura 18 Para un tramo de una tubería de diámetro constante con un accesorio de pérdida menor, el coeficiente de pérdida se determina cuando se mide la pérdida de presión adicional que el accesorio provoca y se divide por la presión dinámica en la tubería. | 25 |
| Figura 19 Modelo AUM | 26 |
| Figura 20 Logotipo Arduino®..... | 27 |
| Figura 21 Proteus Design Suite 8.0..... | 29 |
| Figura 22 Prototipo 2 | 30 |
| Figura 23 Prototipo 1 | 30 |
| Figura 24 Normas aplicadas en el desarrollo e instalación del proyecto | 34 |
| Figura 25 Pruebas iniciales de funcionamiento | 35 |
| Figura 26 Instalación de una segunda bomba | 35 |
| Figura 27 Prueba inicial..... | 37 |
| Figura 28 Diagrama de conexión eléctrico para una bomba de vacío | 40 |
| Figura 29 Programa de control del sistema..... | 42 |
| Figura 30 Limpieza de panel para el control | 43 |
| Figura 31 Mantenimiento al pulmón principal | 43 |
| Figura 32 Trabajo finalizado..... | 44 |
| Figura 33 Instalación de tubería en planta | 44 |
| Figura 34 cableado en panel | 45 |
| Figura 35 Eliminación de situación insegura. | 45 |
| Figura 36 Eliminación de contaminantes en planta..... | 46 |
| Figura 37 Instalación de sistema de protección y control. | 46 |
| Figura 38 Antes y después de la implementación. | 47 |

Figura 39 Presiones aportadas por las diferentes bombas de vacío47
*Figura 40 El diagrama de Moody para el factor fricción para flujo totalmente desarrollado en tuberías
circulares para usar en la relación de pérdida de carga. Los factores de fricción en el flujo turbulento se
evalúan a partir de la ecuación de Colebrook.48*

GLOSARIO

Presión

Es la fuerza ejercida por un fluido sobre una superficie por unidad de área.

Gas

Estado de la materia en el que la sustancia medida entre moléculas es mayor que su tamaño, y estas tienen libertad de movimiento.

Presión de vacío

Espacio o volumen en el que la presión es menor que la presión atmosférica.

Bomba de vacío

Dispositivo mecánico que extrae moléculas de gas de un volumen sellado, creando un vacío parcial.

Índice de compresión

Es el cociente entre la presión parcial de un gas a la salida-expulsión de una determinada bomba de vacío con respecto a su boca de entrada-succión, sin flujo de gas.

Presión final alcanzable

Se define como la presión más baja que se puede conseguir con una bomba de vacío.

Velocidad de bombeo

Es el volumen de gas desplazado en la unidad de tiempo, a una determinada presión en la boca de succión de la bomba de vacío.

Flujo viscoso turbulento

Es el recorrido libre de las moléculas es mucho menor que el diámetro (d), de la conducción por la que se mueven ($\lambda \ll d$). Además, las líneas de corriente de gas

no son paralelas, sino que parecen remolinos. Esto se produce cuando se comienza a evacuar una cámara de vacío.

Flujo viscoso laminar

Las líneas de corriente son paralelas y el recorrido libre de las moléculas es menor que el diámetro de la sección por la que se mueven ($\lambda < d$). Este tipo de flujo es el que se produce cuando se hace vacío grueso y medio.

TA-3

Nombre que recibe la máquina termoformadora #3

TA-1

Nombre que recibe la máquina termoformadora #1

Suaje

Elemento de corte, consta de un conjunto de flejes de corte con la forma de la pieza, también llamado como molde de corte.

Proceso de suaje

Proceso en que las piezas termoformadas son individualizadas. Este proceso se logra mediante el uso de un suaje y una prensa hidráulica.

Problemas de termoformado:

Arañas

Deformación presentada en el termoformado por exceso de calor y por deficiencia de presión de vacío.

Redondeo

Deformación presentada en el termoformado por deficiencia de calor.

Blanqueamiento

Deformación presentada en el termoformado por exceso de calor.

Tubo

Tramo de flujo de sección transversal circular, especialmente cuando el fluido es un líquido.

Ducto

Tramo de flujo de sección transversal no circular, especialmente cuando el fluido es un gas.

Fluctuación

Es una entrada que alude al incremento y reducción y de manera alternada, es decir, es la variación, alteración o transformación en el valor, cualidad o intensidad.

Pulmón principal

Tanque de almacenamiento de la presión de vacío

INTRODUCCIÓN

El presente informe de residencia se desarrolló en la empresa Innovación en empaque transparente S.A de C.V, ubicada en Av. del Marqués No. 38, nave 5, conjunto Pecaco, col. Parque industrial Bernardo Quintana, C.P. 76240 en la ciudad de Querétaro, Querétaro, México.

Innovet es un grupo de empresas dedicadas a la fabricación de empaques a la medida, protegiendo el producto sin ocultarlo, aportando gran seguridad y estética para alcanzar un mayor atractivo visual. Ofrecen diversas opciones de colores, calibres y materiales como PVC, PET, Estireno, Polietileno, Polipropileno. Otorgando soluciones de empaque, ofreciendo una asesoría integral desde el diseño hasta el envío de los productos al por menor y mejorando la imagen de los productos.

El informe se desarrolló en un periodo de 6 meses, que comprende del mes de enero a Junio de 2017, en el cuál se satisfizo la necesidad de diseñar e instalar una red de vacío inteligente en el área de producción, para la alimentación de las máquinas termoformadoras, con la finalidad de garantizar una presión de vacío, adecuada para cada una de ellas y eliminando tuberías de expulsión de gases de cada bomba.

El tema del vacío no es tan conocido, debido a los usos específicos que se le dan, es por ello, que la información plasmada en el presente reporte podrá ser de gran ayuda para cualquier persona interesada, facilitando su búsqueda.

Capítulo 1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1. DATOS GENERALES

Innovación en empaque transparente S.A de C.V.

La empresa está ubicada en Av. de Marques No. 38, Conjunto Industrial Pecaco Nave 4 y 5 Parque Industrial Bernardo Quintana, C.P 76240, El Marques, Querétaro.

Tel. (442) 2215943 Y 2215602, tiene como página web www.termoformadosyblister.com



Figura 1.- Fotografía tomada satelitalmente que muestra calles y avenidas cercanas a la empresa donde se realizó el proyecto

Giro de la organización: Manufactura

Tamaño de la empresa: Pequeña

Rama: Plásticos

1.2. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA

La empresa se fundó en el año de 1998, iniciando con una planta en D.F., durante sus inicios se elaboraban diferentes productos de formado, sello y armado de ofertas para el mercado del termoformado.

Para el año 2007 se constituye la nueva razón social de “Innovación en empaque transparente S.A. de C.V.”, bajo la marca de INNOVET. El centro de operaciones se establece en Querétaro, ubicación que hasta la fecha sigue vigente.

En D.F., se queda una empresa como Solgistika S.A. de C.V. Las empresas Solgistika e Innovet se fusionan en 2011, prestando servicios de complemento a la entrega de los productos de empaque.

La empresa inicia la profesionalización e implementación de procesos en 2012, todo ello con metas a la implementación de la norma ISO 9001, este proceso de certificación se inicia en 2013. Intertek da la certificación a la empresa Innovet en 2014.

1.3. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA.

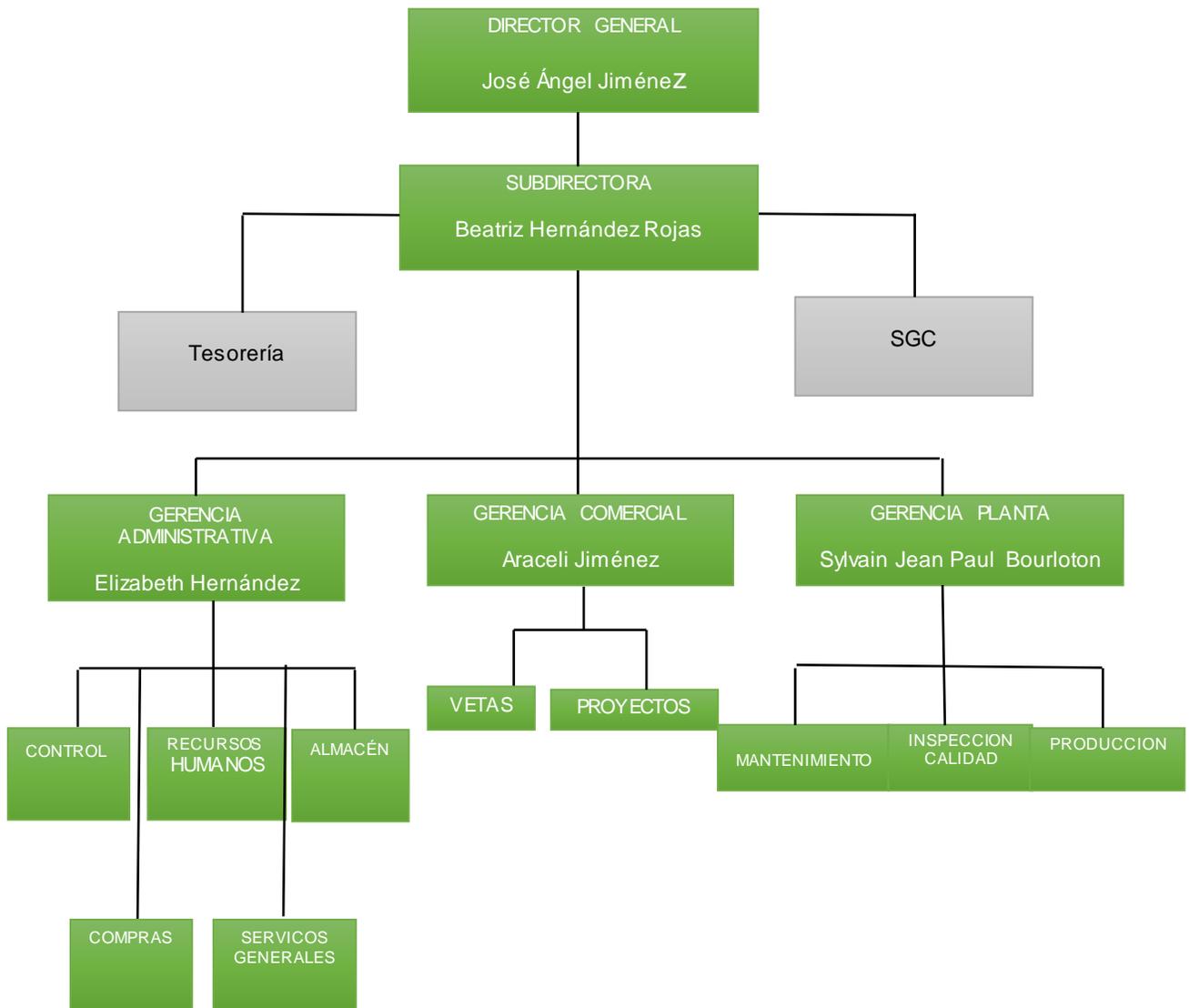


Figura 2 Organigrama de la empresa INNOVET S.A de C.V.

1.4. MISIÓN

“Satisfacer las necesidades y requerimientos de nuestros clientes en la fabricación de productos plásticos termoformados en los diferentes sectores de la industria”

Visión

VISIÓN 2020

- Seremos la empresa líder en termoformado de la Región Bajío, dominando el sector automotriz y teniendo presencia en el sector de alimentos.

- Responderemos a las necesidades de los clientes con la tecnología más reciente y una eficiente administración por procesos.
- Consolidaremos un equipo humano altamente productivo, estable y bien remunerado.
- Garantizaremos la rentabilidad para los accionistas y la Reinversión para el desarrollo del negocio.

Política de Calidad

“Estamos comprometidos a garantizar la satisfacción del cliente mediante la entrega a tiempo de productos que cumplan con las especificaciones requeridas y mantener un sistema de gestión de calidad que mejore continuamente los procesos internos para lograr los objetivos definidos.”

1.5. PRINCIPALES PRODUCTOS Y CLIENTES

[Tabla 1 Lista de los principales clientes de INNOVET S.A de C.V.](#)

| Principales clientes | |
|-----------------------------|------------------------|
| Aranda salud animal | TRW Automotive |
| PlantaNova | Bticino |
| Tramontina | Jafra |
| Pedigree | ITW |
| Xbox 360 | Galletas Juanita |
| Valeo | Productos Pennsylvania |

1.6. PREMIOS Y CERTIFICACIONES.

Sistema de Gestión de Calidad certificado desde Julio de 2014 por Intertek bajo la norma ISO 9001: 2008

(Innovación en Empaque Transparente S.A de C.V., 2009)

1.7. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ

1.7.1 AREA DE TERMOFORMADOS

En esta área se lleva acabo el termoformado del plástico para convertirlo en diferentes tipos de recipientes. El cuál, es la principal actividad de la empresa, en el que una película plástica, de diferentes calibres, pasa por un horno equipado con resistencias cerámicas, lo cual emblandece el material y, mediante un molde y una campana, se le aplica presión para darle la forma deseada. Para evitar sobrecalentamientos del molde, este se encuentra equipado con una placa de refrigeración, que le ayuda a mantener una temperatura estable. A este tipo de máquinas se les denominan termoformadoras.

Al tener las piezas termoformadas, estas son suajadas para así ser empacadas y entregadas a sus clientes. El equipo de calidad está siempre pendiente en cada uno de los procesos, para garantizar que el producto cumpla con los estándares.

A continuación se presentan las maquinas utilizadas en el área de producción, para los productos que la empresa distribuye.

MAQUINAS TERMOFORMADORAS



[Figura 3 Máquina termoformadora, denominada TA-3](#)



[Figura 4 Máquina termoformadora, denominada TA-1](#)



[Figura 5 Panel de control TA-1](#)

Todas la máquinas termoformadoras cuentan con un PLC marca Bradley Allen, que controla la máquina variando el tiempo de formado, el tiempo de vacío y el retardo para cada ciclo.



[Figura 6 Termoformadora chica 2, nombrada como TCH-II.](#)

En la figura 3 se observa la termoformadora chica 2, el cuál a diferencia de la TA-3, está es manual y no cuenta con una placa de enfriamiento, haciendo que su uso sea limitado. La máquina está compuesta por un panel de control donde se puede iniciar y terminar el proceso, también cuenta con panel donde se observa las temperaturas de las resistencias que contiene el horno.

(Innovacion en empaque transparente S.A de C.V., 2010)

1.7.2 MOLDES

Cada uno de ellos son diseñados y maquinados por la empresa, en el área de maquinados, desarrollan el proyecto utilizando la pieza que será empaquetada, esta es proporcionada por el cliente. Para el diseño, utilizan el programa SOLIDWORKS® y una maquina CNC de 5 ejes.

A continuación se presentan algunos moldes



[Figura 7 Fabricación de moldes en aluminio](#)

1.7.3 PROCESO DE SUAJE

Suaje es el proceso en el que las piezas termoformadas son individualizadas, en sus formas diseñadas, la máquina utilizada es una prensa hidráulica, en el que se le coloca un molde con flejes de corte, denominado suaje, que lleva la forma requerida del producto, como se puede observar en la figura 8.



[Figura 8 Prensa hidráulica y suaje. Máquina denominada TCH-2](#)

1.7.4 PRODUCTO TERMINADO

Después del proceso de suaje, las piezas pasan por la aduana, en la que son inspeccionadas por el personal de calidad, garantizando de esta manera que el producto terminado cumpla con las especificaciones del cliente.



[Figura 9 Empaquetado de producto](#)



[Figura 10 Estibado de producto terminado](#)

(Innovacion en empaque transparente S.A de C.V., 2010)

1.7.5 FUNCIONES Y UBICACIÓN DEL RESIDENTE

Funciones a desempeñar

Desarrollo de una red inteligente de vacío, capaz de satisfacer las necesidades de consumo, para las máquinas termoformadoras, cumpliendo con las especificaciones requeridas para cada producto; utilizando un controlador, que permita controlar el orden de encendido de cada bomba.

Funciones adicionales

Operador del área de producción, con la responsabilidad de una máquina termoformadora, en un turno de 12 horas de lunes a jueves. Responsable de que las piezas termoformadas no tuvieran defectos, principalmente lo que se conoce como arañas, marcas de la campana, redondeo, blanqueamiento, manchas, entre otros. Observar figura 11



a) Blanqueamiento

b) Arañas

[Figura 11 Defectos de formado, son ocasionados por: a\) exceso de calor; b\) exceso de calor y acumulación de material en la zona.](#)

Capítulo 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Dentro del área de producción, las máquinas termoformadoras tienen un sistema de vacío independiente, el cual hace que exista mayores incidentes de paros inesperados en las máquinas por mantenimiento correctivo y piezas mal formadas por la disminución de su rendimiento, de igual manera, éstas bombas liberan gases contaminantes que son dirigidos a través de mangueras hacia el exterior, pudiendo provocar un accidente, ya que se encuentran ubicadas sobre el suelo y representan una situación insegura para los operadores, así como también una situación insalubre.

Como consecuencia a los deficientes planes de mantenimiento adoptados e ineficientes instalaciones para los ductos de escape, se planea mover las bombas de vacío hacia la parte posterior de la planta, en donde alimentarán de manera inteligente un tanque, que será el pulmón principal para las máquinas, por medio de un microcontrolador Arduino®, que será el encargado de determinar que bomba encender, de acuerdo a las necesidades del sistema, evitando de esta manera tener prendidas todas las bombas a la vez.

Para cumplir con lo anterior, en primera instancia se tomarán en cuenta los aspectos de diseño de cada bomba de vacío existente, con la finalidad de que se pueda realizar una primera etapa de pruebas, antes de montar todo el sistema, así como también realizar una simulación para poder comparar los resultados obtenidos.

2.2. OBJETIVOS

2.2.1. GENERALES.

Diseñar, instalar y poner en servicio una red inteligente de vacío, para distribuirla hacia las máquinas termoformadoras, con un encendido programado, que alimentarán al tanque principal.

2.2.2. ESPECÍFICOS.

- Obtener una presión óptima en el pulmón principal
- Garantizar un rango de presiones, en las termoformadoras, para el correcto formado de los productos.
- Desarrollar un sistema de control para el encendido programado de las diferentes bombas de vacío
- Poner en servicio la red de vacío, cubriendo las necesidades de cada producto.
- Eliminar situación insegura provocada por los ductos de escape de las bombas de vacío.
- Optimización de espacio

2.3. JUSTIFICACIÓN

El diseño e instalación de la red inteligente de vacío, en la empresa Innovet, ayudará a manejar de una manera más eficiente este recurso, debido a que actualmente, cada máquina termoformadora cuenta con su propia bomba de vacío, corriendo el riesgo de presentar un fallo en algún momento inesperado, provocando una pérdida económica para la empresa debido a los tiempos muertos. Es por ello, que la instalación de la red inteligente de vacío reducirá este tipo de situaciones y aumentará el rango de presiones en cada termoformadora, garantizando el correcto formado de los productos.

Capítulo 3. MARCO TEORICO

3.1 FLUJO EN TUBERIAS

El flujo de un líquido o de un gas a través de tuberías o ductos se usa comúnmente en sistemas de calefacción y enfriamiento y en redes de distribución de fluido. El fluido en estas aplicaciones usualmente se fuerza a fluir mediante un ventilador o bomba a través de una sección del flujo. Se pone particular atención a la fricción, que se relaciona directamente con la caída de presión y las pérdidas de carga durante el flujo a través de tuberías y ductos. Entonces, la caída de presión se usa para determinar la potencia necesaria de bombeo. Un sistema de tuberías típico incluye tuberías de diferentes diámetros, unidas entre sí mediante varias uniones o codos para dirigir el fluido, válvulas para controlar la razón de flujo y bombas para presurizar el fluido.

Dado que los resultados experimentales se obtienen en condiciones de laboratorio cuidadosamente controladas y que dos sistemas no son exactamente iguales, no se debe ser ingenuo para ver los resultados obtenidos como “exactos”. Un error de 10 por ciento (o más) en los factores de fricción que se han calculado con el uso de las relaciones en este capítulo es la “norma” más que la “excepción”.

La velocidad del fluido en una tubería cambia de cero en la superficie debido a la condición de no-deslizamiento hasta un máximo en el centro de la tubería.

En el flujo de fluidos, es conveniente trabajar con una velocidad promedio V_{prom} , que permanece constante en flujo incompresible cuando el área de la sección transversal de la tubería es constante (Fig.12). La velocidad promedio en aplicaciones de calentamiento y enfriamiento puede cambiar un poco, debido a transformaciones en la densidad que crea la temperatura. Pero, en la práctica, se evalúan las propiedades del fluido a cierta temperatura

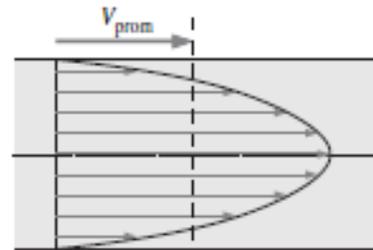


Figura 12 La velocidad promedio V_{prom} se define como la rapidez de avance de fluido promedio a través de una sección transversal. Para flujo laminar totalmente desarrollado en tubería, V_{prom} es la mitad de la velocidad máxima.

promedio y se les trata como una constante. La conveniencia de trabajar con propiedades constantes usualmente justifica la ligera pérdida en exactitud.

Además, la fricción entre las partículas del fluido en una tubería ocasiona una ligera elevación en la temperatura del fluido, como resultado de la transformación de la energía mecánica en energía térmica sensible. Pero, este aumento de temperatura debido al calentamiento por fricción, por lo general, es muy bajo para garantizar cualquier consideración en los cálculos y por lo tanto se le pasa por alto. Por ejemplo, en ausencia de cualquier transferencia de calor, no se puede detectar una diferencia apreciable entre las temperaturas interior y exterior del agua que fluye en una tubería. La consecuencia primordial de la fricción en el flujo de fluidos es la caída de presión, y por tanto cualquier cambio importante en la temperatura del fluido se debe a transferencia de calor.

El valor de la velocidad promedio V_{prom} en cierta sección transversal de flujo se determina a partir del requisito de que se satisfaga el principio de conservación de masa (Fig. 12). Esto es:

$$\dot{m} = \rho V_{\text{prom}} A_c = \int_{A_c} \rho u(r) dA_c$$

Ecuación 1 (A. Cengel & M. Cimbala, 2012)

donde \dot{m} es la razón de flujo de masa, ρ es la densidad, A_c es el área de sección transversal y $u(r)$ es el perfil de velocidad. Entonces, la velocidad promedio para flujo incompresible en una tubería circular de radio R se puede expresar como:

$$V_{\text{prom}} = \frac{\int_{A_c} \rho u(r) dA_c}{\rho A_c} = \frac{\int_0^R \rho u(r) 2\pi r dr}{\rho \pi R^2} = \frac{2}{R^2} \int_0^R u(r) r dr$$

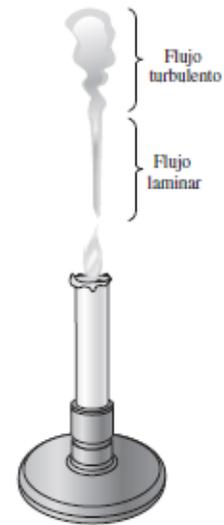
Ecuación 2

En consecuencia, cuando se conoce la razón de flujo o el perfil de velocidad, la velocidad promedio se puede determinar fácilmente.

3.1.1 FLUJOS LAMINAR Y TURBULENTO

Se dice que el régimen de flujo laminar se caracteriza por líneas de corrientes suaves y movimiento sumamente ordenado; mientras que por otro lado, el flujo turbulento, y se caracteriza por fluctuaciones de velocidad y movimiento desordenado. La transición de flujo laminar a turbulento no ocurre repentinamente; más bien, sucede sobre cierta región en la que el flujo fluctúa entre flujos laminar y turbulento antes de volverse totalmente turbulento. (Fig. 13).

El flujo laminar se encuentra cuando los fluidos muy viscosos, como los aceites, fluyen en pequeñas tuberías o pasajes estrechos.



[Figura 13 Regímenes de flujo laminar y turbulento del humo de una vela.](#)

Es posible verificar la existencia de dichos regímenes de flujo laminar, transicional y turbulento cuando se inyectan algunas líneas de colorante en el flujo en una tubería de vidrio, como hizo el ingeniero británico Osborne Reynolds (1842-1912) hace más de un siglo. Él observó que las líneas de colorante formaban una línea recta y suave a bajas velocidades cuando el flujo era laminar (es posible verlas un poco borrosas debido a la difusión molecular), tenían estallidos de fluctuaciones en el régimen transicional y zigzagueaban rápida y aleatoriamente cuando el flujo se volvía totalmente turbulento. Dichos zigzagueos y la dispersión del colorante son indicadores de las fluctuaciones en el flujo principal y la rápida mezcla de las partículas de fluido de capas adyacentes.

La intensa mezcla del fluido en el flujo turbulento como resultado de las rápidas fluctuaciones mejora la transferencia de cantidad de movimiento entre las partículas del fluido, lo que aumenta la fuerza de fricción sobre la superficie y por tanto la potencia de bombeo necesaria. El factor de fricción alcanza un máximo cuando el flujo se vuelve totalmente turbulento.

3.1.2 NUMERO DE REYNOLDS

La transición de flujo laminar a turbulento depende de la geometría, la rugosidad de la superficie, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido, entre otros factores. Después de experimentos exhaustivos, Osborne Reynolds descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido.

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} \\
 &= \frac{\rho V_{\text{prom}}^2 L^2}{\mu V_{\text{prom}} L} \\
 &= \frac{V_{\text{prom}} L}{\mu} \\
 &= \frac{V_{\text{prom}} L}{\nu}
 \end{aligned}$$

Figura 14 El número de Reynolds se puede considerar como la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas que actúan sobre un elemento de fluido.

Esta razón se llama **número de Reynolds** y se expresa para flujo interno en una tubería circular como (Fig. 14)

$$Re = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{V_{\text{prom}} D}{\nu} = \frac{\rho V_{\text{prom}} D}{\mu}$$

Ecuación 3

donde V_{prom} = velocidad de flujo promedio (m/s), D = longitud característica de la geometría (diámetro en este caso, en m), y $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ = viscosidad cinemática del fluido (m^2/s).

El número de Reynolds en donde el flujo se vuelve turbulento se llama número de Reynolds crítico, Re_{cr} . El valor del número de Reynolds crítico es diferente para geometrías y condiciones de flujo distintas. Para flujo interno en una tubería circular, el valor generalmente aceptado del número de Reynolds crítico es $Re_{\text{cr}} = 2\,300$.

El diámetro hidráulico se define de modo que se reduce a diámetro común D para tuberías circulares:

Tuberías circulares:

$$D_h = \frac{4A_c}{p} = \frac{4(\pi D^2/4)}{\pi D} = D$$

Ecuación 4

donde A_c es el área de sección transversal de la tubería y p es su perímetro húmedo.

Es evidente que la transición de flujo laminar a turbulento también depende del grado de perturbación del flujo por la rugosidad de la superficie, las vibraciones de la tubería y las fluctuaciones en el flujo. En la mayoría de las condiciones prácticas, el flujo en una tubería circular es laminar para $Re \leq 2\,300$, turbulento para $Re \geq 4\,000$, y transicional entre ellos. Es decir

Tabla 2 Clasificación de los regímenes de flujo

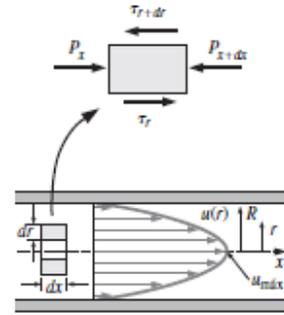
| | |
|------------------------------------|--------------------|
| $Re \approx 2\,300$ | flujo laminar |
| $2\,300 \approx Re \approx 4\,000$ | flujo transicional |
| $Re \approx 4\,000$ | flujo turbulento |

3.1.2.1 FLUJO LAMINAR EN TUBERIAS

En esta sección se considera el flujo laminar estacionario de un fluido incompresible con propiedades constantes en la región totalmente desarrollada de una tubería circular recta. Se obtiene la ecuación de cantidad de movimiento cuando se aplica un equilibrio de cantidad de movimiento a un elemento diferencial de volumen, y cuando se resuelve se obtiene el perfil de velocidad. Luego se utiliza para lograr una relación para el factor de fricción.

En flujo laminar totalmente desarrollado, cada partícula de fluido se desplaza a una velocidad axial constante a lo largo de una línea de corriente y el perfil de velocidad $u(r)$ permanece invariable en la dirección del flujo. No hay movimiento en la dirección radial y por tanto el componente de velocidad en la dirección normal al flujo es cero en todas partes. No hay aceleración porque el flujo es estacionario y totalmente desarrollado.

Considere ahora un elemento diferencial de volumen con forma de anillo de radio r , grosor dr y longitud dx orientado coaxialmente con la tubería, como se muestra en la figura 15. El elemento de volumen incluye sólo efectos de presión y viscosos y por lo tanto la presión y las fuerzas de corte se equilibran entre sí. La fuerza de presión que actúa sobre una superficie plana sumergida es el producto de la presión en el centroide de la superficie y el área de la superficie. Un equilibrio de fuerzas sobre el elemento de volumen en la dirección del flujo produce:



[Figura 15 Diagrama de cuerpo libre de un elemento diferencial.](#)

$$(2\pi r dr P)_x - (2\pi r dr P)_{x+dx} + (2\pi r dx \tau)_r - (2\pi r dx \tau)_{r+dr} = 0$$

Ecuación 5

esto indica que, en flujo totalmente desarrollado en una tubería horizontal, las fuerzas viscosas y de presión se equilibran mutuamente. Cuando se divide entre $2\pi r dr dx$ y se reordena

$$r \frac{P_{x+dx} - P_x}{dx} + \frac{(r\tau)_{r+dr} - (r\tau)_r}{dr} = 0$$

Ecuación 6

Cuando se toma el límite conforme $dr, dx \rightarrow 0$ se obtiene:

$$r \frac{dP}{dx} + \frac{d(r\tau)}{dr} = 0$$

Ecuación 7

Cuando se sustituye $\tau = -\mu \left(\frac{du}{dr}\right)$ y se toma $\mu = \text{constante}$ se produce la ecuación deseada:

$$\frac{\mu}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{du}{dr} \right) = \frac{dP}{dx}$$

Ecuación 8

La cantidad du/dr es negativa en flujo de tubería, y el signo negativo se incluye para obtener valores positivos para t . (O $du/dr = -du/dy$ porque $y = R - r$.) El lado izquierdo

de la ecuación 8 es función de r y el lado derecho es función de x . La igualdad se debe sostener para cualquier valor de r y x , y una igualdad de la forma $f(r) = g(x)$ sólo se puede satisfacer si tanto $f(r)$ como $g(x)$ son iguales a la misma constante. Por lo tanto, se concluye que $dP/dx = \text{constante}$.

$$\frac{dP}{dx} = -\frac{2\tau_w}{R}$$

Ecuación 9

Aquí τ_w es constante porque la viscosidad y el perfil de velocidad son constantes en la región totalmente desarrollada. Por lo tanto, $dP/dx = \text{constante}$. La ecuación 8 puede resolverse por lineamiento o integración hasta por dos veces para dar

$$u(r) = \frac{1}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) r^2 + C_1 \ln r + C_2$$

Ecuación 10

El perfil de velocidad $u(r)$ se obtiene cuando se aplican las condiciones de frontera $\frac{\partial u}{\partial r} = 0$ en $r = 0$ (debido a la simetría en torno a la línea central) y $u = 0$ en $r = R$ (la condición de no-deslizamiento en la superficie de la tubería). Se obtiene:

$$u(r) = -\frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

Ecuación 11

En consecuencia, el perfil de velocidad en flujo laminar totalmente desarrollado en una tubería es parabólico con un máximo en la línea central y mínimo (cero) en la pared de la tubería. Además, la velocidad axial u es positiva para cualquier r , y por lo tanto el gradiente de presión axial dP/dx debe ser negativo (es decir: la presión debe disminuir en la dirección del flujo debido a efectos viscosos). La velocidad promedio se determina a partir de su definición cuando se sustituye la ecuación 11 en la ecuación 2 y se realiza la integración. Ello produce:

$$V_{\text{prom}} = \frac{2}{R^2} \int_0^R u(r)r \, dr = \frac{-2}{R^2} \int_0^R \frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) r \, dr = -\frac{R^2}{8} \left(\frac{dP}{dx} \right)$$

Ecuación 12

Cuando se combinan las últimas dos ecuaciones, el perfil de velocidad se reescribe como:

$$u(r) = 2V_{\text{prom}} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

Ecuación 13

Ésta es una forma conveniente para el perfil de velocidad porque V_{prom} se puede determinar fácilmente a partir de la información de la razón de flujo. La velocidad máxima ocurre en la línea central y se determina a partir de la ecuación 13 cuando se sustituye $r = 0$,

$$u_{\text{máx}} = 2V_{\text{prom}}$$

Ecuación 14

En consecuencia, la velocidad promedio en flujo laminar totalmente desarrollado en tubería es la mitad de la velocidad máxima.

3.1.2.2 CAIDA DE PRESION Y PERDIDA DE CARGA

Un interés considerable en el análisis de flujo de tubería es el que causa la *caída de presión* ΔP , porque está directamente relacionada con la potencia necesaria para que el ventilador o bomba mantengan el flujo. Note que $dP/dx = \text{constante}$ y cuando se integra de $x = x_1$, donde la presión es P_1 , hasta $x = x_1 + L$, donde la presión es P_2 , produce:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{P_2 - P_1}{L}$$

Ecuación 15

Cuando se sustituye la ecuación 15 en la expresión de V_{prom} de la ecuación 12, la caída de presión se puede expresar como:

Flujo laminar:
$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{8\mu LV_{prom}}{R^2} = \frac{32\mu LV_{prom}}{D^2}$$

Ecuación 16

El símbolo ΔP se usa para designar caída de presión, y por lo tanto es $P_1 \Delta P_2$. Una caída de presión ocasionada por efectos viscosos representa una pérdida de presión irreversible llamada **pérdida de presión ΔPL** para destacar que es una *pérdida*.

Note a partir de la ecuación 16 que la caída de presión es proporcional a la viscosidad μ del fluido, y ΔP sería cero si no hubiera fricción. Por lo tanto, la caída de presión de P_1 a P_2 , en este caso, se debe por completo a efectos viscosos, y la ecuación 16 representa la pérdida de presión ΔPL cuando un fluido de viscosidad μ fluye a través de una tubería de diámetro uniforme D y longitud L a velocidad promedio V_{prom} .

Por ello, tenemos lo siguiente:

Pérdida de presión:
$$\Delta P_L = f \frac{L \rho V_{prom}^2}{D \cdot 2}$$

Ecuación 17

donde $\rho \frac{v_{prom}^2}{2}$ es la *presión dinámica* y f es el **factor de fricción de Darcy**,

$$f = \frac{8\tau_w}{\rho V_{prom}^2}$$

Ecuación 18

Cuando se igualan las ecuaciones 15 y 16 y se resuelven para f produce el factor de fricción para flujo laminar totalmente desarrollado en una tubería circular:

Tubería circular, laminar:
$$f = \frac{64\mu}{\rho D V_{prom}} = \frac{64}{Re}$$

Ecuación 19

En el análisis de los sistemas de tuberías, las pérdidas de presión comúnmente se expresan en términos de la *altura de la columna de fluido equivalente*, llamada **pérdida de carga** h_L . Note a partir de la estática de fluidos que $\Delta P = \rho gh$ y, por tanto, una diferencia de presión de ΔP corresponde a una altura de fluido de $\Delta h = \frac{\Delta P}{\rho g}$, por tanto:

$$\text{Pérdida de carga:} \quad h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V_{prom}^2}{2g}$$

Ecuación 20

3.1.2.3 FLUJO TURBULENTO EN TUBERIAS

El flujo turbulento se caracteriza por fluctuaciones aleatorias y rápidas de regiones giratorias de fluido, llamadas **remolinos**, a través del flujo.

Dichas fluctuaciones proporcionan un mecanismo adicional para transferir movimiento y energía.

En flujo laminar, las partículas fluyen en orden a lo largo de trayectorias, y la cantidad de

movimiento y la energía se transfieren a través de líneas de corriente mediante difusión molecular. En el flujo turbulento, los remolinos giratorios transportan masa, cantidad de movimiento y energía a otras regiones del flujo con mayor rapidez que la difusión molecular, y aumentan enormemente la masa, la cantidad de movimiento y la transferencia de calor. Como resultado, el flujo turbulento está relacionado con valores mucho más altos de coeficientes de fricción, transferencia de calor y transferencia de masa (Fig. 16).

Aun cuando el flujo promedio sea estacionario, el movimiento en remolino en flujo turbulento provoca fluctuaciones importantes en los valores de velocidad, temperatura, presión e incluso densidad (en flujo compresible). La figura 17 muestra la variación de la componente de velocidad instantánea u con el tiempo en una posición especificada, cómo se puede medir con

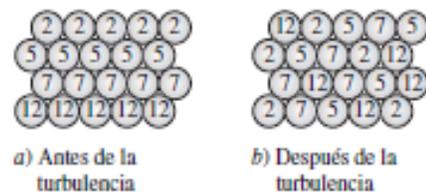


Figura 16 La intensa mezcla en el flujo turbulento lleva a las partículas de fluido a diferentes cantidades de movimiento al contacto cercano y, por lo tanto, mejora la transferencia de la cantidad de movimiento.



Figura 17 Fluctuaciones del componente de velocidad u con el tiempo en una posición especificada de flujo turbulento.

una sonda de anemómetro de hilo caliente u otro dispositivo sensible. Se observa que los valores instantáneos de la velocidad fluctúan en torno a un valor promedio, lo que sugiere que la velocidad se puede expresar como la suma de un valor promedio \bar{u} y un componente fluctuante u' :

3.1.2.3.1 DIAGRAMA DE MOODY

El factor de fricción de flujo en tubería turbulento totalmente desarrollado depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa ε/D , que es la razón de la altura media de rugosidad de la tubería al diámetro de la tubería. La forma funcional de esta situación no se puede obtener a partir de un análisis teórico, y todos los resultados disponibles se obtienen a partir de experimentos cuidadosos que usan superficies que se hacen rugosas de manera artificial (usualmente cuando se pegan granos de arena de tamaño conocido sobre las superficies interiores de las tuberías). La mayoría de estos experimentos los realizó en 1933 J. Nikuradse, estudiante de Prandtl, a los que siguieron trabajos de otros. El factor de fricción se calculó a partir de las mediciones de la razón de flujo y la caída de presión.

Los resultados experimentales se presentan en formas tabular, gráfica y funcional obtenidos de datos experimentales de ajuste de curvas. En 1939, Cyril F. Colebrook (1910-1997) combinó los datos disponibles para flujo en transición y turbulento en tuberías lisas y rugosas en la siguiente relación implícita conocida como **ecuación de Colebrook**:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (\text{flujo turbulento})$$

Ecuación 21

En 1942, el ingeniero estadounidense Hunter Rouse (1906-1996) verificó la ecuación de Colebrook y produjo una expresión gráfica de f como función de Re y el producto $\text{Re} \sqrt{f}$. También presentó la relación de flujo laminar y una tabla de rugosidades de tuberías comerciales. Dos años después, Lewis F. Moody (1880-

1953) redibujó el diagrama de Rouse en la forma como se usa comúnmente en la actualidad. El ahora famoso **diagrama de Moody** se proporciona en el Apéndice A como figura 39.

En los cálculos se debe estar seguro de que se utiliza el diámetro interno real de la tubería, ya que puede ser diferente del diámetro nominal. Por ejemplo, el diámetro interno de una tubería de acero cuyo diámetro nominal es 1 in es de 1.049 in (Tabla 3).

Tabla 3 Tamaño estándar para tubos de acero con cédula 40

| Tamaños estándar para tubos de acero de cédula 40 | |
|--|-------------------------------|
| Tamaño nominal, in | Diámetro interior real, in |
| $\frac{1}{8}$ | 0.269 |
| $\frac{1}{4}$ | 0.364 |
| $\frac{3}{8}$ | 0.493 |
| $\frac{1}{2}$ | 0.622 |
| $\frac{3}{4}$ | 0.824 |
| 1 | 1.049 |
| $1\frac{1}{2}$ | 1.610 |
| 2 | 2.067 |
| $2\frac{1}{2}$ | 2.469 |
| 3 | 3.068 |
| 5 | 5.047 |
| 10 | 10.02 |

3.1.2.3.2 PERDIDAS MENORES

El fluido en un sistema de tubería típico pasa a través de varias uniones, válvulas, flexiones, codos, ramificaciones en forma de letra T (conexiones en T), entradas, salidas, ensanchamientos y contracciones además de los tubos. Dichos componentes (accesorios) interrumpen el suave flujo del fluido y provocan pérdidas adicionales debido al fenómeno de separación y mezcla del flujo que producen.

En un sistema típico, con tubos largos, estas pérdidas son menores en comparación con la pérdida de carga por fricción en los tubos (las pérdidas mayores) y se llaman pérdidas menores. Aunque por lo general esto es cierto, en algunos casos las pérdidas menores pueden ser más grandes que las pérdidas mayores. Éste es el caso, por ejemplo, en los sistemas con varias vueltas y válvulas en una distancia corta. Las pérdidas de carga que resultan de una válvula totalmente abierta, por

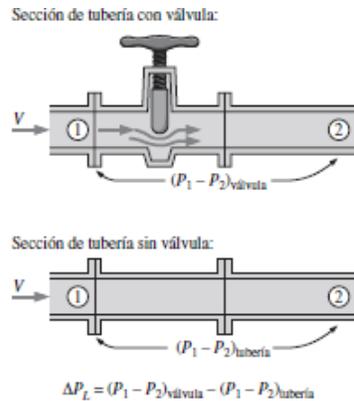


Figura 18 Para un tramo de una tubería de diámetro constante con un accesorio de pérdida menor, el coeficiente de pérdida se determina cuando se mide la pérdida de presión adicional que el accesorio provoca y se divide por la presión dinámica en la tubería.

ejemplo, pueden ser despreciables. Pero una válvula cerrada parcialmente puede provocar la pérdida de carga más grande en el sistema, como pone en evidencia la caída en la razón de flujo. El flujo a través de válvulas y uniones es muy complejo, y por lo general no es lógico un análisis teórico.

En consecuencia, usualmente los fabricantes de los accesorios determinan las pérdidas menores de manera experimental.

Las pérdidas menores se expresan en términos del coeficiente de pérdida K_L (también llamado coeficiente de resistencia), que se define como (Fig. 18)

Coefficiente de pérdida:
$$K_L = \frac{h_L}{V^2/(2g)}$$

Ecuación 22

donde h_L es la pérdida de carga irreversible adicional en el sistema de tuberías provocado por la inserción del accesorio, y se define como $h_L = \frac{\Delta PL}{\rho g}$. Por ejemplo, imagine reemplazar la válvula en la figura 18 con un tramo de tubería de diámetro constante de la posición 1 a la posición 2. ΔPL se define como la caída de presión de 1 a 2 para el caso con la válvula, $(P_1 - P_2)_{válvula}$, menos la caída de presión que ocurriría en la imaginaria sección recta de tubería de 1 a 2 sin la válvula, $(P_1 - P_2)_{tubería}$ a la misma razón de flujo. Mientras que la mayoría de las pérdidas de carga irreversibles ocurren localmente cerca de la válvula, parte de ellas ocurre corriente abajo de la válvula, debido a los remolinos turbulentos inducidos que se producen en la válvula y continúan corriente abajo. Dichos remolinos “desperdician” energía mecánica porque, a final de cuentas, se disipan en calor mientras que el flujo en la parte corriente abajo de la tubería finalmente regresa a condiciones del flujo totalmente desarrollado.

Cuando está disponible el coeficiente de pérdida para un accesorio, la pérdida de carga para este accesorio se determina a partir de:

$$\text{Pérdida menor:} \quad h_L = K_L \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación 23

En el apéndice A, tabla 7, se proporcionan coeficientes de pérdida representativos K_L para entradas, salidas, codos, cambios de área repentinos y graduales, y válvulas. En estos valores existe una incertidumbre considerable porque, en general, los coeficientes de pérdida varían con el diámetro de la tubería, la rugosidad de la superficie, el número de Reynolds y los detalles del diseño.

(A. Cengel & M. Cimbala, 2012)

3.2 MODELO DE DISEÑO UAM AZT

EL Modelo AUM se presentó dentro de un libro creado por un grupo de profesores fundadores de la división de ciencias y artes para el diseño llamado “contra un diseño dependiente”.

El cual tenía como objetivo el ser un documento que de una manera ayudara a entender tanto desde la teoría como de la metodología al diseño



Figura 19 Modelo AUM

El modelo UAM se define por su objetivo, por su meta, parte de principios operativos que aseguran el método cual seguir y su correcto funcionamiento y resultado.

Fases del modelo general del proceso del diseño.

- Caso:

Especifica tanto el marco teórico como las técnicas a utilizar.

- Problema:

Reunión de datos relevante que incluyen el criterio de diseño para su interpretación y solución.

- Hipótesis:

Alternativas para analizar y resolver los sistemas semióticos, funcional, constructivo y de planeación económica-administrativa.

- Proyecto:

Interacción total con los métodos y técnicas de las disciplinas que van a implementar a la realidad la hipótesis de diseño.

- Realización:

Supervisión y dirección de la realización material. Termina cuando es utilizado.

3.3 HERRAMIENTAS TECNOLOGICAS VIRTUALES

3.3.1 ARDUINO®

Es una compañía de hardware libre y una comunidad tecnológica que diseña y manufactura placas computadora de desarrollo de hardware y software, compuesta respectivamente por circuitos impresos que integran un microcontrolador y un entorno de desarrollo (IDE), en donde se programa cada placa.



[Figura 20 Logotipo Arduino®](#)

Arduino se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios. Toda la plataforma, tanto para sus componentes de hardware como de software, son liberados con licencia de código abierto que permite libertad de acceso a ellos.

El hardware consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador, usualmente Atmel AVR, puertos digitales y analógicos de entrada/salida, los cuales pueden conectarse a placas de expansión (shields), que amplían las características de funcionamiento de la placa Arduino. Asimismo, posee un puerto de conexión USB desde donde se puede alimentar la placa y establecer comunicación con el computador.

Por otro lado, el software consiste en un entorno de desarrollo (IDE) basado en el entorno de Processing y lenguaje de programación basado en Wiring, así como en el cargador de arranque (bootloader) que es ejecutado en la placa. El microcontrolador de la placa se programa mediante un computador, usando una comunicación serial mediante un convertidor de niveles RS-232 a TTL serial.

(Fundación wikimedia, inc, 2017)

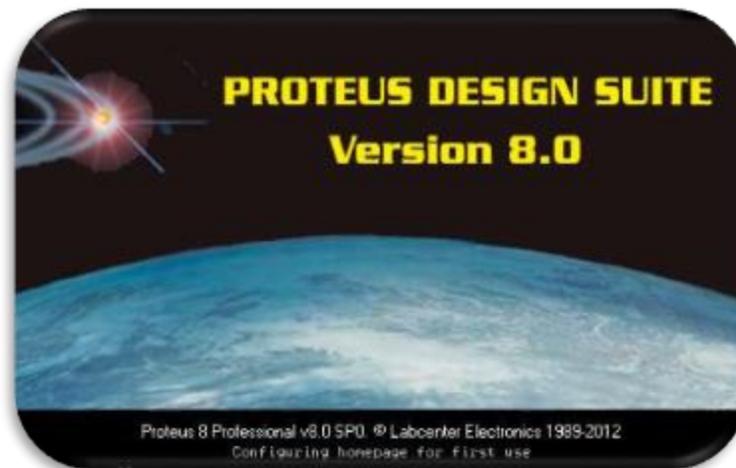
3.3.2 PROTEUS DESIGN SUITE

Es un software de automatización de diseño electrónico, desarrollado por Labcenter Electronics Ltd., que consta de los dos programas principales: Ares e Isis, y los módulos VSM y Electra.

ARES, o Advanced Routing and Editing Software (Software de Edición y Ruteo Avanzado); es la herramienta de enrutado, ubicación y edición de componentes, se utiliza para la fabricación de placas de circuito impreso, permitiendo editar generalmente, las capas superficial (Top Copper), y de soldadura (Bottom Copper).

El Programa ISIS, Intelligent Schematic Input System (Sistema de Enrutado de Esquemas Inteligente) permite diseñar el plano eléctrico del circuito que se desea realizar con componentes muy variados, desde simples resistencias, hasta alguno que otro microprocesador o microcontrolador, incluyendo fuentes de alimentación, generadores de señales y muchos otros componentes con prestaciones diferentes. Los diseños realizados en Isis pueden ser simulados en tiempo real, mediante el módulo VSM, asociado directamente con ISIS.

Una de las prestaciones de Proteus, integrada con ISIS, es VSM, el Virtual System Modeling (Sistema Virtual de Modelado), una extensión integrada con ISIS, con la cual se puede simular, en tiempo real, con posibilidad de más rapidez; todas las características de varias familias de microcontroladores, introduciendo nosotros mismos el programa que controlará el microcontrolador y cada una de sus salidas, y a la vez, simulando las tareas que queremos que lleve a cabo con el programa. Se pueden simular circuitos con microcontroladores conectados a distintos dispositivos, como motores eléctricos, pantallas de cristal líquido (LCD), teclados en matriz, etc. Incluye, entre otras, las familias de microcontrolador PIC, tal como PIC10, PIC12, PIC16, PIC18, PIC24 y dsPIC33. ISIS es el corazón del entorno integrado Proteus. Combina un entorno de diseño de una potencia excepcional con una enorme capacidad de controlar la apariencia final de los dibujos. (Fundación wikimedia, inc., 2017)



[Figura 21 Proteus Design Suite 8.0](#)

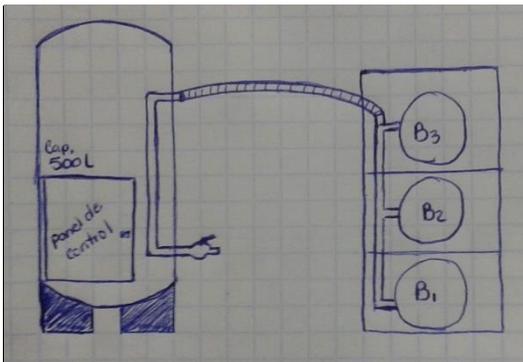
Capítulo 4. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

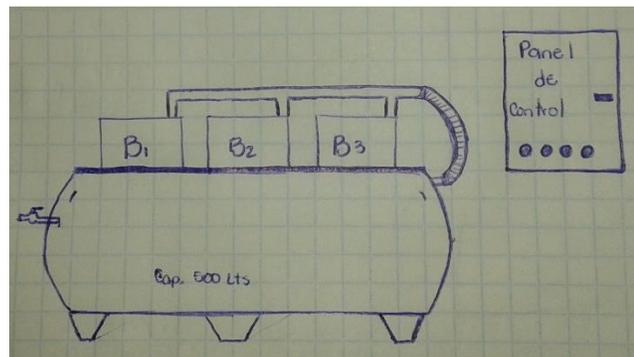
Como pudimos observar en el capítulo anterior, asegurar una presión en el sistema en todo momento, es el principal reto que se tiene a solucionar. Esta situación nos orienta a diseñar un sistema en el cuál, podamos distribuir el vacío en cada máquina desde otro punto de la planta. Esto nos proporcionaría una presión más estable y de la misma magnitud en cada máquina, garantizando un correcto formado en el producto, y el aumento de la velocidad de producción, debido a que la recuperación de descarga será más rápida.

4.1.1 PROTOTIPOS

A continuación, se presentan algunos prototipos de diseño para la acumulación de presión de vacío en el tanque principal.



[Figura 23 Prototipo 1](#)



[Figura 22 Prototipo 2](#)

El bosquejo 2 fue el más aceptado por el supervisor de planta, para sus cálculos se realizaron algunas consideraciones, el cual trataremos el aire como un gas ideal que se encuentra totalmente desarrollado en el sistema, y correrá dentro de una tubería con un diámetro de $\frac{3}{4}$ ". La temperatura promedio del aire ambiente será de 20°C.

4.1.2 CALCULOS MATEMATICOS

Algunos datos obtenidos de una fase de prueba se muestran en la siguiente tabla:

[Tabla 4 Datos obtenidos de pruebas en el tanque de almacenamiento](#)

| | |
|---|---|
| Velocidad promedio a la salida del tanque | 10 m/s |
| Presión del vacuómetro alcanzada | 75 kPa |
| Diámetro de tubería acero galvanizado cedula 40 | $\frac{3}{4}'' = 0.824'' = 0.0209296 \text{ m}$ |
| Temperatura media del aire | 20°C |

Observando la tabla 3 podemos obtener el diámetro interior real de nuestra tubería.

Tomando en cuenta la temperatura del aire ambiente, nos dirigimos a la tabla 6, en el apéndice A, donde podremos obtener información para realizar los cálculos necesarios.

$$v = 1.516 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Viscosidad cinemática}$$

$$\rho = 1.204 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densidad del aire}$$

Tomando en cuenta la velocidad promedio, calculamos el número de Reynolds, para determinar el tipo de flujo que tenemos en el sistema. Usando la ecuación 3 y la tabla 2.

$$Re = \frac{10 * 0.0209296}{1.516 \times 10^{-5}} = 1.380580475 \times 10^4$$

Calculamos la rugosidad relativa, usando los valores de la tabla observada en el diagrama de Moody en el apéndice A, figura 39.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.15}{20.9296} = 0.0071668833$$

Con el número de Reynolds y la rugosidad relativa, nos dirigimos al diagrama de Moody, ubicado en el apéndice A figura 39 para calcular el factor de fricción.

Donde:

$$f = 0.038$$

Con esta información obtenida, calculamos las pérdidas por tubería recta.

La distancia L, en cada caso, se obtiene al realizar mediciones desde el pulmón hasta cada máquina.

TA-3

$$hL_1 = 0.038 \left(\frac{13}{0.0209296} \right) \left(\frac{10^2}{2 * 9.81} \right) = 120.3 \text{ m}$$

TA-1

$$hL_2 = 0.038 \left(\frac{20}{0.0209296} \right) \left(\frac{10^2}{2 * 9.81} \right) = 185.0775155288 \text{ m}$$

Continuamos con las pérdidas menores para las máquinas TA-3 y TA-1

[Tabla 5 Valores obtenidos de la tabla 7 del apéndice A](#)

| Accesorios | | TA-3 | TA-1 |
|------------------|------|------|-------|
| Codo 90° roscado | 0.9 | 5 | 6 |
| Conexión Te | 2 | 1 | 2 |
| Entrada tubería | 0.8 | 1 | 1 |
| Salida tubería | 1.05 | 1 | 1 |
| Válvula de paso | 0.2 | 2 | 2 |
| Sumatoria | | 8.75 | 11.65 |

Utilizando la ecuación 19, calculamos las pérdidas menores por accesorios, para cada máquina.

TA-3

$$hL_3 = 8.75 \left(\frac{10^2}{2 * 9.81} \right) = 44.6 \text{ m}$$

TA-1

$$hL_4 = 11.65 \left(\frac{10^2}{2 * 9.81} \right) = 59.4 \text{ m}$$

Por lo tanto, la pérdida total en cada línea es:

$$hL_{TA-3} = hL_1 + hL_3 = 164.9 \text{ m}$$

$$hL_{TA-1} = hL_2 + hL_4 = 244.4775 \text{ m}$$

La presión final en cada línea queda expresado de esta manera, realizando un balance de energías.

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + h_L$$

Para TA-3

$$P_2 = 75000 - (1 + 164.9)(1.204 * 9.81) = 73,040.5152 \text{ Pa}$$

Para TA-1

$$P_2 = 75000 - (1 + 244.4775)(1.204 * 9.81) = 72,100 \text{ Pa}$$

El beneficio de la red de vacío se verá reflejado en la capacidad de producción y rendimiento de cada una de las máquinas, eliminando paros por mantenimiento correctivo, disminuyendo la cantidad de desperdicios producidos y aumentando la satisfacción de los clientes.

Las pérdidas de presión son aceptables para el sistema, independientemente de las fugas que puedan existir en cada ciclo, ya que son valores superiores a los que se utilizaban en planta.

Normatividad aplicable

Para cumplir con el alcance de este proyecto se aplicará la siguiente normatividad:

| | |
|--|--|
| Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Normas Técnicas Complementarias (NTC) | |
| MDCFE edición 2008 | Manual de diseño de obras civiles de la comisión federal de electricidad |
| NTC edición 2004 | Normas técnicas complementarias. Reglamento de construcción para el Distrito Federal |
| Norma Oficial Mexicana (NOM) | |
| NOM-001-SEDE-2012 | Instalaciones Eléctricas (utilización) |
| NOM-008-SCFI-2002 | Sistema general de unidades de medida |
| NOM-009-ENER-2014 | Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales. |
| NOM- 027-STPS-2008 | Actividades de soldadura y corte-Condiciones de seguridad e higiene. |
| NMX-J-535-ANSE-2008 | Tubos rígidos de acero tipo semipesado y sus accesorios para la protección de conductores-especificaciones y métodos de prueba |
| National Fire Protection Association (NFPA) | |
| NFPA 86 Edición 2015 | Standard for the installation of lightning protection systems |
| American National Standards Institute (ANSI) | |
| ASME Sección VIII DIV.1. Edición 2010 | Rules for construction of pressure vessels |
| ASME Sección VIII DIV.1. Edición 2010 | Rules for construction of pressure vessels |

Figura 24 Normas aplicadas en el desarrollo e instalación del proyecto

Una vez aprobados los valores por la empresa, las condiciones de operación, y los materiales empleados en los equipos, se comenzó a realizar la instalación del sistema. Las propuestas de cada una de las disciplinas fueron revisados cuidadosamente por el responsable de proyectos y el gerente en planta, quienes hicieron las observaciones correspondientes para correcciones.

La primera prueba se realizó utilizando una sola bomba de vacío para medir la capacidad de bombeo hacia la red instalada. Siendo ésta muy satisfactoria para los parámetros deseados. (Figura 24)



[Figura 25 Pruebas iniciales de funcionamiento](#)

Posteriormente se hizo otra corrida de prueba agregando una segunda bomba de vacío al sistema, generando mayor estabilidad de presiones. (Figura 25)



[Figura 26 Instalación de una segunda bomba](#)

En el Anexo C, se encuentra un conjunto de imágenes con los procedimientos realizados para la instalación.

Capítulo 5. RESULTADOS

La puesta en operación de esta nueva propuesta, resultó de gran beneficio hacia la empresa, debido a que se lograron aumentar los rangos de presiones de vacío en las máquinas TA-3 y TA-1, permitiendo un correcto formado en cada uno de los equipos, así como también, dando la posibilidad de poder trabajar con calibres más grandes, para productos a futuro.

A como se esperaba, las pérdidas en el sistema por las fugas de cada ciclo no son tan significativas, debido a que la presión mínima con la que trabajaba con anterioridad era de 30 kPa. Actualmente, con el diseño elegido, se logró obtener arriba del 100% de la capacidad inicial, manejando una presión de hasta 70 kPa, y una mínima de 60kPa, debido a las descargas en cada ciclo. El trabajar con estas presiones nos garantiza la satisfacción de los clientes, ante la entrega a tiempo y de productos de mejor calidad, garantizando su funcionamiento.

El desplazamiento, de los dispositivos mecánicos generadores de vacío, benefició en gran medida el ambiente de trabajo para los operadores, obteniendo gran satisfacción por su parte y un cambio visual significativo del área. Estos beneficios se describen a continuación:

5.1 BENEFICIOS

1. Eliminación de gases contaminantes de las bombas dentro de planta.
2. Eliminación de situación insegura, al retirar las mangueras ubicadas en el suelo.
3. Aumento de la presión de vacío en cada máquina termoformadora.
4. Misma presión en todo momento para las máquinas termoformadoras.
5. Orden y limpieza, ante fuga de aceite en las bombas.
6. Optimización de los espacios.
7. Conservación de los equipos.

8. Facilidad al detectar alguna falla en las bombas.
9. Posibilidad de usar calibres más grandes de materia prima.
10. Correcto formado de los productos.
11. Disminución considerable en ruido
12. Decremento de la temperatura en planta

Actualmente se encuentra en fase de prueba, para identificar la vida de cada elemento e implementar mejoras en el sistema.



[Figura 27 Prueba inicial](#)

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso de las diferentes herramientas de control y simulación, nos permiten crear una impresión acerca de lo deseamos desarrollar, así como manipular su comportamiento desde una plataforma en la computadora. Esto nos ayuda a tener una visión más clara de lo que se está concretando, así como también podremos ahorrar tiempo y dinero al anticiparnos con medidas y cantidad de piezas correctas.

Para que el control sea confiable, se utilizan softwares que ayudan a modelar los programas, ayudando a tener mayor seguridad en su aplicación, así como también, nos da una esquema de como irán conectados los diferentes elementos de control del sistema.

El control instalado en planta, nos permite extender la vida y el tiempo de mantenimiento de las bombas de vacío, obteniendo un máximo rendimiento de cada una de ellas, para así evitar alguna falla repentina en el sistema.

Cabe destacar que la presión de vacío obtenida nos garantiza el correcto formado de los productos, dándonos la ventaja de poder fabricar otros productos con un calibre mayor, el cual, antes no era posible.

Cabe destacar, que las pérdidas obtenidas, por diferentes razones, no afectan nuestro objetivo, pero es una oportunidad que queda abierta para mejorar; para así, aprovechar al máximo la capacidad del sistema.

REFERENCIAS

- A. Cengel, Y., & M. Cimbala, J. (2012). *Mecánica de fluidos*. Mexico, D.F.: Mc Graw Hill.
- Arduino. (28 de Julio de 2015). *Arduino*. Obtenido de Arduino:
<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/StateChangeDetection?from=Tutorial.ButtonStateChange>
- Arenales, I. J. (2014). *Sistemas de vacío*.
- Cristopher Eduardo Flores Mendieta. (01 de Junio de 2016). *lafcrisoflores*. Obtenido de lafcrisoflores:
<https://lafcrisoflores.wordpress.com/2016/06/01/tema-7-six-sigma/>
- Fundación wikimedia, inc. (17 de Julio de 2017). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- Fundación wikimedia, inc. (14 de marzo de 2017). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Proteus_Design_Suite
- Innovacion en empaque transparente S.A de C.V. (2010). *Manual de operación de las máquinas termoformadoras*. Querétaro, Querétaro.
- Yunes A Cengel, M. A. (2011). *Termodinamica*. Mc Graw Hill.

ANEXO A DIAGRAMA ELECTRICO

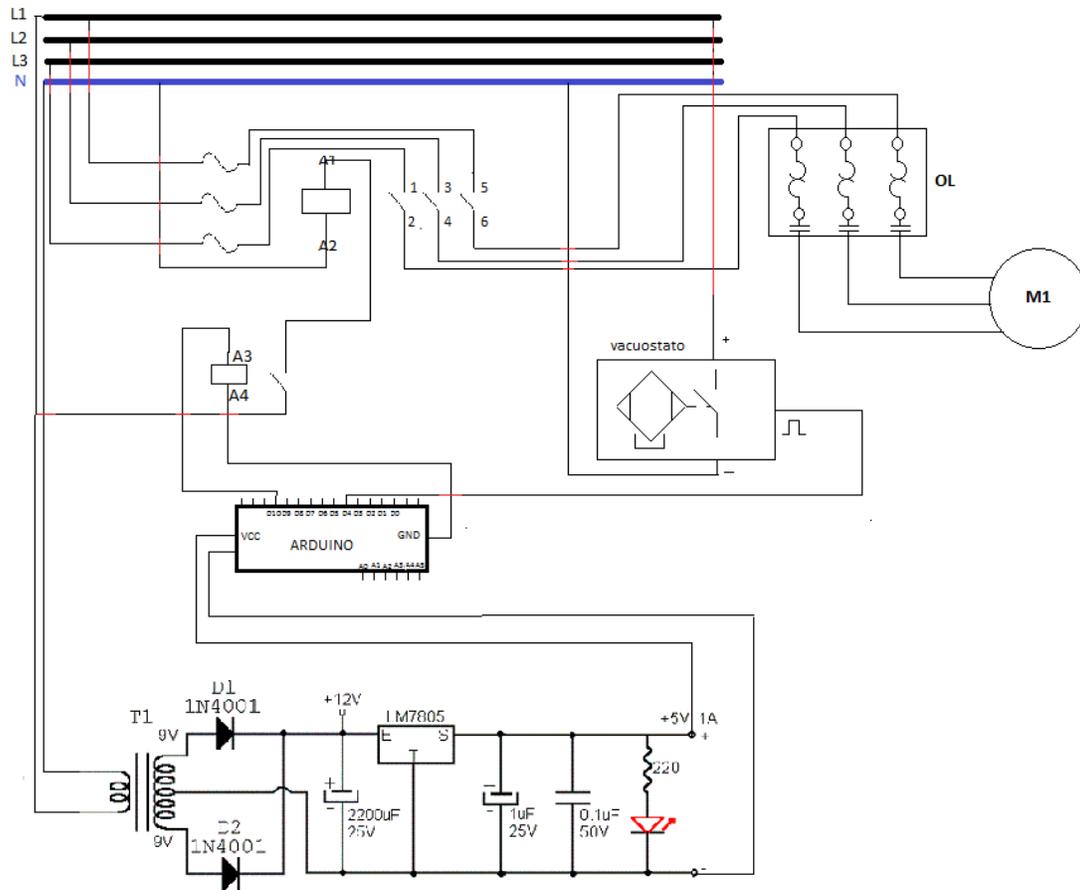


Figura 28 Diagrama de conexión eléctrico para una bomba de vacío

ANEXO B PROGRAMA DE CONTROL

```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
✓ ↻ 📄 ⬆️ ⬇️
RED_DE_VACIO_TERMINADO

int M1 = 8;
int M2 = 9;
int M3 = 10;
int contador = 0; //Comenzara a contar desde cero
int boton = 4; //Pin del botón
int inicioCero = 0; // valor inicial del contador

void setup() {
  Serial.begin (9600);
  pinMode (boton,INPUT);

  for (int i=8; i<=10; i++){
    pinMode (i,OUTPUT);
  }
  delay (1500);
  digitalWrite (M1,HIGH);
  digitalWrite (M2,HIGH);
  digitalWrite (M3,HIGH);
}

void Vp1Off1 ()
{
  digitalWrite (M1,LOW);
  digitalWrite (M2,HIGH);
  digitalWrite (M3,HIGH);
}

void Vp2Off2 ()
{
  digitalWrite (M2,LOW);
  digitalWrite (M1,HIGH);
  digitalWrite (M3,HIGH);
}

void Vp3Off3 ()
{
  digitalWrite (M3,LOW);
  digitalWrite (M2,HIGH);
  digitalWrite (M1,HIGH);
}

void OFF ()
{
  for (int i=8; i<=10; i++){
    digitalWrite (i,LOW);
  }
}
```

```

void loop() {
  int lectura = digitalRead (boton);
  if (lectura!= inicioCero){
    if (lectura == HIGH){
      contador++;
      Serial.println (contador);
    }
  }
  inicioCero=lectura;

  switch (contador) {
    case 1:
      Vp1Off1 ;
      break;

    case 2:
      Vp2Off2 ;
      break;

    case 3:
      Vp3Off3 ;
      break;
  }
  if (lectura == LOW){
    OFF ;
  }
}

```

Figura 29 Programa de control del sistema

ANEXO C INSTALACION



[Figura 30 Limpieza de panel para el control](#)



[Figura 31 Mantenimiento al pulmón principal](#)



[Figura 32 Trabajo finalizado](#)



[Figura 33 Instalación de tubería en planta](#)



Figura 34 cableado en panel

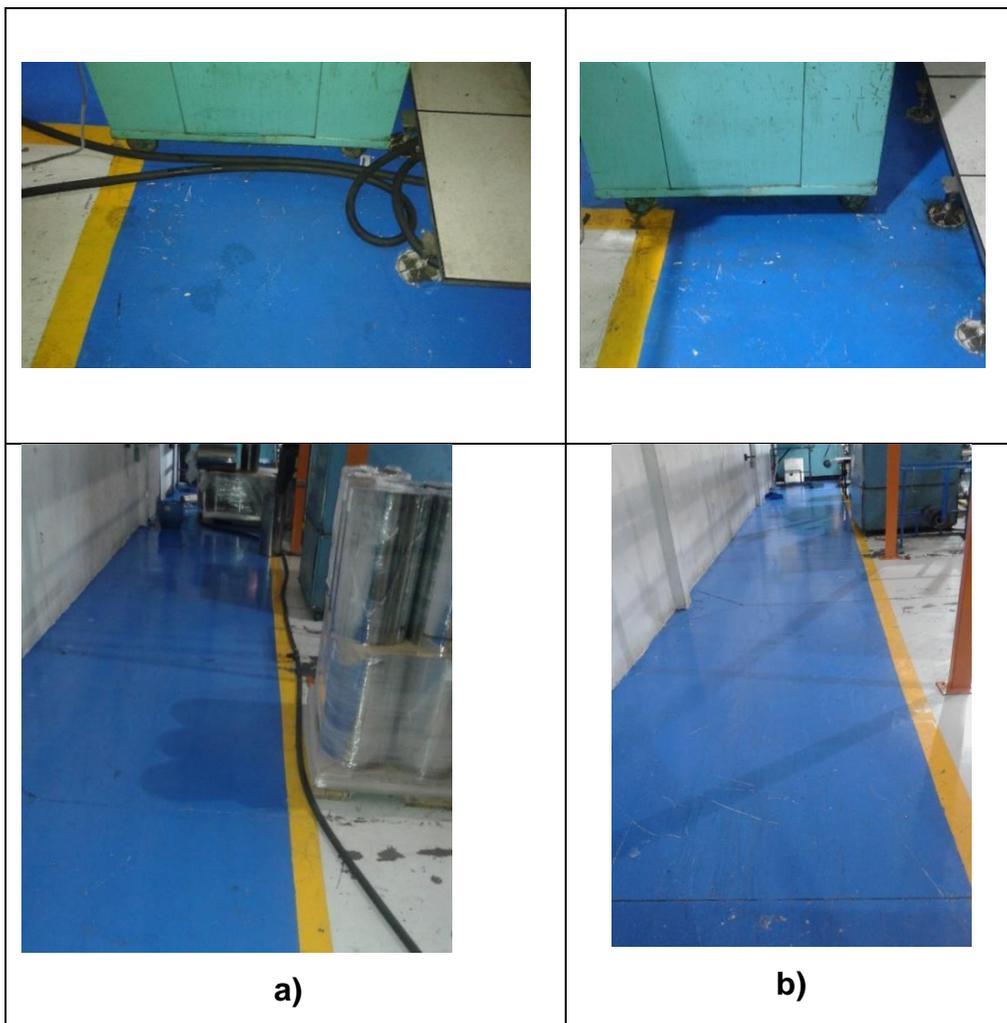


Figura 35 Eliminación de situación insegura.

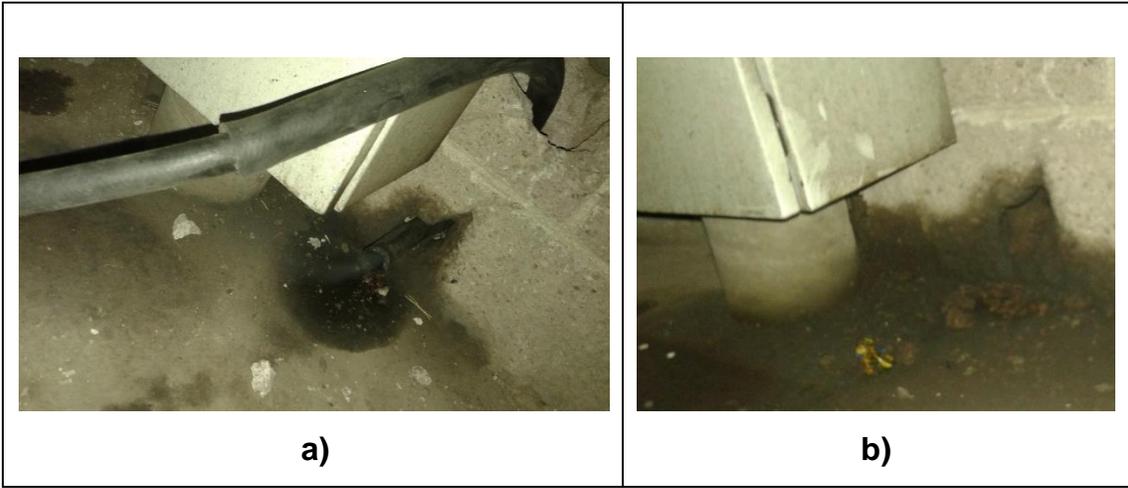


Figura 36 Eliminación de contaminantes en planta

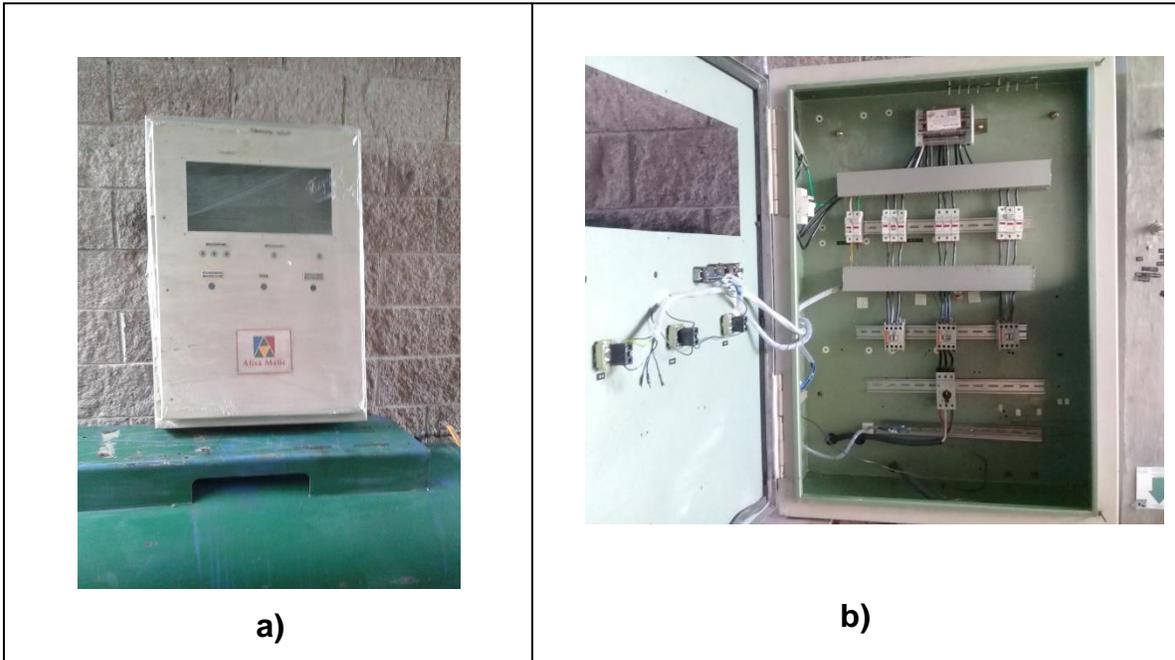


Figura 37 Instalación de sistema de protección y control.

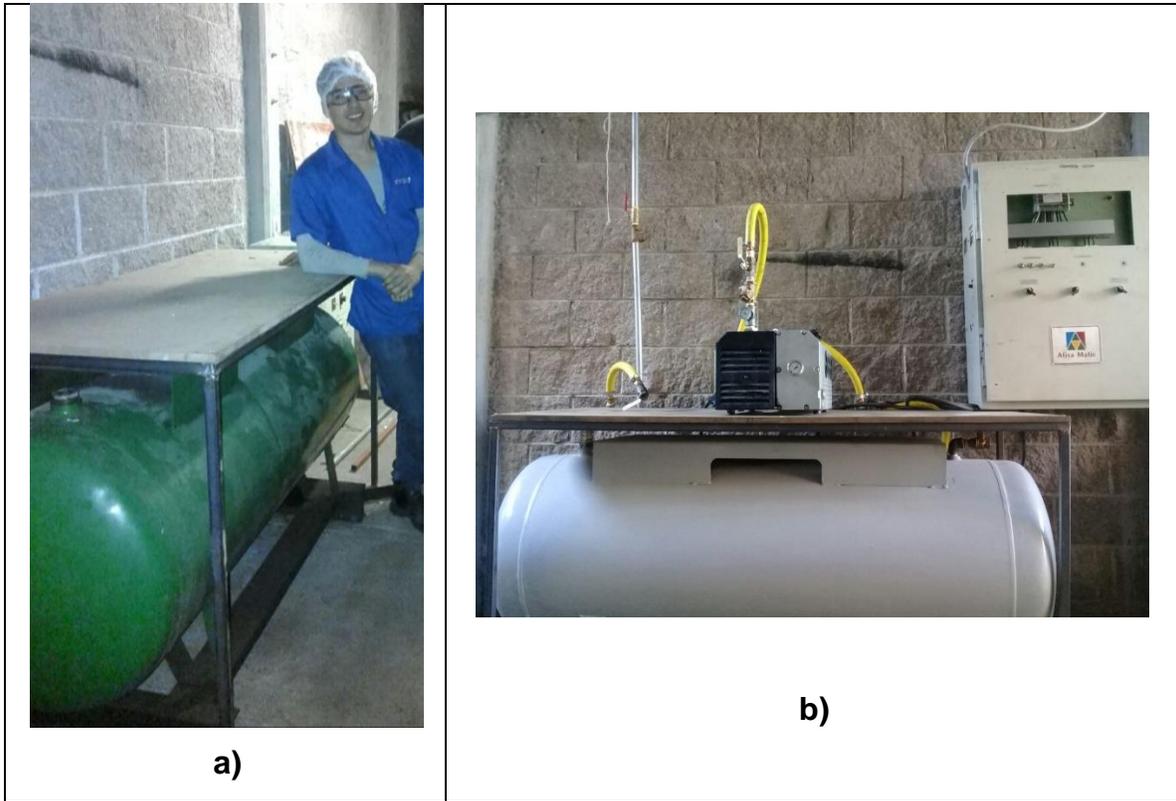


Figura 38 Antes y después de la implementación.



Figura 39 Presiones aportadas por las diferentes bombas de vacío

APENDICE A

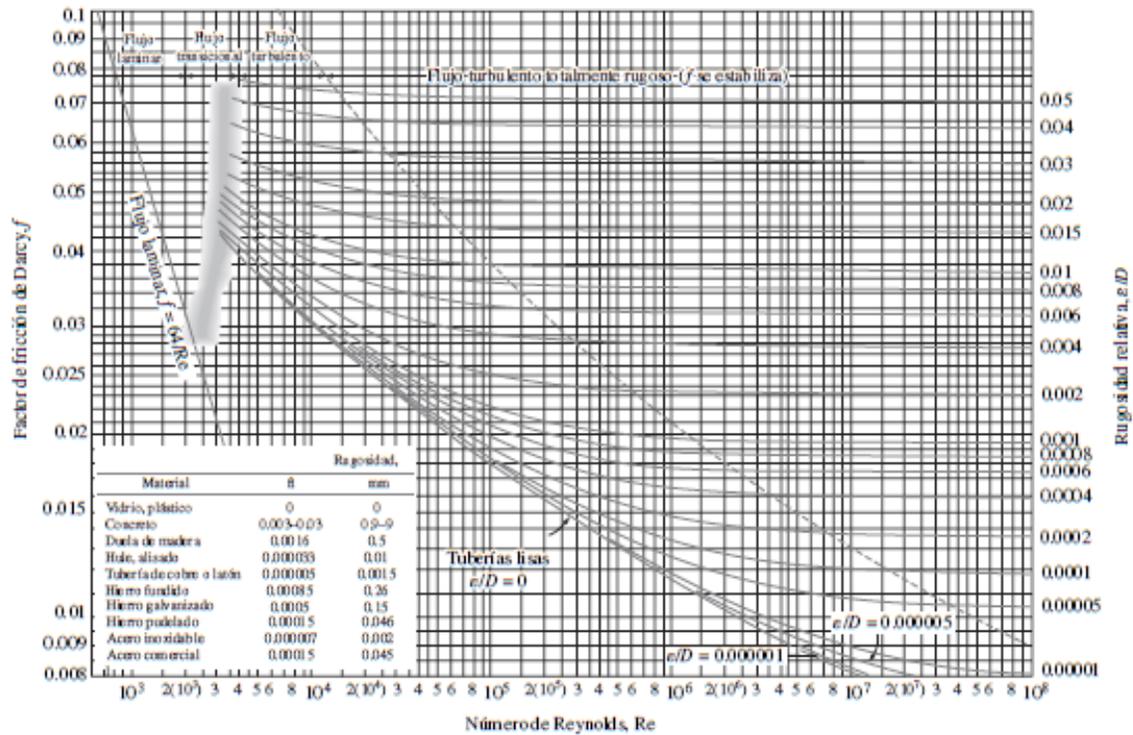


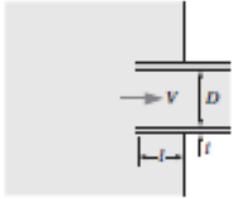
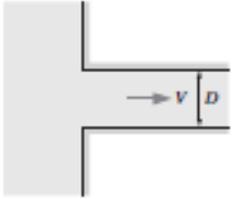
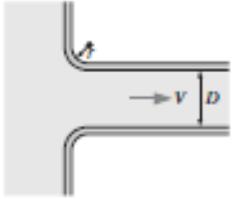
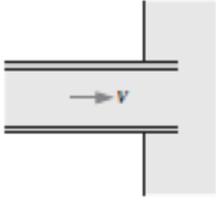
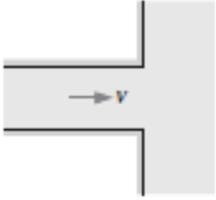
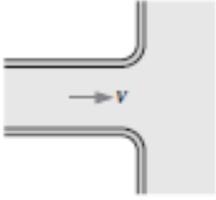
Figura 40 El diagrama de Moody para el factor fricción para flujo totalmente desarrollado en tuberías circulares para usar en la relación de pérdida de carga. Los factores de fricción en el flujo turbulento se evalúan a partir de la ecuación de Colebrook.

Tabla 6 Propiedades del aire a 1 atm de presión

| Temp. T , °C | Densidad ρ , kg/m ³ | Calor específico c_p J/kg · K | Conductividad térmica k , W/m · K | Difusividad térmica α , m ² /s | Viscosidad dinámica μ , kg/m · s | Viscosidad cinemática ν , m ² /s | Número de Prandtl Pr |
|-------------------|--|---------------------------------------|---|--|--|---|----------------------------|
| -150 | 2.866 | 983 | 0.01171 | 4.158×10^{-6} | 8.636×10^{-6} | 3.013×10^{-6} | 0.7246 |
| -100 | 2.038 | 966 | 0.01582 | 8.036×10^{-6} | 1.189×10^{-6} | 5.837×10^{-6} | 0.7263 |
| -50 | 1.582 | 999 | 0.01979 | 1.252×10^{-5} | 1.474×10^{-5} | 9.319×10^{-6} | 0.7440 |
| -40 | 1.514 | 1002 | 0.02057 | 1.356×10^{-5} | 1.527×10^{-5} | 1.008×10^{-5} | 0.7436 |
| -30 | 1.451 | 1004 | 0.02134 | 1.465×10^{-5} | 1.579×10^{-5} | 1.087×10^{-5} | 0.7425 |
| -20 | 1.394 | 1005 | 0.02211 | 1.578×10^{-5} | 1.630×10^{-5} | 1.169×10^{-5} | 0.7408 |
| -10 | 1.341 | 1006 | 0.02288 | 1.696×10^{-5} | 1.680×10^{-5} | 1.252×10^{-5} | 0.7387 |
| 0 | 1.292 | 1006 | 0.02364 | 1.818×10^{-5} | 1.729×10^{-5} | 1.338×10^{-5} | 0.7362 |
| 5 | 1.269 | 1006 | 0.02401 | 1.880×10^{-5} | 1.754×10^{-5} | 1.382×10^{-5} | 0.7350 |
| 10 | 1.246 | 1006 | 0.02439 | 1.944×10^{-5} | 1.778×10^{-5} | 1.426×10^{-5} | 0.7336 |
| 15 | 1.225 | 1007 | 0.02476 | 2.009×10^{-5} | 1.802×10^{-5} | 1.470×10^{-5} | 0.7323 |
| 20 | 1.204 | 1007 | 0.02514 | 2.074×10^{-5} | 1.825×10^{-5} | 1.516×10^{-5} | 0.7309 |
| 25 | 1.184 | 1007 | 0.02551 | 2.141×10^{-5} | 1.849×10^{-5} | 1.562×10^{-5} | 0.7296 |
| 30 | 1.164 | 1007 | 0.02588 | 2.208×10^{-5} | 1.872×10^{-5} | 1.608×10^{-5} | 0.7282 |
| 35 | 1.145 | 1007 | 0.02625 | 2.277×10^{-5} | 1.895×10^{-5} | 1.655×10^{-5} | 0.7268 |

Tabla 7 Coeficiente de pérdida K_L de varios accesorios de tubería para flujo turbulento

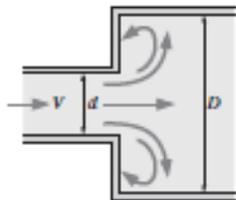
Coefficientes de pérdida K_L de varios accesorios de tubería para flujo turbulento (para usar en la relación $h_L = K_L V^2 / (2g)$, donde V es la velocidad promedio en la tubería que contiene el accesorio)*

| | | |
|--|--|--|
| <p>Entrada de la tubería Reentrante: $K_L = 0.80$ ($t \ll D$ e $l \approx 0.1D$)</p>  | <p>De borde agudo: $K_L = 0.50$</p>  | <p>Redondeada ($r/D > 0.2$): $K_L = 0.03$ Ligeramente redondeada ($r/D = 0.1$): $K_L = 0.12$ (véase figura 8-36)</p>  |
| <p>Salida de la tubería Reentrante: $K_L = \alpha$</p>  | <p>De borde agudo: $K_L = \alpha$</p>  | <p>Redondeada: $K_L = \alpha$</p>  |

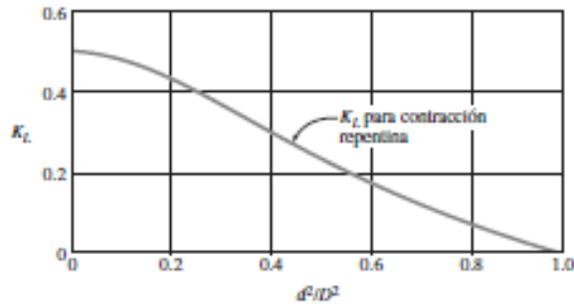
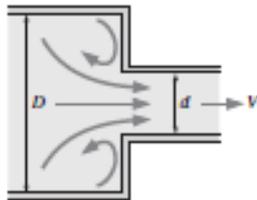
Nota: el factor de corrección de energía cinética es $\alpha = 2$ para flujo laminar totalmente desarrollado, y $\alpha = 1$ para flujo turbulento totalmente desarrollado.

Expansión y contracción repentina (con base en la velocidad en la tubería de diámetro más pequeño)

Expansión repentina: $K_L = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$



Contracción repentina: ver gráfica.



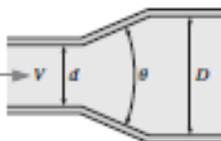
Expansión y contracción gradual (con base en la velocidad en la tubería de diámetro más pequeño)

Expansión:

$K_L = 0.02$ para $\theta = 30^\circ$

$K_L = 0.04$ para $\theta = 45^\circ$

$K_L = 0.07$ para $\theta = 60^\circ$



Contracción (para $\theta = 20^\circ$):

$K_L = 0.30$ para $d/D = 0.2$

$K_L = 0.25$ para $d/D = 0.4$

$K_L = 0.15$ para $d/D = 0.6$

$K_L = 0.10$ para $d/D = 0.8$

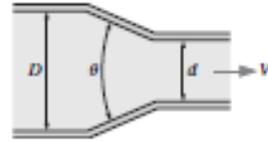
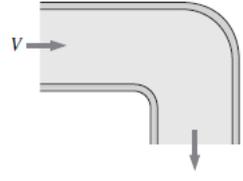
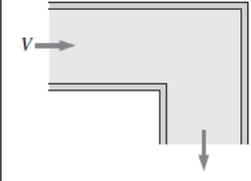
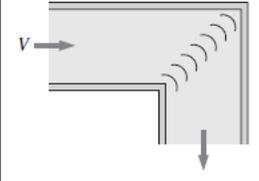
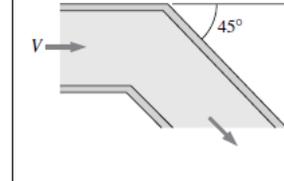
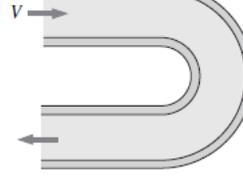
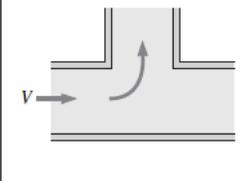
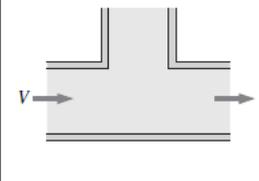
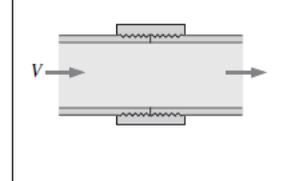


Tabla 7 (CONCLUSION)

| | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|--|--|---|--|------------------------|---|------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| <p><i>Codos y ramificaciones</i> Codo suave de 90°: Embridado: $K_L = 0.3$ Roscado: $K_L = 0.9$</p>  | <p><i>Codo esquinado de 90°</i> (sin álabes directores): $K_L = 1.1$</p>  | <p><i>Codo esquinado de 90°</i> (con álabes directores): $K_L = 0.2$</p>  | <p><i>Codo roscado de 45°:</i> $K_L = 0.4$</p>  | | | | | | | | |
| <p><i>Codo de retorno de 180°:</i> Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 1.5$</p>  | <p><i>Conexión en T (flujo deriv.):</i> Embridado: $K_L = 1.0$ Roscado: $K_L = 2.0$</p>  | <p><i>Conexión en T (flujo en línea):</i> Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 0.9$</p>  | <p><i>Unión roscada:</i> $K_L = 0.08$</p>  | | | | | | | | |
| <p><i>Válvulas</i></p> <table border="0"> <tbody> <tr> <td>Válvula de globo, totalmente abierta: $K_L = 10$</td> <td>Válvula de compuerta, totalmente abierta: $K_L = 0.2$</td> </tr> <tr> <td>Válvula de ángulo, totalmente abierta: $K_L = 5$</td> <td>1 cerrada: $K_L = 0.3$</td> </tr> <tr> <td>Válvula de bola, totalmente abierta: $K_L = 0.05$</td> <td>2 cerrada: $K_L = 2.1$</td> </tr> <tr> <td>Válvula de charnela: $K_L = 2$</td> <td>3 cerrada: $K_L = 17$</td> </tr> </tbody> </table> | | | | Válvula de globo, totalmente abierta: $K_L = 10$ | Válvula de compuerta, totalmente abierta: $K_L = 0.2$ | Válvula de ángulo, totalmente abierta: $K_L = 5$ | 1 cerrada: $K_L = 0.3$ | Válvula de bola, totalmente abierta: $K_L = 0.05$ | 2 cerrada: $K_L = 2.1$ | Válvula de charnela: $K_L = 2$ | 3 cerrada: $K_L = 17$ |
| Válvula de globo, totalmente abierta: $K_L = 10$ | Válvula de compuerta, totalmente abierta: $K_L = 0.2$ | | | | | | | | | | |
| Válvula de ángulo, totalmente abierta: $K_L = 5$ | 1 cerrada: $K_L = 0.3$ | | | | | | | | | | |
| Válvula de bola, totalmente abierta: $K_L = 0.05$ | 2 cerrada: $K_L = 2.1$ | | | | | | | | | | |
| Válvula de charnela: $K_L = 2$ | 3 cerrada: $K_L = 17$ | | | | | | | | | | |

* Ésos son valores representativos para coeficientes de pérdida. Los valores reales dependen principalmente del diseño y la fabricación de los accesorios y pueden diferir considerablemente de los valores dados (en especial para las válvulas). En el diseño final se deben usar los datos reales del fabricante.

